



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERIA
EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

ESCUELA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

“EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO DE CIANOBACTERIAS EN
RELACIÓN A LOS PARAMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL AGUA EN EL
LAGO YAHUARCOCHA”

Tesis previa a la obtención del Título de

Ingeniero (a) en Recursos Naturales Renovables

AUTOR

Ochoa Andrade María Elena

DIRECTOR:

MSc Elizabeth Velarde

Ibarra – Ecuador

2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

ESCUELA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

“EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO DE CIANOBACTERIAS EN
RELACIÓN A LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL AGUA EN EL
LAGO YAHUARCOCHA”

Tesis revisada por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación como requisito parcial
para obtener el Título de:

INGENIERO (A) EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

APROBADA:

MSc Elizabeth Velarde DIRECTORA	
MSc Tania Oña ASESORA	
MSc Sania Ortega ASESORA	
Dra Lucía Toromoreno ASESORA	

Ibarra – Ecuador

2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar a los procesos de investigación, docencia y extensión de la academia.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para la cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD	1003373949
APELLIDOS Y NOMBRES	Ochoa Andrade María Elena
DIRECCIÓN	Manuelita Sáenz 8-32 y Galeanos
EMAIL	maryelena_01@hotmail.com
TELÉFONO FIJO	062632920

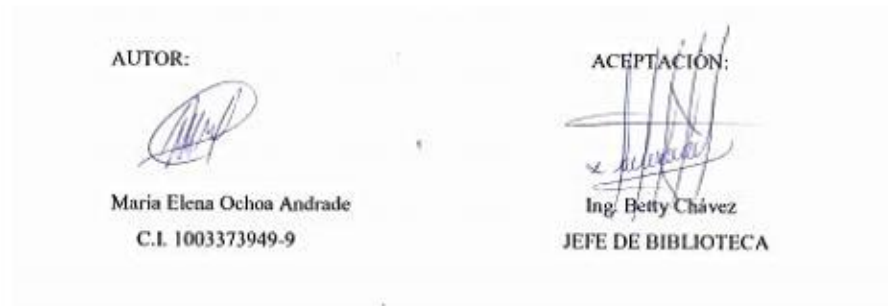
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO	“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CIANOBACTERIAS EN RELACIÓN CON LOS PARÁMETROS FISICO-QUIÍMICOS DEL AGUA DEL LAGO YAHUARCOCHA”
AUTORA	Ochoa Andrade María Elena
FECHA	27.10.2017
PROGRAMA	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA	Ingeniera en Recursos Naturales Renovables
	MSc Elizabeth Velarde

2. AUTORIZACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, María Elena Ochoa Andrade, con cédula de identidad Nro. 1003373949-9, en calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de titulación descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio digital institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

La autora manifiesta que la obra de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor a terceros, por lo tanto, la obra es original y que es titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.



Ibarra, a los 27 días del mes de octubre del 2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A FAVOR
DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, **María Elena Ochoa Andrade**, con cédula de identidad Nro. **1003373949-9**, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados a la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4,5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de titulación denominado; **“EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO DE CIANOBACTERIAS EN RELACIÓN CON LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL AGUA EN EL LAGO YAHUARCOCHA”**, que ha sido desarrollado para obtener el título de **Ingeniera en Recursos Naturales Renovables** en la Universidad Técnica del Norte, quedando dicha entidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En consecuencia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 27 días del mes de octubre del 2017

María Elena Ochoa Andrade

C.I. 1003373949-9

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: Ibarra, a los 27 días del mes de octubre de 2017

OCHOA ANDRADE MARÍA ELENA. “EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO DE CIANOBACTERIAS EN RELACIÓN CON LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL AGUA EN EL LAGO YAHUARCOCHA”.

TRABAJO DE TITULACIÓN. Ingeniera en Recursos Naturales Renovables. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Ibarra. EC.

DIRECTORA: Velarde, Elizabeth.

La evaluación del crecimiento de las cianobacterias permite evaluar las condiciones actuales del ecosistema, así como los riesgos que el estado trófico que el mismo presenta, a fin de proponer estrategias de manejo y control para dicha división fitoplanctónica, que beneficie a las presentes y futuras generaciones

Fecha: 27 de octubre de 2017



MSc Elizabeth Velarde
Directora de Tesis



Maria Elena Ochoa Andrade
Autora

PRESENTACIÓN

Yo, MARÍA ELENA OCHOA ANDRADE como autora del trabajo de titulación de tema “EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO DE CIANOBACTERIAS EN RELACIÓN CON LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL AGUA EN EL LAGO YAHUARCOCHA”, me hago responsable de los resultados, discusión, conclusiones y recomendaciones; y pongo este documento a disposición de los fines académicos para estudiantes de la academia.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, por haberme brindado la oportunidad de hacer uso de sus instalaciones.

A los docentes de la Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales quienes mostraron enseñar y brindar sus consejos de una forma ética y profesional:

A la MSc Elizabeth Velarde, quien ha sido guía durante todo el proceso de cumplimiento de mi estudio, reconociendo sus valores de constancia, dedicación y perseverancia en todas las actividades realizadas.

MSc Sania Ortega, por su aporte profesional en beneficio de la investigación

MSc Tania Oña, por brindar su amistad y consejo.

Dra Lucía Toromoreno, por su bondad en el momento de instruirme.

Al proyecto “Manejo Sostenible de los lagos del norte del Ecuador bajo las crecientes actividades económicas y el cambio climático” de la Universidad Técnica del Norte y VLIR-UOS Bélgica y su equipo técnico LABINAM quienes auspiciaron y brindaron los recursos humanos y económicos necesarios para el cumplimiento de mi investigación.

Prof. Koenraad Muylaert por las oportunidades brindadas, el apoyo, confianza y sabios consejos durante todo el proceso de la exploración.

Prof. Ricardo Echenique por su amistad y apoyo incondicional en el camino de la enseñanza.

Dr. Nelson Gallo, por sus acertadas recomendaciones, su generosidad en enseñanza y su confianza depositada en mí.

A mis amigos Jorge, Elizabeth, Carla y Diana mis más sinceros agradecimientos por demostrarse como seres humanos leales, honestos e incondicionales, siendo apoyo y motivación para cumplir los objetivos planteados.

DEDICATORIA

Esta investigación está dedicada a Dios por ser el centro de mi fortaleza, fe y ánimo diario, brindándome sabiduría y poniendo en mi camino los recursos necesarios para el cumplimiento del mismo.

A mi madre Elena, quien abnegadamente me brindó su voz de experiencia y consejo y a mi padre Fabián por sembrar en mí los valores de perseverancia y dedicación.

María Elena Ochoa Andrade

RESUMEN

Los ecosistemas acuáticos enfrentan problemas ambientales casi irreversibles alterando las actividades vitales de los organismos presentes. Es la sociedad humana la responsable del cuidado, restablecimiento, mantenimiento o mejoramiento de los mismos, por lo que surge la necesidad de diseñar e implementar medidas de control. Los objetivos planteados para esta investigación fueron: analizar multitemporalmente los parámetros temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH y turbidez del lago, caracterizar a la división Cianobacteria, analizar multitemporalmente el crecimiento de cianobacterias con relación a los nutrientes nitrógeno y fósforo para finalmente elaborar una propuesta de manejo y control. Se analizó los parámetros viento, precipitación y temperatura ambiental para relacionar su influencia sobre la distribución de este grupo sobre el espejo de agua; en puntos específicos se recolectaron muestras para el análisis cualitativo y cuantitativo la división en cuestión. Se realizó un bioensayo en base a los parámetros nitrógeno y fósforo para determinar el nutriente limitante en el crecimiento de la división taxonómica en estudio. Los resultados obtenidos registraron la variación de los parámetros fisicoquímicos de manera anual y temporal relacionando el 80% de las cianobacterias identificadas con la turbidez del lago. Los géneros identificados fueron *Coelosphaerium*, *Anabaenopsis*, *Dolichospermum*, *Pseudoanabaena* y las especies *Microcystis smithii*, *Geitlerinema splendidum*, *Chroococcus limneticus*, *Merismopedia punctata*, *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Sphaerocavum brasiliense* cuya abundancia es influenciada por los parámetros físicos: pH y temperatura. La dinámica de crecimiento en la época lluviosa (mes de abril) se ve dirigida por el fósforo mientras que en la época seca (mes de agosto) por el nitrógeno. Una vez realizado el análisis correspondiente de las comunidades cianobacterianas se determinó la propuesta de manejo y control para el género más abundante en el lago, ésta consta de la aplicación de un método mecánico que utiliza ondas de ultrasonido para disminuir la cantidad de cianobacterias en el sistema acuático sin provocar daños a la biota existente, mejorando así las condiciones de eutrofización. La investigación realizada se es un diagnóstico toxicológico previo del lago Yahuarcocha, debido a las características de la división Cianobacteria presentes, siendo este cuerpo de agua de importancia turística, económica y ecológica para Imbabura.

SUMMARY

The aquatic ecosystems face environmental problems and irreversible trends altering key activities of the present organisms. The responsibility for their care, restoration, preservation or improvement lays on the human society, due this come up the need to develop and implement control strategies.

The main objectives set for this research were: to perform a multitemporal analysis of water temperature, dissolved oxygen, PH and lake turbidity; characterize the cyanobacteria taxonomic rank; to perform a multitemporal analysis of cyanobacteria's growing population in relation with the nutrients phosphorous and nitrogen, and finally submit a proposal for management and control. The parameters wind, rainfall and environment temperature were analyzed in order to connect their influence over this taxonomic rank over the distribution in the body of the lake; qualitative and quantitative samples of this rank were collected in specific key points. A bioassay was performed over nitrogen and phosphorous parameters to determine the limiting factor in this group population growing. The results obtained registered the annual and temporary variation of the physicochemical parameters linking the 80% of the identified cyanobacterias with the turbidity of the lake. The identified taxonomic rank was: *Coelosphaerium*, *Anabaenopsis*, *Dolichospermum*, *Pseudoanabaena* y las species *Microcystis smithii*, *Geitlerinema splendidum*, *Chroococcus limneticus*, *Merismopedia punctata*, *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Sphaerocavum brasilense* which abundance is influenced by the physical parameters: PH and water temperature. The growth dynamic in the rain season (April) is driven by the phosphorous, meanwhile in the dry season (august) by the nitrogen. Once the proper analysis has done to the cyanobacterial communities, the proposal of management and control was determined to the main taxonomic rank present at the lake: this involves a mechanical method based in the use of ultrasound waves that reduce the quantity of cyanobacteria in the aquatic system without causing damage to the existing biota, improving the eutrophication conditions. In this way it concludes that this research is a prior toxicological assessment of the Yahuarcocha lake due to the present cyanobacteria group characteristics, considering the importance of this body of water for touristic, economic and ecologic importance to the Imbabura region.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido

	Páginas
SUMMARY	xi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xix
CAPÍTULO I.....	19
1. INTRODUCCIÓN	19
1.1. Objetivos	22
1.1.1. Objetivo general	22
1.1.2. Objetivos específicos	22
1.2. Pregunta directriz de la investigación	22
CAPÍTULO II	23
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	23
2.1. Componente biótico	23
2.1.1. Lagos de alta montaña: Yahuarcocha	23
2.1.2. Fitoplancton: división Cianobacteria	26
2.1.3. Caracterización.....	30
2.2. Componente abiótico	35
2.2.1. Parámetros físico-químicos: Yahuarcocha.....	35
2.2.2. Influencia de las características físico-químicas con el crecimiento de cianobacterias.....	37
2.2.3. Influencia de nutrientes en el agua.....	39
2.2.4. Influencia de los componentes ambientales	41
2.2.5. Estrategias de control	42
2.3. Herramientas informáticas	46
2.4. Marco legal	48
CAPÍTULO III.....	49
3. MARCO METODOLÓGICO.....	49
3.1. Caracterización del área de estudio.....	49

3.2. Materiales	51
3.3. Métodos.....	51
3.3.1. Toma de parámetros físico-químicos <i>in situ</i>	52
3.3.2. Estudio de cianobacterias	54
3.3.2.1. Muestra cualitativa	54
3.3.2.2. Muestra cuantitativa	57
3.3.3. Relación de la abundancia de Cianobacteria en relación con los parámetros físicoquímicos	60
3.3.4. Análisis de los parámetros ambientales	61
3.4. Consideraciones bioéticas	62
CAPÍTULO IV	64
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	64
4.1. Relación de los Parámetros físico-químicos del lago Yahuarcocha.	64
4.1.1. Temperatura	65
4.1.2. pH	67
4.1.3. Oxígeno disuelto (mg/L).....	69
4.1.4. Turbidez	72
4.2. Relación de los parámetros ambientales sobre los parámetros físico-químicos	74
4.2.1. Precipitación.....	74
4.2.2. Velocidad del viento	76
4.2.3. Temperatura ambiental.....	77
4.2.4. Relación de los parámetros físico-químicos con la abundancia de Cianobacteria.....	78
4.3. División Cianobacteria presente en el lago Yahuarcocha.....	81
4.3.1. <i>Sphaerocavum brasiliense</i> (M.T.P Azevedo y C.L. Sant´Anna).....	82
4.3.2. <i>Cylindropermopsis raciborskii</i> (Seenayya & Subba Raju 1972).....	82
4.3.3.1. <i>Especie Cylindropermopsis raciborskii</i>	83
4.3.2. <i>Microcystis smithii</i> (Komárek y Anagnosstidis).....	87
4.3.4. <i>Dolicosphermon sp</i> (Komárek y Anagnosstidis)	92
4.3.5. <i>Pseudoanabaena sp</i> (Komárek y Anagnosstidis)	93
4.3.6. <i>Chroococcus limneticus</i> (Komárek y Anagnosstidis).....	94

4.3.7. <i>Merismopedia punctata</i> (Meyen 1839).....	94
4.3.8. <i>Geitlerinema splendidum</i> (Anagnostidis 1989)	95
4.3.9. <i>Coelosphaerium sp</i> (Komárek y Anagnostidis)	96
4.3.10. <i>Anabaenopsis sp</i> (Komárek y Anagnostidis).....	97
4.4. Crecimiento de cianobacterias en relación al nitrógeno y fósforo	101
4.4.1. Biovolumen de cianobacterias: <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	102
4.4.2. Biovolumen de cianobacterias: <i>Microcystis</i>	104
4.4.3. Nutriente limitante	105
4.5. Propuesta de Control de <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	109
4.5.1. Metodología de la propuesta	110
❖ Niveles de exposición.....	111
❖ Elaboración de un sistema de alertas.....	111
❖ Rangos de frecuencia.....	111
❖ Descripción del equipo	113
❖ Distribución del equipo	113
❖ Funcionamiento del equipo	115
❖ Duración	117
❖ Socialización.....	118
❖ Marco legal ambiental	119
CAPÍTULO V.....	120
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	120
5.1. CONCLUSIONES	120
5.2. RECOMENDACIONES	121
CAPÍTULO VI	123
6. BIBLIOGRAFÍA CITADA	123
7. ANEXOS	130

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio	50
Figura 2. Multímetro Horiba (iz) U-20 y disco Secchi (der).	53
Figura 3. Toma de muestra cualitativa.....	55
Figura 4. Identificación de cianobacterias.	56
Figura 5. Toma de muestra cuantitativa.....	58
Figura 6. Fluorímetro utilizado en la medición de clorofila a (iz) y marco de aluminio (der).....	61
Figura 7. Registro de parámetros ambientales	62
Figura 8. Área de estudio y puntos de monitoreo	64
Figura 9. Valores de temperatura correspondientes al periodo 2013-2016, presentes en el lago Yahuarcocha	65
Figura 10. Valores anuales de temperatura correspondientes al periodo 2013-2016 para la época seca y lluviosa, presentes en el lago Yahuarcocha.....	66
Figura 11. Valores correspondientes al pH del periodo 2013-2017 presentes en el lago Yahuarcocha.....	67
Figura 12. Valores anuales de pH correspondientes al periodo 2013-2016 para la época seca y lluviosa, presentes en el lago Yahuarcocha.	68
Figura 13. Representación anual de los valores de oxígeno disuelto (mg/L) del periodo 2013-2016 en el lago Yahuarcocha.....	70
Figura 14. Valores anuales de oxígeno disuelto (mg/L) correspondientes al periodo 2013-2016 para la época seca y lluviosa, presentes en el lago Yahuarcocha.	71
Figura 15. Valores correspondientes a las mediciones de disco Secchi del periodo 2013-2016 en el lago Yahuarcocha.....	72
Figura 16. Valores anuales de disco Secchi (m) correspondientes al periodo 2013-2016 para la época seca y lluviosa, presentes en el lago Yahuarcocha.....	73
Figura 17. Precipitación anual en el periodo 2013-2016	75
Figura 18. Variación de la velocidad del viento m/s en el periodo 2013-2016 ...	76
Figura 19. Variación de la temperatura ambiental en el periodo 2013-2016.....	78

Figura 20. Parámetros temperatura, oxígeno disuelto (mg/l), pH y turbidez con relación a la abundancia de cada género de cianobacterias identificado el periodo de estudio.	79
Figura 16 <i>Sphaerocavum brasiliense</i>	82
Figura 18. <i>Cylindropermopsis raciborskii</i>	83
Figura 34. <i>Cylindropermopsis raciborskii</i> (Seenayya y Subba Raju 1972).	84
Figura 35. Indica la abundancia del género <i>Cylindropermopsis</i> en el periodo de monitoreo 2013-2017 en el lago Yahuarcocha	84
Figura 36. Muestras de fitoplancton del año 2016-2015 respetivamente el lago Yahuarcocha.....	86
Figura 17. <i>Microcystis smithii</i>	87
Figura 37. Indica la abundancia del género <i>Microcystis</i> en el periodo de monitoreo 2013-2016 en el lago Yahuarcocha.....	88
Figura 38. Indica la abundancia del género <i>Microcystis</i> en el periodo de monitoreo 2013-2016 en el lago Yahuarcocha.....	89
Figura 39. A. Presencia de dermatotoxinas en Yahuarcocha. B. Mortandad de peces octubre 2017. C. Florecimiento de nuevos géneros de Cianobacteria.	90
Figura 40. Relación entre la abundancia de Cianobacteria con la turbidez del lago Yahuarcocha.....	91
Figura 19. <i>Dolicosphermun sp</i>	92
Figura 20. <i>Pseudoanabaena sp</i>	93
Figura 21. <i>Chroococcus limneticus</i>	94
Figura 22. <i>Merismopedia punctata</i>	95
Figura 23. <i>Geitlerinema splendidum</i>	96
Figura 24. <i>Coelosphaerium sp</i>	97
Figura 25. <i>Anabaenopsis sp</i>	98
Figura 31. Total, anual de individuos de cianobacterias registrados en un volumen de 40 ul mensuales durante el año 2016. D. sp (<i>Dolichospermum sp</i>), A. sp (<i>Anabaenopsis sp</i>), C. sp (<i>Chroococcus sp</i>), M. punctata (<i>Merismopedia punctata</i>), C. raciborskii (<i>Cylindropermopsis raciborskii</i>), complejo a (<i>Microcystis Smithii</i> , <i>Sphaerocavum brasiliense</i> y <i>Coelosphaerium sp</i>) y complejo b (<i>Pseudoanabaena sp</i> y <i>Geitlerinema splendidum</i>).....	99

Figura 32. Total, anual de individuos de cianobacterias registrados en un volumen de 40 ul en el año 2014. M. sp (<i>Merismopedia sp</i>), C.sp (<i>Colesphaerium sp</i>), D.sp (<i>Dolichospermum sp</i>), My sp (<i>Microcystis sp</i>), P sp (<i>Pseudoanabaena sp</i>) y Cy. Sp (<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>).	100
Figura 33. Indica la abundancia de Cianobacteria observado al microscopio en un lente de 10X	101
Figura 41. Colocación del bioensayo en la superficie del lago Yahuarcocha....	102
Figura 42. Biovolumen de <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> en base a los datos mensuales de abundancia del periodo 2016-2017 en el lago Yahuarcocha	103
Figura 43. Biovolumen de las células correspondientes a las colonias de <i>Microcystis</i> , en base a los datos mensuales de abundancia del periodo 2016-2017 en el lago Yahuarcocha	105
Figura 44. Valores de Chl <i>a</i> in vivo mensual en el periodo 2016-2017	106
Figura 45. Corresponde a los niveles de Chl <i>a</i> in vivo representado en unidades de fluorescencia en el periodo de estudio	107
Figura 46. Niveles de Chl <i>a</i> in vivo representado en unidades de fluorescencia en la época seca.....	108
Figura 47. Niveles de Chl <i>a</i> expresados en ug/L para la época seca	108
Figura 48 Niveles de Chl <i>a</i> in vivo representado en ug/L en la época lluviosa. 108	
Figura 49. Niveles de Chl <i>a</i> expresados en UFC para la época lluviosa	108
Figura 50 Estimación del control de cianobacterias	114
Figura 51. La distribución debería tomar en cuenta la capacidad de cada equipo y se propone ésta como una posible ubicación.	115
Figura 52. Detalles de la estructura del equipo	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de los géneros taxonómicos de la división mencionados por Caicedo (2015).....	33
Tabla 2. Parámetros físicos en el periodo 2013-2014 del lago Yahuarcocha	35
Tabla 3 Parámetros físicos en el periodo 2014-2015 del lago Yahuarcocha	36
Tabla 4. Materiales, equipos, reactivos.....	51
Tabla 5. Puntos de muestreo en el lago Yahuarcocha.....	53
Tabla 6. Indica la relación de cada parámetro fisicoquímico con la abundancia de cada género taxonómico de la división Cianobacteria.....	80
Tabla 8. Cianotoxinas producidas por <i>Cylindropermopsis raciborskii</i>	83
Tabla 7. Cianotoxinas producidas por <i>Microcystis smithii</i>	87
Tabla 9. Cianotoxinas producidas por <i>Doliospherum sp</i>	92
Tabla 10. Cianotoxinas producidas por el género <i>Pseudoanabaena</i>	93
Tabla 11. Cianotoxinas producidas por el género <i>Chroococcus</i>	94
Tabla 12. Cianotoxinas que produce el género <i>Merismopedia</i>	95
Tabla 13. Cianotoxinas producidas por el género <i>Geitlerinema</i>	96
Tabla 14. Cianotoxinas que produce el género <i>Coelosphaerium</i>	97
Tabla 15. Cianotoxinas producidas por el género <i>Anabaenopsis</i>	98
Tabla 8. Guía para el control de cianobacterias en aguas recreacionales	112
Tabla 9. Especificaciones técnicas del equipo EPA Est. No. 74929-MA-001 ...	116
Tabla 10. Descripción de los transmisores de ultrasonido.....	116
Tabla 11 Costo unitario de cada equipo	118

ÍDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Fichas de registro de datos mensuales de los parámetros físicoquímicos	120
Anexo 2. Ficha de registro de datos para el componente Clorofila <i>a</i> in vivo	126
Anexo 3 Ficha descriptiva de <i>Microcystis smithii</i> Yahuarcocha.....	127
Anexo 4 Ficha descriptiva de <i>Sphaerocavum brasiliense</i>	128
Anexo 5 Ficha descriptiva de <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	129
Anexo 6 Ficha descriptiva de <i>Dolichospermum sp</i>	130
Anexo 7 Ficha descriptiva de <i>Pseudoanabaena sp.</i>	131
Anexo 8 Ficha descriptiva de <i>Chroococcus limneticus</i>	132
Anexo 9 Ficha descriptiva de <i>Merismopedia punctata</i>	133
Anexo 10 Ficha descriptiva de <i>Geitlerinema splendidum</i>	134
Anexo 11 Ficha descriptiva de <i>Coelosphaerium sp</i>	135
Anexo 12 Ficha descriptiva de <i>Anabaenopsis sp.</i>	135

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La alteración en la composición física, química y biológica del aire, suelo y agua, la saturación en la disponibilidad de nutrientes, el florecimiento de ciertas especies, así como en la no disponibilidad de los recursos naturales son los problemas mundialmente causados por la contaminación (Atilio de la Orden, 2010). América Latina y el Caribe presenta problemas ambientales como el declive de la biodiversidad, la desertificación y pérdida de suelos, disminución y agotamiento del recurso hídrico, la deforestación o la destrucción de la capa de ozono, que aumentan contaminantes orgánicos, bioseguridad y contribuyendo al cambio climático (Rodríguez-Becerra y Espinoza, 2002).

De la cantidad total de agua disponible en el planeta, el 0,3 % se encuentra en forma de agua dulce líquida superficial, de donde el 90 % de ésta se almacena en los lagos, siendo los ecosistemas acuáticos propensos a la contaminación y deterioro. (Rodríguez-Becerra y Espinoza, 2002). Estos ecosistemas son los más vulnerables y frágiles por ser considerados sumidero de sustancias como: sedimentos, minerales, nutrientes de plantas acuáticas y materiales orgánicos (Reynolds y Walsby, 1975). La contaminación en los lagos puede darse por procesos alóctonos y principalmente como consecuencia de actividades antrópicas, alterando su dinámica ecológica (Liliana, Madro y Cocha, 2015).

Las floraciones de cianobacterias y la producción de cianotoxinas son características de este grupo de organismos y actúan en la modificación de los procesos ecosistémicos a través de los ciclos geoquímicos; este grupo muestra una variedad morfológica y fisiológica que se manifiesta sobre las interacciones ecológicas, su rol como bioindicadores en ecosistemas acuáticos y la importancia de los mismos en las funciones de las comunidades adyacentes (Chaurasia, 2015).

La provincia de Imbabura cuenta con 27 lagos, de los cuales el lago Yahuarcocha es ícono de cultura Ibarreña, representando un valor histórico, ecológico y turístico (GPI, 2015). Este sistema lacustre es afectado por diversos factores antrópicos, de donde surge la necesidad de promover medidas de control y manejo de los recursos que forman parte de éste (Portilla, 2015).

El estudio realizado por el Gobierno Provincial de Imbabura (2004) menciona que el lago Yahuarcocha es un lago eutrófico. Caicedo (2015) en su estudio confirma la sobreproducción primaria en el lago mencionando la importancia del estudio de la división Cianobacteria por ser un grupo de formación de floraciones nocivas en sistemas lacustres. Las cianobacterias son representativas por su carácter tóxico y proliferación representando una amenaza para la salud de las poblaciones humanas y animales que tienen una relación directa con el cuerpo hídrico (Ibelings y Chorus, 2007). La problemática radica en la falta de conocimiento acerca de la toxicidad de estos organismos y los efectos negativos que han causado sobre la población humana local, los bienes y servicios ambientales.

Los estudios realizados en Ecuador, provincia de Imbabura y de forma específica Yahuarcocha no brindan registros abundantes acerca de la diversidad de cianobacterias presentes en el cuerpo lacustre, mucho menos de la relación existente entre estos organismos y los parámetros físico-químicos del agua, razón por la cual esta investigación permitirá generar información de las especies de cianobacterias y determinar la posibilidad existente de un riesgo para las poblaciones humanas y animales que hacen uso de este entorno como espacio de supervivencia así como la comprensión del comportamiento ecológico del sistema lacustre para la posterior

y posible aplicación de una estrategia de control y manejo.(Molina, Ortiz, Cifuentes y Vara 2008).

La importancia de este estudio se deriva a partir de los trabajos realizados por Steinitz (1979) y GPI (2007) que mencionan el carácter eutrófico para Yahuarcocha y los reportes de cianobacterias en el estudio de Caicedo (2015). La investigación se realizó durante 1 año ya que requiere un análisis multitemporal y monitoreos constantes debido a los cambios y alteraciones que pueden presentarse, evaluándose la dinámica y relación de los factores bióticos y abióticos en el comportamiento de la división Cianobacteria.

Su fundamento legal se encuentra en la Constitución Política de Ecuador en el Capítulo segundo de los Derechos de Buen Vivir, sección segunda referente a un ambiente sano en su Art. 14 que “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el Buen Vivir, *Sumak Kawsay*”.

Esta investigación se realizó en base al convenio entre la Universidad Católica de Lovaina VLIR-UOS y la Universidad Técnica del Norte a través del proyecto “Manejo Sostenible de los lagos del norte del Ecuador bajo las crecientes actividades económicas y el cambio climático”, cuya finalidad es fomentar a través de la investigación la necesidad de preservar el medio que nos rodea, así como mantener los ecosistemas acuáticos de una forma sostenible.

1.1. Objetivos

A continuación, se detallan los objetivos planteados en la investigación.

1.1.1. Objetivo general

Evaluar la relación de los parámetros físico-químicos del agua con la dinámica poblacional de la división Cianobacteria en el Lago Yahuarcocha, con el fin de proponer estrategias de control y manejo.

1.1.2. Objetivos específicos

- ❖ Analizar multitemporalmente los parámetros físico-químicos del lago Yahuarcocha.
- ❖ Caracterizar la división Cianobacteria existente en el lago Yahuarcocha.
- ❖ Relacionar multitemporalmente la abundancia de Cianobacterias con los parámetros físico-químicos del agua.
- ❖ Proponer estrategias de control y manejo del género de Cianobacteria más abundante presente en el ecosistema.

1.2. Pregunta directriz de la investigación

¿Existe relación entre los parámetros físico-químicos con el crecimiento de Cianobacterias en el lago Yahuarcocha?

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

En este capítulo se hace referencia a los artículos científicos, libros, documentos técnicos, investigaciones y revistas cuyo contenido se relaciona con las variables estudiadas, brindando de esta forma sustento a los resultados e interpretación de los mismos.

2.1. Componente biótico

Aguirre *et al.* (2016) menciona que aquellos componentes pertenecientes a un ecosistema que poseen un ciclo de vida e intervienen en el desarrollo del mismo a través del cumplimiento de funciones específicas que favorecen su equilibrio, recuperación o mantenimiento son llamados componentes bióticos.

2.1.1. Lagos de alta montaña: Yahuarcocha

Según Casallas (2005), “Los lagos de alta montaña se encuentran entre los 2000 y 3000 metros sobre el nivel del mar” (p, 31), para Steinitz (1997) un ecosistema lacustre puede encontrarse entre los 2000 y 3000 m.s.n.m, incluyéndose todos aquellos lagos de meseta que se encuentran en la región interandina del Ecuador. Las características que diferencian a los lagos interandinos de los lagos de páramo, son principalmente el contenido de los nutrientes fósforo y nitrógeno, pH elevado, niveles altos de eutrofización y temperaturas promedio de 17°C.

Los ecosistemas lacustres de alta montaña se caracterizan por las condiciones de vida rigurosas en las que se desarrollan, alcanzando valores extremos determinados a factores físico-químicos. Además, las condiciones tanto físicas como biológicas de este tipo de lagos y lagunas se relacionan directamente con el crecimiento de las poblaciones que los habitan y los valores de producción primaria (Morales, 1985).

El estudio limnológico de los lagos, se realiza gracias al descubrimiento e invención del microscopio en el siglo XVII, con ello la observación de organismos vivos en una gota de agua por A. van Leeuwenhoek (1632-1723), conjuntamente con J. Swammerdan (1637-1680) y F. Redi (1626-1698), que definieron los primeros pasos en la ciencia del agua. Además de reportarse los estudios consiguientes, las mediciones de temperatura y fenómenos de estratificación térmica conocida como termoclina, relacionaron por primera vez los organismos acuáticos con las condiciones físico-químicas del agua (Roldán y Ramírez, 2008).

Según Margalef (1983), la ecología es incompleta si no se toman en cuenta las regiones tropicales, más aún tratándose en el caso de la limnología, la tipología desarrollada no puede generalizarse debido a las condiciones de las zonas tropicales y su variabilidad en fauna y flora. El estudio de la dinámica de los lagos tropicales es aún un mundo desconocido, estableciéndose la importancia del estudio de los lagos del neotrópico (Roldán y Ramírez, 2008).

Yahuarcocha es un ecosistema cuyo origen se dio por una sucesión de fenómenos tectónicos, glaciales y volcánicos, formando una disposición morfológica en forma de U, espacio que fue llenado con aguas procedentes de deshielos y lluvias hace 12000 años, época en la cual se evidenciaron altos niveles de pluviosidad, nubosidad y bajas temperaturas a finales del Pleistoceno e inicios del Holoceno. Según el Gobierno Autónomo Descentralizado- Ibarra (GAD-I, 2012) presenta una superficie lacustre de 2,68 km², un perímetro de 9,88 km y una profundidad máxima estimada de 8,04 metros; Este ecosistema acuático ha presentado signos de alteración en la producción y en sus procesos de auto recuperación a partir de la

década de los 70, que se han ido agravando hasta la actualidad, debido a la falta de manejo y control de los recursos existentes en el mismo (Steinitz, 1979).

Se considera al fitoplancton como un ensamble de organismos planctónicos de carácter primario, fotoautótrofos que se adaptan a la suspensión en la zona limnética de los sistemas lénticos, dispuestos en el cuerpo de agua y sometidos al movimiento pasivo del viento y corrientes de la superficie del agua (Cervantes, 2007). La presencia de luz en un lago poco profundo tiene influencia directa sobre el fitoplancton y se encuentra en mayor concentración en la columna de agua según Feldman *et al.* (1989), su localización está determinada por factores como la densidad de masas de agua, la temperatura y sales nutritivas, presentando una variación estacional en sus poblaciones (Roldán y Ramírez, 2008).

Steinitz (1979) menciona que en Yahuarcocha los datos de fitoplancton muestran la presencia de florecimientos masivos de *Euglena sanguínea* que para el estudio de Maridueña *et al.* (2003), tiene a las comunidades de fitoplancton Clorofita y Cianofita como representativos. Once años más tarde Mandonx (2014) determinó que los grupos taxonómicos presentes son Cianobacteria, Hererokontofita, Euglenofita, Dinofita y Clorofita como dominante. Posteriormente, Caicedo (2015) menciona que existe una dominancia espacial la división Cianobacteria.

Para el estudio de cianobacterias en el lago Yahuarcocha se tomó como una referencia los datos generales del ecosistema proporcionados por el GAD-I (2012), la influencia de los parámetros ambientales de pluviosidad, nubosidad y temperatura, los datos generados y proporcionados por el Laboratorio de Investigaciones Ambientales de la Universidad Técnica del Norte a través de los estudios anuales realizados a partir del 2014 y aquellos anteriores a éstos realizados en el ecosistema, con la finalidad de analizar la fluctuación de cada parámetro y su relación con el crecimiento de cianobacterias.

2.1.2. Fitoplancton: división Cianobacteria

Conforman uno de los grupos de organismos más antiguos conocidos en el planeta, que han existido desde aproximadamente 3.5 billones de años desde el precámbrico, cumpliendo un rol de gran importancia en la acumulación de oxígeno en la atmósfera terrestre debido a su habilidad de capturar nitrógeno y producir oxígeno a través de la fotosíntesis. Durante la evolución, este grupo se ha adaptado a los cambios geoquímicos, climáticos y antropogénicos provocados. La biodiversidad de cianobacterias probablemente fue inducida por las variaciones climáticas existentes cuyo impacto incidió sobre las estructuras de este grupo, incrementando la posibilidad del crecimiento y formación de floraciones, así como el desencadenamiento, producción y concentración de toxinas, que afectan de forma directa a los bienes y servicios ecosistémicos; La biodiversidad de Cianobacteria trasciende sobre los roles ecológicos y necesita ser explorada y conservada debido a su influencia sobre la dinámicas de ecosistemas acuáticos (Chaurasia, 2015).

Cianobacteria, grupo compuesto por organismos que presentan fototrofia oxigénica llamadas algas verde azules que producen como pigmentos básicos clorofila *a* y ficobiliproteínas y como pigmentos auxiliares se encuentran ficocianina, carotenoides, xantofilas y ficoeritrina, estos organismos son capaces de adaptarse a condiciones fotosintéticas anóxicas, disponibilidad de luz, condiciones extremas de temperatura, salinidad, pH, sequedad, disponibilidad de nutrientes, siendo tolerantes a condiciones extremófilas obligadas, para lo cual han desarrollado estructuras específicas que les favorecen en las funciones de su crecimiento, fijación de nitrógeno y flotabilidad (Campos *et al.*, 2005). Según este mismo autor el florecimiento de cianobacterias es un fenómeno conocido característico de los ecosistemas lacustres eutróficos reportados a nivel mundial. En ese mismo sentido Ibelings *et al.* (2016) menciona que la sobrecarga de nutrientes da paso a la eutrofización y formación de florecimientos cianobacterianos que son problemas ambientales severos y difíciles de controlar.

Las cianobacterias son un grupo de microorganismos exclusivamente procarióticos que se encuentra presentes en distintos hábitats acuáticos, son los responsables de un gran número de floraciones en los espacios dulceacuícolas. Dichas floraciones se ven relacionadas con factores como la luz que según Oliveira *et al.* (2009) proporcionan la capacidad de elevar la tasa de crecimiento con una intensidad luminosa baja, debido a la presencia de ficobiliproteínas en su estructura. Fernandes *et al.* (2009) menciona que otros factores de gran importancia sobre el crecimiento de cianobacterias son la temperatura por beneficiar la estratificación térmica que favorece la estabilidad de la columna de agua, el pH que brinda un espacio óptimo para el desarrollo de cianobacterias en niveles alcalinos, y la disponibilidad de nutrientes principales como nitrógeno y fósforo, parámetros que promueven el proceso de eutrofización impulsando la magnitud y duración de las floraciones.

Los estudios realizados en distintas partes del mundo acerca de la división Cianobacteria demuestran la existencia de floraciones tóxicas en lagos eutrofizados, en el caso de Europa (2003), la presencia y crecimiento de estos organismos fue influenciado por el cambio climático presente desde esa época, provocando problemas ambientales irreversibles e incluso la mortandad de mamíferos, aves y peces en contacto con estos cuerpos lacustres (Jöhnk *et al.*, 2008). La parte central de Europa con países como Alemania, Polonia, República Checa, Eslovaquia, Suiza, Austria o Lichtenstein también han registrado cianobacterias en sus cuerpos lacustres, sin embargo, su crecimiento es asociado con la alteración de los parámetros físico-químicos del agua debido a los cambios eventuales del ambiente, como por ejemplo el incremento de temperatura anual en 1-2 °C o la transformación alcalina del agua además de la variación en los datos meteorológicos registrados anualmente que registran la disminución de precipitación y viento en un 20%, afectando no solo a la parte central de Europa sino también a los ecosistemas de la parte norte y sur (Dokulit *et al.*, 2010).

En cuanto a los países latinoamericanos el estudio realizado en Uruguay por las organizaciones OSE, DINAMA, IM, Universidad de la República e IIBCE que menciona a la floración de cianobacterias como un problema mundial de cuerpos

de agua dulce, cuya raíz es el incremento de nutrientes, así como los cambios hidrológicos del ecosistema. Este trabajo interinstitucional generó datos históricos acerca de las floraciones cianobacterianas en 64 ecosistemas de Uruguay en un periodo comprendido entre los años 1980 a 2014, llegando a determinar la existencia de este grupo de micro algas en sistemas tanto léxicos como lóticos, cuya proliferación se evaluó a partir de la concentración de cianotoxinas presentes. Bonilla *et al.* (2015) por su parte en su estudio determinó que las máximas concentraciones de cianotoxinas tienden a encontrarse en embalses y en aquellos donde las características morfológicas no permiten un intercambio de líquidos que favorezcan a su proceso de auto recuperación.

El apareamiento de floraciones en Sudamérica también es identificado en las aguas continentales de Chile con una extensión desde el extremo Norte hasta el territorio Antártico, con presencia de cianobacterias tóxicas, a pesar de los microclimas que este país presenta. Sin embargo, a pesar de que la división Cianobacteria no es reconocida como extremófilo en los estudios realizados por Campos *et al.* (2005) demuestran su capacidad de adaptarse en ambientes extremos y desarrollarse en áreas con características muy salinas, alcalinas e incluso áreas en las que la pluviosidad es muy baja con rangos menores a 1 mm como promedio anual.

En Ecuador se han realizado estudios acerca de micro algas y cianobacterias con finalidad de elaborar una línea base acerca de la diversidad existente en aguas continentales, termales, salobres y lodos de 25 sectores de las provincias de: Guayas, Pichincha, Carchi, Santa Elena e Imbabura para su posterior identificación y aislamiento, con la finalidad de usar la información adquirida bajo un interés de aplicación biotecnológico ambiental, biomédico o para agroalimentación (Morales *et al.*, 2013).

En la provincia de Imbabura uno de los lagos alto andinos más representativos a nivel turístico es Yahuarcocha que desde el año 2007 es un ecosistema eutrófico GAD-I (2012). Caicedo (2015) menciona que el lago Yahuarcocha presenta la necesidad de un estudio acerca de la división Cianobacteria.

Estos organismos producen una variedad de metabolitos secundarios y generan cianotoxinas que afecta a la biota existente en el ecosistema. La producción de toxinas varía según su ciclo de vida, siendo las poblaciones senescentes las que pueden producir de 8 a 15 veces más toxinas que aquellas que son producidas por las poblaciones jóvenes debido a los procesos naturales que las liberan a través de lisis o ruptura celular. Sin embargo, la disponibilidad de cianotoxinas en el medio acuático puede ser influenciado por pigmentos celulares hidrosolubles, ácidos húmicos, fotólisis o biodegradación por bacterias, alcanzando su destrucción en un porcentaje de 40% en un día (Chorus y Bartram, 1999).

Los estudios realizados en Chile por Campos *et al.* (2005) hacen referencia a la toxicidad que la división Cianobacteria y los riesgos que puede presentar por la ingestión de una micro dosis o la posibilidad de ser causa de formación de tumores debido a la alta producción de cianotoxinas como anatoxina-a, saxitoxina, microcistina, anatoxina –a (s).

Las principales toxinas de la división Cianobacteria son: hepatotoxinas y neurotoxinas. Las hepatotoxinas producen distintas enfermedades de carácter cutáneo que se agravan según el tiempo y los principales géneros de cianobacterias que las presentan según Vasconcelos (1995) son *Aphanizomenon*, *Nodularia*, *Oscillatoria*, *Gloeotrichia* y *Schizothrix*. Las neurotoxinas en cambio, son responsables de parálisis musculares, principalmente por el contacto entre las neuronas y las células musculares. Carmichael (1994) menciona que “*Las cianobacterias son responsables de 5 tipos de neurotoxinas anatoxina-a, anatoxina-a (s), homoanatoxina-a, saxitoxina y neosaxitoxina*” de donde las dos últimas son descritas para los dinoflagelados.

Las hepatotoxinas se dividen en microcistinas y nodularias cuyas estructuras se basan en un número específico de aminoácidos. Recientemente fue descrita cilindrospermopsina que fue aislada a partir del género taxonómico *Cylindrospermopsis*, toxina que ha tenido un registro de mortandad en países no solamente latinoamericanos sino también Europeos (Vasconcelos, 1995). Sin

embargo, Codd, Morrison y Metcalf (2005) en su estudio mencionan la importancia del estudio de las células productoras de cianotoxinas puesto que existen casos en donde éstas pueden causar daño e incluso muerte a mamíferos y peces a través de los procesos de aspiración, ingestión, inhalación o con el contacto a la piel, puesto que los efectos de las células cianobacterianas tienen efecto alérgico e irritatorio.

Las poblaciones de cianobacterias pueden ser observadas formando floraciones, que abarcan la columna de agua debido a su flotabilidad, formando un espumaje que es acumulado en la superficie del cuerpo de agua, en las orillas o formando mallas propias del sedimento y de los organismos bénticos. La producción de toxinas es posible en cada una de las formas de distribución mencionadas. Los géneros *Microcystis*, *Dolichospermum*, *Anabaenopsis*, *Planktothrix*, *Aphanizomenon*, *Cylindropspermopsis*, *Raphidopsis* y *Nodularia* son productores de cianotoxinas en el desarrollo de floraciones, los géneros *Microcystis*, *Dolichospermum*, *Anabaenopsis*, *Planktothrix* y *Aphanizomenon* al presentarse formando masas espumosas y los géneros *Phormidium*, *Oscillatoria* y *Lynbya* al formar parte de la superficie del sedimento (Codd, Morrison y Metcalf, 2005).

2.1.3. Caracterización

El término alga fue propuesto como una categoría taxonómica desde el año 1753 por el científico Lineo, con la descripción de cuatro órdenes, 14 géneros y 214 especies generales de organismos de los cuales únicamente 5 géneros y 48 especies constituyen lo que hoy conocemos como algas. Alga es un término usado de forma muy popular, sin embargo, el verdadero universo de organismos que encierra se define según la morfología, reproducción, fisiología y ecología, como es el caso particular de Cianobacteria. Se considera en la clasificación taxonómica de esta división la exclusión del reino fungi debido a la capacidad de realizar procesos como fotosíntesis y la existencia de pigmentos en su estructura (Bicudo y Menezes, 2006).

Gupta *et al.* (2013) menciona que entre las características relevantes de Cianobacteria está su condición autotrófica y Gram negativa, sus capacidades metabólicas, su habilidad de formación de asociaciones simbióticas con distintos organismos eucarióticos como plantas, hongos y protistas y los mecanismos adaptativos que incluyen la fijación de nitrógeno, misma que es realizada por estructuras especializadas, a través de condiciones microaeróbicas o según de la estacionalidad temporal. Morfológicamente Cianobacteria es muy diverso, presentándose como filamentos, unicelulares, planctónicos o bentónicos además de formas coloniales o en formación de cenobios. En las formas coloniales, las células pueden llegar a ser alargadas, esféricas en distintos planos espaciales, radiales o irregulares.

Bicudo y Menezes (2006) enfatizan en los sistemas de clasificación taxonómicos: artificiales, naturales y filogenéticos.

- ❖ Aquellos artificiales utilizan los caracteres independientes de su origen y de las afinidades y parentescos entre los individuos a clasificar, buscando únicamente practicidad en el sistema sin preocuparse por la convergencia o los eventuales paralelismos que poseen los procesos de evaluación de especies.
- ❖ Los sistemas naturales llevan en sí todas las consideraciones disponibles sobre cada una de las especies a identificar, incluyendo los caracteres morfológicos, fisiológicos, bioquímicos, genéticos y citológicos, esta clasificación proporciona mayor información acerca de las afinidades de las especies clasificadas y en consecuencia de la convergencia o eventuales paralelismos ocurridos en el desarrollo de las especies.
- ❖ El sistema filogenético que de cierta forma se aproxima a lo ideal una vez que los taxones son identificados con anterioridad según su descendencia, identificando cuales especies son más cercanas o lejanas a su ancestro común, creando un árbol filogenético según el parentesco.

Los mismos autores, Bicudo y Menezes (2006), dan relevancia a la determinación de un sistema taxonómico específico para evitar relegación de las ubicaciones algales en los distintos taxones, trabajo que concuerda con Gupta *et al.* (2013), en donde se menciona la necesidad de la clasificación e identificación taxonómica con el fin de obtener datos científicos acerca de los organismos acuáticos. Komarek y Anagnostidis en el Manual del Sistema Bacteriológico y el código botánico de nomenclatura dividen a Cianobacteria en 4 órdenes: Nostocales, Stigonematales, Chroococcales y Oscillatoriales que consecuentemente son divididos en familias, subfamilias, géneros y finalmente en especies.

Las estructuras más representativas que conforman una Cianobacteria son por ejemplo los **acinetos**, consideradas como células en reposo o latencia, teniendo viabilidad por largos periodos, posibles responsables de su existencia y su no desaparecimiento en el tiempo, los **heterocitos**, que se encuentran en cianobacterias filamentosas originándose de las células vegetativas, no producen oxígeno y contienen nitrogenasa, cuya función específica es la fijación de nitrógeno por ser anaeróbica y no producir CO₂ pero sin estar relacionada directamente con la respiración. La existencia de estas células fijadoras de nitrógeno depende de los metabolitos que las células vegetativas en contacto les brindan, sin embargo, no todas las Cianofíceas poseen heterocitos, como es el caso del género *Geoclapso* o *Plectonema*, pero sí fijan nitrógeno. Estos organismos separan sus actividades y en el día realizan fotosíntesis con la finalidad de reservar carbohidratos y en la noche realizan la fijación de nitrógeno. Además, estructuras conocidas como **hormogonios**, forman parte del tricoma y cumplen la función de reproducción, éstos son móviles o facultativamente móviles, cuyo origen puede darse a través de la muerte de una célula intercalar o la separación entre dos células vecinas y al ser separadas las células a nivel de heterocito el tricoma sigue en formación conformando un nuevo individuo. Aquellas estructuras que se encuentran dentro de las células que conforman un individuo y cuya función es el almacenamiento de gases y por consiguiente la capacidad de flotabilidad, son conocidos como **vesículas de gas**, pueden ser confundidas con otras inclusiones, sin embargo, estas tienden a desaparecer de forma irreversible a través de la presión; el tamaño de estas

estructuras oscila entre 70 nm de ancho y longitud variable, compuestas de proteínas, con un contenido de gases de 1 atm de presión, en especial nitrógeno (Gallo y Apolo, 2012).

Se describen en la Tabla 1 las principales características de los géneros taxonómicos de Cianobacteria identificados para Yahuarcocha en el estudio de Caicedo (2015).

Tabla 1. Descripción de los géneros taxonómicos de la división Cianobacteria mencionados por Caicedo (2015).

Género	Morfología	Característica importante
<i>Anabaena</i> Bourrely (1985)	<ul style="list-style-type: none"> - Tricomas simples, libres, regulares, esféricos, a veces unidos a células apicales achatadas o cónicas heterocistes intercalares. - Presencia o ausencia de vaina mucosa, la forma y dimensiones de las células que la conforman es distinta, así como su disposición. - Ausencia o presencia de pseudovacúolas y puede llegar a formar células apicales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Poseen aquinetes que son indispensables en el momento de la identificación. - Se encuentra en hábitats planctónicos, en áreas sumergidas húmedas, endófitos en hojas o formando parte de raíces de ciertas macrófitas
<i>Pseudoanabaena</i> Lauterborn (1914-1917)	<ul style="list-style-type: none"> - Filamentosa, cuyos tricomas se muestran solitarios, móviles y sin vaina. - Células del tricoma cilíndricas separadas por vacuolas de tamaño mínimo. -Las células apicales en muchos casos se encuentran formadas por pseudovacúolas en los extremos. 	<ul style="list-style-type: none"> - La diferencia entre <i>Dolichospermum</i> y <i>Pseudoanabaena</i> es la existencia e aquinetes y heterocistes
<i>Cylindrospermopsis</i> Bourrely (1985)	<ul style="list-style-type: none"> - Por tricomas simples, sin ramificaciones, cilíndricos con presencia de heterocistes extremos. 	<ul style="list-style-type: none"> -Pueden transformar sus estructuras de células vegetativas a células reproductivas.

	<ul style="list-style-type: none"> - Los tricomas adultos presentan aquinetes cercanos a sus heterocistes. - Poseen vacuolas de gas que les permiten flotar en el agua y mantenerse suspendidos formando capas superficiales. 	<ul style="list-style-type: none"> - La posición de los acinetos determina la especie que en ciertos casos es difícil de identificar. - Existe en ambientes en donde con alta disponibilidad de nutrientes.
<i>Chroococcus</i> Meyen (1839)	<ul style="list-style-type: none"> - Colonias tabulares, monomáticas que flotan libremente. - Sus células son globulares, elipsoidales o cilíndricas y se encuentran dispuestas en un gel homogéneo 	<ul style="list-style-type: none"> -Este género se conoce por estar sujeto a sustratos, dispuesto en enredos con algas filamentosas o de libre flotación (Gallo y Apolo, 2012).
<i>Merismopedia</i> Meyen (1839)	<ul style="list-style-type: none"> -Colonias tabulares, monocromáticas que se encuentran libremente flotantes. - Las células que lo conforman pueden ser globulares, elipsoidales o cilíndricas dispuestas en un gel homogéneo 	<ul style="list-style-type: none"> - Su disposición se da en dos planos del espacio, que en un inicio pueden presentarse distribuidas en pares para consecuentemente ubicarse en agrupaciones de cuatro o más células formando una especie de malla con extremos perpendiculares. - Según Gallo y Apolo (2012), es propio de hábitats considerados como pantanos.
<i>Microcystis</i> Kützing (1983)	<ul style="list-style-type: none"> - Colonias que formadas por células esféricas dentro de un gel homogéneo y generalmente transparente o hialino. - Las especies plantónicas pueden presentar pseudovacúolas llamadas aerotopos. 	<ul style="list-style-type: none"> - La reproducción de este género taxonómico es por división vegetativa en los tres planos del espacio. - Se diferencia de los géneros <i>Aphanotece</i> en la forma de sus células por ser elipsoidales y de <i>Aphanocapsa</i> por tener mayor espacio mucilaginoso entre las células.

2.2. Componente abiótico

Son aquellos elementos que forman el espacio físico y químico de un ecosistema y que determinan el tipo de organismos que habitarán en él (Aguirre *et al.*, 2006). En este componente se evalúan los parámetros físico-químicos considerados para la evaluación de estado actual de un ecosistema y de la posible problemática existente, brindando información extensa de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas sin aportar información acerca de su influencia en la vida acuática (Orozco *et al.*, 2005).

2.2.1. Parámetros físico-químicos: Yahuarcocha

Según Mandonx (2014), los datos de los parámetros físicos del agua del lago Yahuarcocha pH, conductividad y oxígeno disuelto en el año 2013 no presentan una diferenciación representativa entre distintos puntos de muestreo, en donde el resultado anual para cada parámetro se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Parámetros físicos en el periodo 2013-2014 del lago Yahuarcocha

Parámetro	Medida
Temperatura	20°C
pH	8,8
Oxígeno disuelto	6,8mg/l
Oxígeno disuelto	64,3%
Conductividad	457 Us/cm2
Profundidad del disco Secchi	1,4m

En el estudio realizado en el 2014-2015, se evidenciaron cambios en los parámetros temperatura, pH, conductividad y profundidad del disco Secchi, debido a distintas condiciones a las que el lago Yahuarcocha fue sometido durante ese periodo; el resultado de las mediciones de los parámetros físico-químicos se muestra en la tabla 3 (Saelens,2015).

Según Portilla (2015), en Yahuarcocha existe una diferenciación entre las mediciones de los parámetros físico-químicos durante las épocas del año, en donde las características de precipitación, nubosidad velocidad del viento determinan el aumento o disminución de los datos de ciertos parámetros. La temperatura anual en el lago Yahuarcocha en el año 2015 fue de 21,44°C con su valor máximo de 23,5°C en el mes de diciembre y su valor mínimo 19,1°C en el mes de julio.

Tabla 3 Parámetros físicos en el periodo 2014-2015 del lago Yahuarcocha

Parámetro	Medida
Temperatura	21,4°C
pH	8,9
Oxígeno disuelto	6,8mg/l
Oxígeno disuelto	76,2%
Conductividad	498 Us/cm ²
Profundidad del disco Secchi	0,47m

Los valores de oxígeno disuelto en mg/l analizados en el mismo estudio registran el valor más alto en julio con un valor de 10,37 mg/l y un porcentaje de saturación máximo de 117,83%, en el punto más profundo de la cubeta de agua, siendo las condiciones climáticas como la velocidad del viento y precipitación aquellas de influencia directa en la zona fótica del lago, en donde, la ausencia de la presión del viento determina la sobresaturación de oxígeno disuelto. Su valor mínimo fue 2,03mg/l con un porcentaje de saturación de oxígeno disuelto de 22,75% en el mes de septiembre.

Hernández *et al.* (2013) considera que los lagos andinos tienen mayor influencia por el ciclaje de nutrientes en la masa vegetal y la composición química del lago todo asociado a la precipitación atmosférica, procesos biogeoquímicos de la cuenca de drenaje, la morfometría del lago, la dinámica de la cubeta lacustre y la actividad antrópica, en donde parámetros como la conductividad, y nutrientes (fosfatos,

nitratos y concentraciones de amonio) son variables que permiten la discriminación de procesos asociados a la estacionalidad.

La disminución o incremento del pH es característica principal de eutrofización que además influye sobre las concentraciones de dióxido de carbono y oxígeno disuelto del agua (Kiersch, Mühleck, Ralf y Gunkel, 2004). Además, Edmondson *et al.* (2003) menciona que las concentraciones de dióxido de carbono y su asociación con el pH son condicionantes especiales para la dominancia de ciertos grupos algales en especial de las cianobacterias. El pH del lago Yahuarcocha se mantuvo en 8,91 a diferencia del valor registrado en el año 2013 de 8,8 que dos años después tiene un valor máximo de 9,27 en julio y un valor mínimo de 8,2 en el mes de febrero (Portilla,2015).

Según Steiniz (1979), la profundidad del disco Secchi en el lago Yahuarcocha fue de 1 m. Mandonx (2014) señala un dato de 1,4 m de profundidad y Portilla (2015) un reporte de 0,48 m.

2.2.2. Influencia de las características físico-químicas con el crecimiento de cianobacterias

Las características del fitoplancton se ven influenciadas por la dinámica existente en el cuerpo de agua, donde, una variación representativa en los registros de los parámetros físico-químicos de los lagos se encuentra relacionada directamente con los procesos de fotosíntesis o ciclaje de nutrientes, mismas que a largo plazo son capaces de producir una floración de cianobacterias. Sin embargo, los procesos como la depredación y sedimentación hacia zonas afóticas imposibilita las actividades fotosintéticas y las interacciones tróficas que regulan la dominancia de cianobacterias (Bonilla, 2009). Éstas cumplen un rol de producción primaria y mantienen interacciones con otros organismos como macrófitas acuáticas, su flexibilidad tanto fisiológica como morfológica aportan a su capacidad de crecimiento en condiciones deficientes de nutrientes (Aubriot, Bonilla, y Kruk, 2009).

La división Cianobacteria envuelve adaptaciones de supervivencia para su dominancia y prevalencia en los ecosistemas acuáticos, dichas condiciones incluyen variaciones en los parámetros físicos como temperatura de agua, conductividad, oxígeno disuelto, turbidez y químicos como la disponibilidad de nutrientes fósforo y nitrógeno (Castaño *et al.*, 2012).

La temperatura del agua influye sobre la tasa de crecimiento de cianobacterias según Chorus y Bartram (1999). El pH, promueve su crecimiento en un rango de 7,5 – 10, encontrándose casos especiales en donde el pH ácido también influye según el ecosistema en el que se encuentran, no en tanto al ser autótrofos reducen naturalmente el ácido carbónico manteniendo los niveles de pH en un rango medio (Brock, 1973). La Universidad Federal del Espíritu Santo en Brasil, en un estudio relacionó la mayor densidad de cianobacterias producidas en ambientes alcalinos de 8-9,5 llegando a concluir que existe una relación directa entre su crecimiento y el pH alcalino (Camagro-Santos,2005).

En la formación de floraciones de cianobacterias se consideran los factores abióticos, los rangos de nutrientes disponibles en el agua, la hidrodinámica, las condiciones de luz, las altas concentraciones de fósforo, la estratificación térmica, la reducción de transparencia, el incremento de la temperatura y pH. Se han identificado estudios previos sobre la influencia de los factores ambientales en la dinámica poblacional de cianobacterias, así como la evaluación de su respuesta grupo frente a la irradiancia, temperatura y nutrientes, pero no de tópicos como las condiciones ambientales, usando registros de periodos monitoreados (Liu, Lu y Chen, 2011).

Las floraciones de cianobacterias tienen como consecuencias el mal olor por la acumulación de materia orgánica así también la alteración en las cadenas alimentarias, con efectos desfavorables sobre el ciclo de nutrientes, la biodiversidad y la salud del ser humano. El factor antrópico actúa sobre la degradación y apareamiento de floraciones de cianobacterias debido a las actividades que se realizan sobre la cubeta de agua (Fernandes *et al.*, 2009).

Al no ser consumidas estas floraciones llegan a formar densas espumas o masa que no se descomponen, provocando excesivo consumo de oxígeno, principal causa de la eliminación o declive de macro invertebrados, adicionalmente debido a las toxinas que pueden producir, causan perjuicio en el zooplancton herbívoro, alterando un control descendente o bien la retroalimentación de las floraciones (Oliveira *et al.*, 2009).

2.2.3. Influencia de nutrientes en el agua

La biomasa fotoautófica de un ecosistema acuático necesita de nitrógeno y fósforo, también existe un consumo y utilización de estos por parte de las comunidades fitoplanctónicas que influyen en su disponibilidad y flujo. Los factores como luz y carbono, intervienen en el crecimiento de ciertos grupos algales en mayor porcentaje que a otros, debido a las características propias de cada grupo de consumir o utilizar dichos nutrientes en sus funciones vitales. Se conoce que no solo los nutrientes nitrógeno y fósforo se incluyen en las actividades fisiológicas del fitoplancton sino también se encuentran las funciones de los micronutrientes disponibles en el medio, en menor cantidad como es el sodio, calcio, magnesio, potasio, formando compuestos asimilables para su metabolismo (Molot *et al.*, 2014).

Las entradas de nutrientes que llegan a constituir cuerpos acuáticos eutróficos normalmente incluyen nitrógeno y fósforo por ende limitación de fósforo o limitación de nitrógeno. Estos macronutrientes son importantes para todas las especies de fitoplancton debido a que sin estos el crecimiento de las células es imposible (Redfield, Ketchum y Richards, 1963).

Los requerimientos celulares según Redfield (1958) consideran una relación 106:16:1 para carbono, nitrógeno (N) y fósforo (P). Un desnivel limita el crecimiento celular, en donde las relaciones $N/P < 10$ indica una limitación potencial de nitrógeno, mientras que para el fósforo su limitación depende de la correlación $N/P > 20$. Los requerimientos nutricionales de las cianobacterias son

influenciados por el nitrógeno en la composición de aminoácidos, considerando que son los únicos organismos fitoplanctónicos con la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico y fósforo como elemento principal en la estructura del ADN y membranas celulares (Aubriot *et al.*, 2009).

La fijación de nitrógeno proceso que brinda ventaja a las cianobacterias convirtiendo el N_2 a un radical NH^{+4} a través de una enzima llamada nitrogenasa dispone a este nutriente a generarse a partir de distintas formas particuladas o disueltas como elemento inorgánico, en contraste con el fósforo, que es fuente de floraciones en ambientes costeros y estuarios. Varios grupos de cianobacterias han desarrollado estructuras ante la deficiencia de este nutriente, sin embargo, una de las desventajas de este proceso es ser consumidor de energía, al necesitar elevadas cantidades de intensidad luminosa y la presencia de otros macronutrientes como molibdeno y hierro (Padisák, 2004).

Las algas verde azules son capaces de llegar a ser dominantes en los lagos pero su rango de crecimiento decrece si no existe un suministro suficiente en nutrientes, produciendo la muerte de las células (Reynolds y Walsby, 1975). Rolland, Bird, y Giani (2005) menciona que existe una alta biomasa toxigénica asociada con el bajo contenido de nitrógeno en el caso del género *Microcystis*, mientras que, en baja concentración de fósforo para el género *Dolichospermum*, demostrando que los nutrientes nitrógeno y fósforo tienen una relación directa con el crecimiento de cianobacterias.

Los lagos sufren impactos de forma antropogénica por actividades como irrigación, recreación o incluso como agua de consumo. Los mayores aportes de fósforo para los ambientes acuáticos son fuentes no puntuales como descomposición superficial y puntuales como las descargas de efluentes domésticos e industriales. Dichas actividades modifican la forma interna y externa de la variación espacial y temporal de organismos dispuestos en el ecosistema (Oliveira *et al.*, 2009). Existe una correlación entre el crecimiento de floraciones de cianobacterias y el incremento de temperatura en la columna de agua debido a las posibles estratificaciones o el

proceso de incremento de nutrientes, que no permiten el cumplimiento de funciones ecológicas completas realizadas por otros organismos que también pertenecen a estos ecosistemas acuáticos. Para el análisis de la ecofisiología de cianobacterias es indispensable el conocimiento acerca del ciclaje de nutrientes, puesto que este grupo tiende a incrementar las reservas disponibles de nutrientes limitantes, en especial nitrógeno y fósforo, proporcionando una subvención de estos nutrientes a la columna de agua, mismos que pueden ser liberados en todo el lago a través de procesos como fugas celulares o lisis viral, descomposición de los filamentos, muerte de colonias o consumo de herbívoros (Cottingham *et al.*, 2015).

Los ciclos de fósforo aportan al proceso de eutrofización y al desarrollo de floraciones, por ejemplo, algunas especies implicados en la translocación de fósforo a través de su captura son *Cylindrospermopsis raciborskii* (Istvanovics *et al.*, 2000), *Coelosphaerium naegelianum* (Perakis *et al.*, 1996) y *Microcystis* (Johnston y Jacoby, 2003). Sin embargo, existen otros taxones que, en una escala diaria de tiempo en la columna de agua han contado con un fuerte control de flotabilidad, por ejemplo, *Anabaena* (Head *et al.*, 1999), *Aphanizomenon* (Trimbee and Harris 1984, Osgood 1988, Barbiero and Welch 1992, Barbiero and Kann 1994, Jacobsen 1994) y *Microcystis aeruginosa* (Head *et al.*, 1999), que les ha permitido el intercambio de nutrientes entre el epilimnion e hipolimnion siendo capaces de descender o ascender en busca de grandes cantidades de fósforo, incluyendo situaciones en donde las profundidades del lago sean anóxicas; considerando que, según, Brunberg y Bostrom (1992) algunas cianobacterias parecen ser efectivas para la liberación de fósforo contenido en sedimentos, que pueden asociarse a través de procesos de arrastre o dragado (Cottingham *et al.*, 2015).

2.2.4. Influencia de los componentes ambientales

Los repentinos cambios en los datos meteorológicos también influyen en el crecimiento de cianobacterias. Según Webster y Hutchinson (1994) la velocidad del viento de hasta 2m/s es capaz de mantener una capa de 4 mm compuesta de grandes colonias de cianobacterias en floración. Xu *et al.* (2010) menciona que un análisis

tiene gran importancia debido a los datos que se pueden generar a partir de las eventualidades presentes en el ecosistema, sin desmerecer a las condiciones mensuales físicas, químicas y biológicas.

El factor de mayor influencia en el crecimiento de las algas verde azules es la luz, la temperatura y la composición química suspendida en el medio, debido a que estos organismos utilizan dichos parámetros para el cumplimiento de sus funciones. Ciertas especies pertenecientes a la división Cianobacteria se encuentran en latencia hasta que las condiciones ambientales proporcionen los requerimientos necesarios para el desarrollo de floraciones. Las épocas que presentan mayor precipitación y viento y menor temperatura entre los meses abril y julio son favorables para el crecimiento de cianobacterias de estructura filamentosas mientras que las especies dispuestas en colonias se desarrollan en el periodo de junio y septiembre con mayor temperatura, menor precipitación y viento (Reynolds y Walsby, 1975).

2.2.5. Estrategias de control

Los lagos de Europa, Asia y América del Norte también han tenido problemas ambientales relacionados a las floraciones de cianobacterias. Oliveira *et al.* (2009) menciona que sus afloramientos se reducen después del tratamiento que disminuye las cantidades de fósforo sin dejar de lado el descenso paralelo de nitrógeno que también es necesario. El manejo de los nutrientes fósforo y nitrógeno a partir de su alteración en proporción N: P impactan a las comunidades de micro algas, reduciendo las cantidades de biomasa con la capacidad de modificar especies y seleccionar aquellas que poseen adaptaciones ecofisiológicas.

El concepto de floraciones de algas perjudiciales conocidos como HAB's de forma mundial, nació a partir de la propuesta de un grupo de expertos de la agencia de protección ambiental (US EPA) realizada en Cambridge en el año 2003, que incluía a expertos investigadores académicos, así como federales y estatales como representantes de la localidad. El objetivo de la reunión fue desarrollar estatutos y consensos para entender la relación existente entre la eutrofización y los HAB's,

con un énfasis particular en la implicación de los programas de manejo de nutrientes. En donde se consideró a los HAB's como una propuesta que incluye el potencial tóxico de especies pertenecientes a un ecosistema eutrofizado, así como la alta biomasa producida que es la causa de hipoxia o anoxia y las consecuencias sobre la mortalidad de la vida acuática (Heisler, 2008).

Según el Departamento de Salud Ambiental (2011) los florecimientos de cianobacterias son un indicador de estrés ambiental y para contrarrestarlos es necesaria la implementación de la gestión de los recursos hídricos, la evaluación del riesgo de un plan que involucre medidas de mitigación, monitoreos periódicos, planes de acción y contingencia e información y participación de los sectores involucrados al cuerpo de agua de una forma integral.

El problema que abarca Cianobacteria encierra aditamentos como la salud de los asentamientos humanos cercanos, la belleza del paisaje, el saneamiento ambiental, para lo cual según el departamento de Salud Ambiental (2011) recomienda la realización el seguimiento de posibles enfermedades causadas por las toxinas que produce este grupo, así como el estudio de la naturaleza e intensidad de los florecimientos algales, concentración de toxinas, variabilidad temporal y su permanencia en distintos compartimientos del ambiente.

Desde una perspectiva de salud pública, las floraciones pueden provocar una variedad de olores y sabores producidos por geosmina, 2-metil-isoborneol, convirtiendo a las aguas en inapropiadas para el consumo o recreación debido a la producción de alcaloides y toxinas. En lagos eutróficos es posible asociar la mortalidad de peces y aves, así como problemas serios de salud sobre otros animales e incluso humanos, que sin duda afectan al valor recreacional y armonía paisajística del ecosistema (Oliveira *et al.*, 2009).

Siendo de interés mundial, se han desarrollado metodologías y formas de control que han sido aplicadas en países como Argentina, Colombia, España y se fundamentan en procesos físicos a través de los cuales se remueve, coagula o filtra

cierta parte de la población algal, intentando disminuir la abundancia de este grupo. Newcombe, House, Ho, Baker y Burch (2010) explican que para la aplicación de un proceso físico se toma en cuenta el ciclo de vida de las cianobacterias presentes, así como las características morfológicas (tamaño, forma, organización celular, fase de crecimiento y estado de las células). Existen otras formas de manejar las floraciones algales, y los olores producidos, como por ejemplo la pre-oxidación, que a través de un proceso químico oxidativo puede tener un efecto sobre las células de las cianobacterias para inducir la muerte y lisis celular, sin embargo el daño que se produce a los organismos complementarios de la cadena trófica es alto.

Fernandes *et al.* (2009) ha identificado el control de floraciones a través de varios procesos de tipo físico, químico a través de la aplicación de alguicidas, biológicos, con la reducción o manipulación de entrada de nutrientes, ruptura de estratificación térmica a través de mecanismos que promuevan mecánicamente o hidrológicamente mezclas verticales en la columna de agua, reducción del tiempo de retención de las aguas que depende de la morfología del cuerpo lacustre o procesos como la biomanipulación. Se consideran métodos como el control de nutrientes y la biomanipulación como los de mayores resultados, sin embargo, en el caso de la biomanipulación se ha evaluado la alteración en las cadenas alimentarias a partir de herbivoría sobre las cianobacterias para la reducción del ciclaje de nutrientes, con el uso de organismos cianófagos como agentes biológicos (Cobo, 2015).

Es necesaria la acción del gobierno local municipal para intervenir positivamente en la problemática de la floración de cianobacterias en los cuerpos lacustres, como es el caso de Uruguay con el programa de monitoreo de la calidad de agua para consumo, recreación e industria. Los programas que se destacan en la gestión de recursos hídricos son OSE (agua a potabilizar), DINAMA (Aguas recreacionales), (CARU) Comisión Administradora del Río Uruguay, asociados con la academia con el fin de utilizar los datos científicos generados, sin embargo, se considera la importancia de una normativa legal que ampare la salud pública en cuanto a la existencia de proliferación de cianobacterias (Bonilla *et al.*, 2015).

La gestión del recurso hídrico es fundamental para el mantenimiento del estado ecosistémico del área en estudio, siendo necesaria la implementación de programas de monitoreo y manejo de los riesgos que las floraciones de cianobacterias presentan, por tal razón este problema merece atención de instituciones del estado nacional y provincial involucradas (Andrinoldo y Sedán, 2011).

Existen métodos de control de florecimiento de algas entre los cuales se menciona el control biológico que usa organismos y sustancias naturales cuya base fundamental utiliza conceptos de fenómenos naturales como depredación o liberación de metabolitos, que pueden ser aplicados de forma estratégica en cuerpos de agua (Aubriot *et al.*, 2009). Su aplicación más favorable y con resultados prometedores es aquel que usa a las macrófitas como base de recuperación ecosistémica debido a su capacidad de retención de sedimentos disminuyendo la turbidez y favoreciendo a las comunidades de zooplancton existentes (Cobo *et al.*, 2015).

Los métodos mecánicos, como la aireación, empleados además de una metodología biológica en ciertos ecosistemas puede mejorar las condiciones físicas del sistema, pero los estudios de Steinberg y Arzet (1984) mencionan que la aireación puede condicionar el desarrollo de estratos de masa de agua y como consecuencia producir un aumento de nutrientes en el epilimnion que favorece el crecimiento de cianobacterias.

El control de nutrientes que es uno de los procesos de mayor interés de estudio cuya finalidad implica la intervención sobre el crecimiento y manejo de floraciones cianobacterianas, debido a los problemas ambientales que generan sobre la salud humana y animal. De donde se considera la limitación de la producción primaria como el método de mayor optimización para la disminución de la carga de nutrientes en las entradas de agua que sustentan al ecosistema (Cobo *et al.*, 2015).

A través de este estudio y en cumplimiento de los objetivos propuestos, se determina la propuesta específica para el manejo y control del género más

abundante de Cianobacteria en el área de estudio. Siendo así que, la revisión bibliográfica tiene relevancia para las propuestas a realizar, tomándose en cuenta que es indispensable la identificación de las toxinas presentes en Cianobacterias, el método de detección y cuantificación, así como de manera especial la capacitación del recurso humano en todas las áreas, con la finalidad de identificar los riesgos presentes y evitar posibles afectaciones de mayor extensión (Andrinolo y Ruiz, 2011).

2.3. Herramientas informáticas

Los programas informáticos utilizados para el procesamiento de la información de esta investigación son los siguientes:

❖ Sigma Plot 11.0

Para la presente investigación se utilizará el Programa Sigma Plot de la empresa Scientific Data and Graphic Software en su versión 11.0 para el análisis de los datos de la toma de parámetros fisicoquímicos, limitación de nutrientes, análisis de datos meteorológicos (Soo-Je *et al.*, 2008).

Se realizó una correlación no paramétrica (Mann-Whitney y Kruskal, 2005), para determinar las diferencias significativas entre los parámetros fisicoquímicos con los datos registrados en épocas distintas y a través de uso del Software Sigma Plot 10.3, según Bonilla *et al.* (2015), que recomienda el uso de dicho Software para la evaluación y análisis de los datos generados.

Rojas (2003), menciona que la estadística no paramétrica hace supuestos generales respecto a la distribución de ciertos caracteres, como lo afirma De la Torre y Acuña (2009) al señalar que es necesario para obtener una interpretación más directa de lo evaluado correspondiente a variaciones ambientales.

❖ CANOCO 4.5

Para relacionar los parámetros fisicoquímicos con los parámetros ambientales el uso del Software CANOCO es de gran utilidad puesto que sus prestaciones en análisis estadístico multivariante utiliza métodos ordenados en el campo de la ecología y otros relacionados (Leps y Smilauer, 2003).

El programa CANOCO 4.5 es utilizado para analizar estudios multivariados y organizacionales. La desviación estándar utilizada cerca de las 2 unidades que representa la relatividad del gradiente indica el análisis numérico unimodal de la distribución de especies, como es el caso de CCA (Braak y Smilauer, 1998). En este estudio se presentan los datos mensuales de los parámetros físico-químicos evaluados a partir del uso de este programa para la determinación de la dinámica de respuesta de cianobacterias ante la variación de los factores físico-químicos en el ecosistema.

El análisis estadístico multivariado, especialmente el análisis de correspondencia canónica (CCA) es usualmente utilizado para examinar patrones e interacciones ecológicas de grandes bloques de información ecológica, adicionalmente CCA ha sido útil en el análisis cualitativo de las interacciones entre los factores ecológicos con la influencia de las comunidades de plancton en distintos sistemas de complejidad y comportamiento distintos. A través del uso de esta herramienta estadística evidencia la variación anual de la abundancia de filamentos o comunidades algales pertenecientes a la división Cianobacteria, así como la relación entre la composición taxonómica de ciertas especies del género *Microcystis*, con los factores ambientales en ciertos lagos de zonas asiáticas y europeas que han presentado florecimientos (Liu, Lu y Chen, 2011).

❖ Arc Gis 10.5

El uso de una herramienta de procesamiento de geo información proporciona información espacial necesaria para representar los datos de distribución temporal

o multitemporal de varios parámetros (Wong, WSD y Lee, 2005). La herramienta Arc Gis 10.5 que, considerando el estudio de Bonilla *et al.* (2015) es clave inicial para la evaluación de la distribución de las floraciones de Cianobacterias cuyo uso facilita la identificación de la necesidad de gestión.

2.4. Marco legal

El estudio tiene como ley máxima la constitución de la República del Ecuador establecida en el 2008, el TITULO II: Derechos, Capítulo Segundo: Derechos del Buen Vivir, en su sección primera, segunda, tercera y séptima y Capítulo séptimo de los Derechos de la Naturaleza. El TITULO VII: Régimen del buen vivir, Capítulo segundo: Biodiversidad y recursos naturales en su Sección sexta: Agua.

Del Plan Nacional del Buen vivir (2013-2017) el objetivo 3: Mejorar la calidad de vida de la población, política 8: propiciar condiciones adecuadas para el acceso seguro a un hábitat seguro e incluyente y el objetivo 7: Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad en su política 1: asegurar la promoción, vigencia y la plena exigibilidad de los derechos de la naturaleza, política 5: garantizar la bioseguridad precautelando la salud del ser humano, además de otros seres vivos de la naturaleza, política 9: que promueve los patrones de consumo de forma consciente, sostenible y de igual forma eficiente con un criterio de suficiencia que enmarque los límites del planeta.

Se justifica este estudio en base a la Ley de prevención y control de la contaminación ambiental según Decreto supremo N° 374, TITULO II: De la conservación y contaminación de las aguas, capítulo I: de la conservación, capítulo II: de la contaminación. Se tomó en cuenta el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente como documento jurídico. El LIBRO VI: de la calidad ambiental, TÍTULO IV: reglamento a la ley de gestión Ambiental para la prevención y control de la contaminación Ambiental en su capítulo IV: del Control Ambiental, Sección II: del muestreo y Métodos de Análisis, Art. 72.- Muestreo, Art. 73.- Control de Calidad y Art. 74.- Muestras y Parámetros *In-situ*.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

Se presenta la metodología utilizada para el cumplimiento de cada uno de los objetivos de la presente investigación.

3.1. Caracterización del área de estudio

El lago Yahuarcocha es un lago alto andino que se encuentra ubicado en la Provincia de Imbabura, cantón Ibarra, en la parte norte de la parroquia San Miguel de Ibarra, que según Erazo y Jaramillo (2005) se encuentra ubicado en las coordenadas 00°22'32,2" (N) y 078°06'6,5" (W) entre las elevaciones del norte de la cordillera de los Andes. Se encuentra limitado geográficamente rodeado por los sectores de Priorato, Yuracucito Piola. Tiene un atractivo turístico por las condiciones climáticas presentes en la zona además de la autopista "José Tobar Tobar", siendo de gran representatividad para el cantón Ibarra por su valor turístico y ecológico (Zumárraga, 2009), (Figura 1).

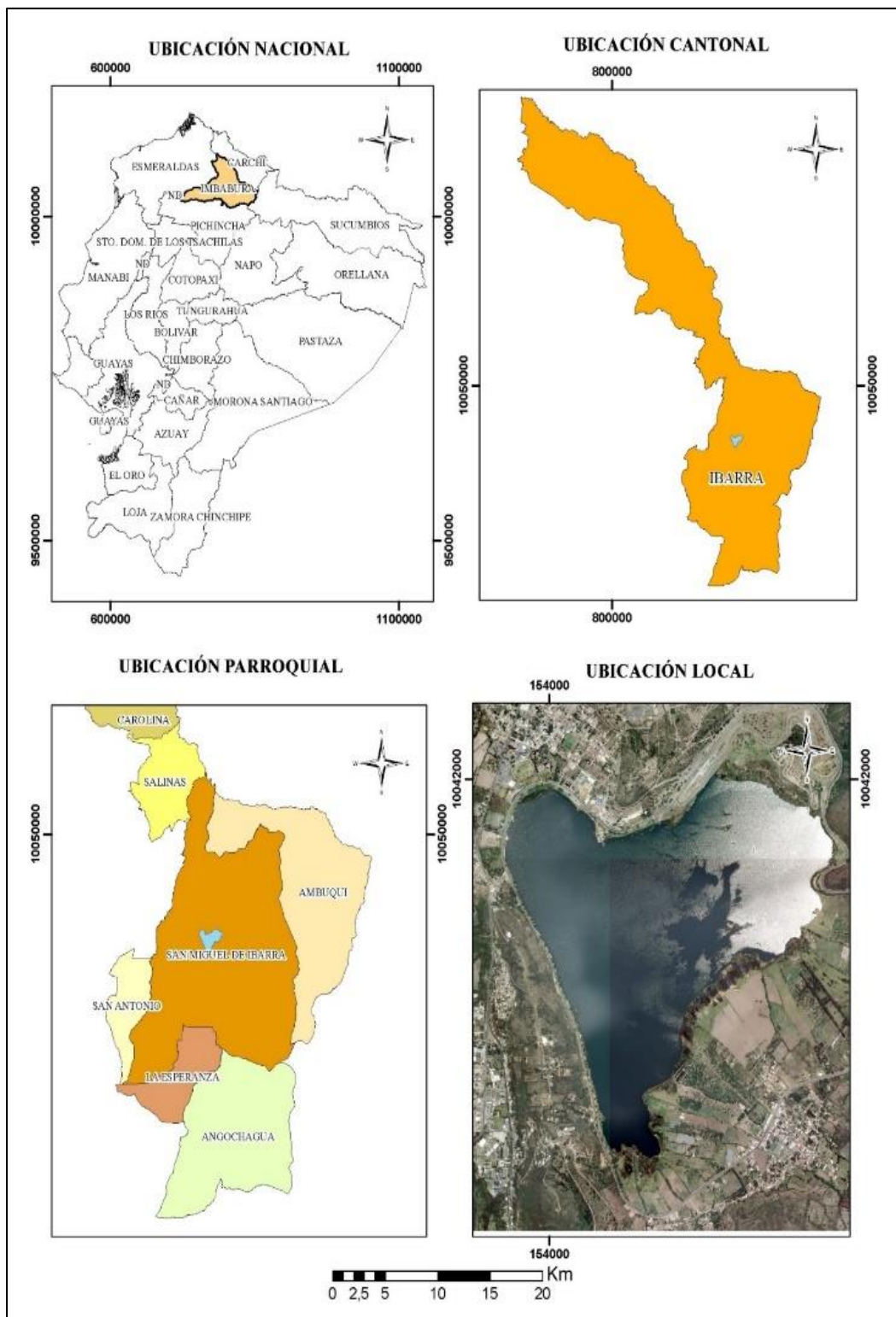


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio

3.2. Materiales

Durante el proceso de investigación fueron necesarios los siguientes materiales, equipos, programas electrónicos y reactivos, mismos que se expresan en la Tabla 4.

Tabla 4. Materiales, equipos, reactivos

MATERIAL	EQUIPO	PROGRAMAS	REACTIVOS
Carta topográfica IGM del cantón Ibarra (escala 1:50000), formato digital	GPS Garmin 62 Cámara fotográfica Bote	Programa SigmaPlot 11.0 Programa ArcGIS 10.0	Formaldehído comercial al 37% Etanol de grado analítico de pureza (100%)
Ancla móvil	Disco Secchi	Programa	(100%)
Cuerdas	Flexómetro	Programa	
Agua destilada	Sonda portátil de profundidad	Microsoft office 2013.	Agua destilada
Soluciones buffer (pH)	(HONDEX TS-7) Sensor Sumergible multímetro YSI.	Software	Lugol Azul de metileno
Ficha de campo	Microscopio marca LEICA tipo DM750	CANNOCO 4.5	
Lista de chequeo			
Materiales de oficina	Microscopio invertido marca LEICA tipo DMI3000 B		
Material de laboratorio			
Baldes industriales	Fluorímetro Aquafluor® Turner Designs		
Chaleco salvavidas			
Papel aluminio	Refrigeradora		
Tijeras	Centrífuga ()		
	Red de Nylal® de 64 µm para filtración del agua		
	Cilindro Van Dorn tipo Beta de 2,2 litros de capacidad		
	Cámara de conteo Utermöhl		
	Cámara de conteo Sedgewick-rafter		
	Micropipeta		

3.3. Métodos

Tomándose en cuenta las recomendaciones de los estudios realizados en Yahuarcocha por Mandonx (2014), Saelens (2015), Portilla (2015) y Caicedo

(2015) y protocolos específicos de muestreo y monitoreo, la metodología para cada objetivo se detalla a continuación.

3.3.1. Toma de parámetros físico-químicos *in situ*

Para la obtención de datos precisos de temperatura, oxígeno disuelto (mg/L), pH y turbidez se ha seguido la siguiente secuencia de actividades.

❖ Selección de los puntos de muestreo.

Lo puntos de muestreo y monitoreo (Tabla 5) se tomaron en base a las características de relevancia como morfología, concentración de agentes biológicos en relación al comportamiento del ecosistema, las condiciones físicas y químicas el lago, el contenido de carga de nutrientes, la variabilidad de las condiciones climáticas locales de la época seca y la época lluviosa, así como los efectos de las actividades antropogénicas, la presencia de asentamientos humanos con la finalidad de obtener datos puntuales de relevancia en el estudio (Samanez, Rimarachin, Palma y Ortega, 2014).

A partir del análisis de los puntos representativos en el lago Yahuarcocha se determinó 4 puntos de muestreo, que fueron considerados según los resultados y conclusiones del estudio realizado por Caicedo (2015), en donde se especifica la variación de abundancia. Como indicadores ambientales definidos para el monitoreo y determinación de calidad de agua se consideraron los siguientes parámetros: temperatura del agua, pH y oxígeno disuelto (mg L⁻¹). Se realizó un monitoreo mensual en el periodo febrero 2016- febrero 2017.

La preparación de los equipos y material a utilizar son los pasos iniciales para el inicio del muestreo y monitoreo; posteriormente en los puntos de monitoreo (1,2,3 y 4) los datos de los parámetros se tomaron de forma superficial (0 -0,50 m). Se utilizó un multímetro (Horiba U-50) y la medición de la turbidez se realizó a través del uso del disco Secchi. (Figura 2).

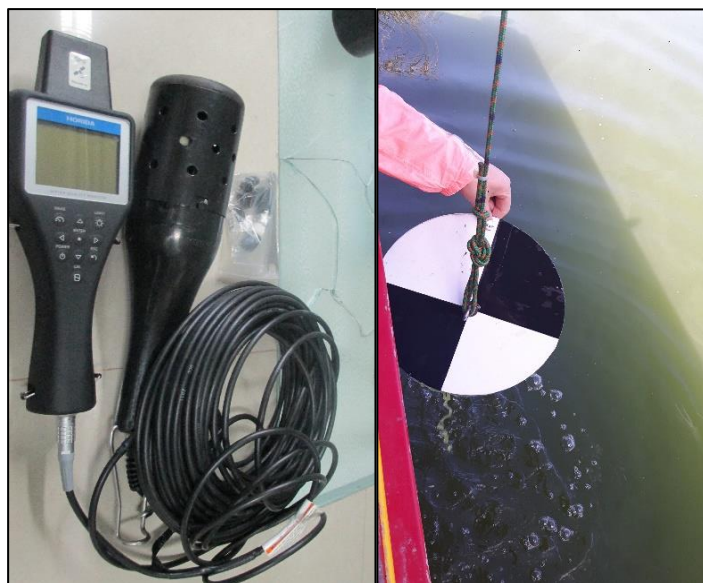


Figura 2. Multímetro Horiba (iz) U-20 y disco Secchi (der).

El punto 3, punto profundo con 6 m según Portilla (2015), se procedió a tomar las mediciones de los mismos parámetros en la columna de agua a distintas profundidades (1,2,3,4,5,6 m) (Bravo, Orozco y Soto, 2016). Cada uno de los datos fueron registrados en fichas de campo realizadas mensualmente (Anexo 1).

Tabla 5. Puntos de muestreo en el lago Yahuarcocha

PUNTO DE MUESTREO	REFERENCIA	COORDENADAS
YAH-1	Muelle nuevo	822250;10041602
YAH-2	Planta de tratamiento	823043;1004074
YAH-3	Punto más profundo	822290;10040688
YAH-4	Dormidero aves	821888;10041862

❖ **Análisis de los datos obtenidos**

La presente investigación comparó multitemporalmente los datos adquiridos en el ciclo 2015-2016 con los monitoreos correspondientes al periodo 2013-2015 realizados en el lago Yahuarcocha. Se tomaron en cuenta los parámetros físicos: temperatura, pH, turbidez y oxígeno disuelto y como químicos la limitación de

nutrientes nitrógeno y fósforo para las dos épocas determinantes: época seca y época lluviosa, con los meses agosto y abril respectivamente, considerados en el diagrama ombrotérmico con información de 41 años de la estación meteorológica de la ciudad de Ibarra como representativos en cuanto a temperatura y precipitación según Portilla (2015).

La información obtenida se tabuló y analizó mediante el programa Sigma Plot 10.3 para cada parámetro, generando gráficas que muestran la variación temporal y anual de cada uno, mientras que, para su relación en el crecimiento con la división Cianobacteria se utilizó el programa de correlación CANOCO 4.5 para Windows®.

3.3.2. Estudio de cianobacterias

Para este componente fue necesaria la toma de dos muestras, una para análisis cualitativo y otra para medición cuantitativa. Según Bonilla (2009), un muestreo cualitativo permite obtener información acerca del aspecto general del sistema acuático, considerando los aspectos organolépticos de olor, color, aspecto y distribución de los organismos a simple vista.

3.3.2.1. Muestra cualitativa

Se realizó un muestreo mensual en los mismos puntos georreferenciados para la toma de parámetros físico-químicos. Las muestras obtenidas se recolectaron en frascos plásticos falcon de 50ml, tomadas directamente de las floraciones producidas que fueron fijadas y preservadas bajo cadena de custodia hasta el lugar de ubicación y posterior análisis (Figura 3).

❖ Preparación de la muestra para observación

El proceso de preparación de la muestra para su posterior observación inicia en el momento de la extracción del volumen específico, tomándose un 1 ml de la

floración producida, que inmediatamente fue colocado en una cámara Sedgewick-rafter que cuenta con mediciones de 1mm de distancia esenciales para su calibración en el microscopio.



Figura 3. Toma de muestra cualitativa

Fue necesario el uso de técnicas de tinción con lugol que facilita la sedimentación y tiñe el almidón de las algas verdes y azul de metileno que resalta de manera especial las vainas, membranas o paredes transversales facilitando su identificación morfológica; se cubrió la muestra con un cubreobjetos y se observó cuidadosamente cada detalle de la morfología de los individuos presentes para después adquirir un registro fotográfico que permita la visualización de dichas estructuras y las mediciones respectivas. Dicho procedimiento tiene como referencia las recomendaciones de Aubriot *et al.* (2009), Gallo y Apolo (2012) y William, Beckett y Maxwell (2015).

Una vez obtenidas las mediciones para la ubicación taxonómica, fue necesaria bibliografía especializada y actualizada acerca de claves que consideran los atributos morfológicos considerados por Sannt´ Anna (2012) como son: células vegetativas, heterocistes, acinetos, hormogonios, presencia o ausencia de vaina, aerotopos, así como el diámetro, largo y ancho de cada una de las estructuras

mencionadas y nivel organizacional (colonial o cenobio), diámetro de las células, presencia o ausencia de mucílago hialino y presencia de aerotopos.

❖ Análisis cualitativo

Este análisis se realizó en el laboratorio de Investigaciones Ambientales de la Universidad Técnica del Norte. Se utilizó un microscopio de modelo Leica DM750 que consta con una adaptación al Software Leica LAS EZ, con el cual fue posible su calibración obteniéndose medidas precisas de estos organismos microscópicos. Cada una de las muestras fue observada en un lente de 40X (Figura 4).



Figura 4. Identificación de cianobacterias.

Se utilizaron las claves de Bourrelli (1969-1970), Komárek (2014), Anagnostidis (1989), Hoffmann *et al.* (2005), Sant´ Anna (2012), Meyen (1839), Seenayya y Subba Raju (1972) que han sido utilizadas en estudios acerca de la biodiversidad de cianobacterias por Mischke (2003) para ubicar taxonómicamente a los individuos. Se realizó la distribución espacial y temporal de las cianobacterias a través del uso del Sistema de Ubicación Geográfica y la información obtenida se organizó en fichas técnico-descriptivas de cada organismo. Ficha que cuenta con información adicional recolectada de literatura científica acerca de la morfología, toxicidad, efecto y dosis letal que presentan las cianobacterias descritas según las consideraciones de Fernandes *et al.* (2005) y Sivonen y Jones (1999).

A través de la medición de estructuras se utilizó el método de Root (1995) para el cálculo del biovolumen, tomándose en cuenta estructuras como tricomas y acinetos para 20 individuos y se adaptaron las formas de cilindro y cono respectivamente. El biovolumen de una especie es de gran importancia debido al espacio que ocupa de dentro de un ecosistema, Fonseca *et al.* (2014), menciona que el biovolumen es considerado como un atributo de gran importancia para determinar condiciones ambientales, fundamento que se da a que este atributo varía según las características morfológicas de la especie y cambia de una a otra según los condicionales existentes de crecimiento, abastecimiento de nutrientes o ciclo de vida.

3.3.2.2. Muestra cuantitativa

Según el Standard Methods para la examinación de agua y aguas contaminadas de Rice, Baird, Eaton y Clesceri (2012) en la toma de muestra de fitoplancton proponen la utilización de la botella van Dorn vertical de 1,5 lt, que es usualmente utilizada para los muestreos cuantitativos de micro algas en ciertos casos específicos para cultivo, producción primaria y otras determinaciones cuantitativas, debido a que no inhibe el flujo libre de agua a través del cilindro que lo compone, (Figura 5).

De esta forma se colectaron muestras *in-situ* en los puntos de monitoreo designados a 1 m de profundidad para tomar 50 ml de volumen en tubos falcon (Aubriot *et al.*, 2009) y se trasladaron bajo cadena de custodia pues se tomó en cuenta su transporte y luminosidad. Por consiguiente, se fijaron las muestras con formaldehído al 97% de pureza y en una proporción de 4 % con la finalidad de preservar a las cianobacterias. Las muestras recolectadas se analizaron una semana después del muestreo.

❖ Preparación de la muestra para el respectivo conteo

En la fase de laboratorio se siguió la metodología expuesta por el Standard Methods expuesta por Baird, Eaton y Clesceri (2012), a través de la utilización de la cámara

Sedgewick-rafter tanto para identificación taxonómica como para la determinación de abundancia de cianobacterias.

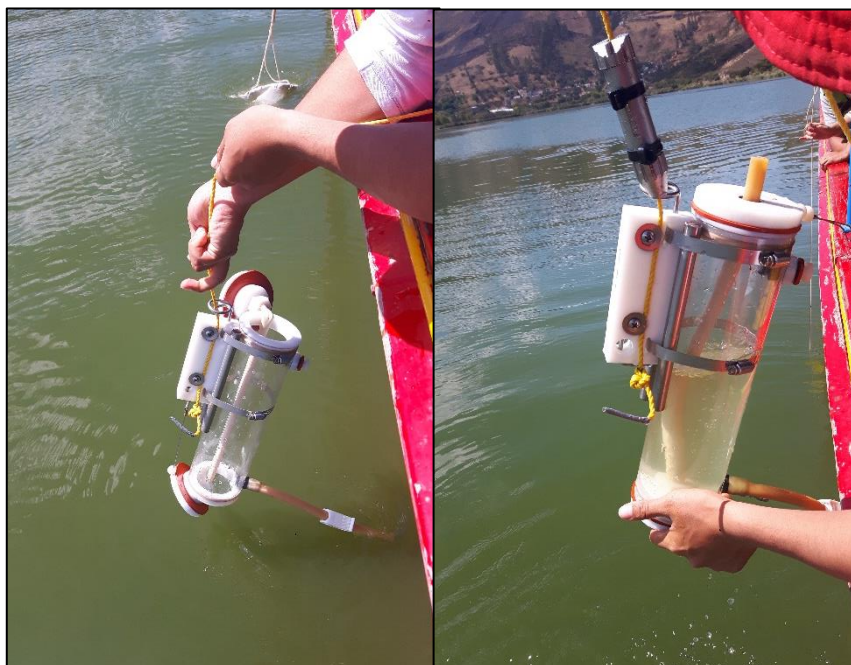


Figura 5. Toma de muestra cuantitativa

Se tomó 10 ml de cada punto de monitoreo, que previamente fueron homogenizadas, con la finalidad de constituir una muestra integrada, obteniendo de esta forma el volumen específico de conteo. Debido a que las cianobacterias son organismos que poseen estructuras específicas llamadas vesículas de gas que permiten su flotabilidad, se utilizó la metodología expuesta por Caicedo (2015) quien menciona que es necesario destruir dichas estructuras para no afectar el número real de abundancia de cianobacterias. El procedimiento a seguir consiste en la utilización de una jeringa de 60ml, con la cual se absorbe la muestra integrada ya constituida, se le coloca de forma vertical sobre un paño absorbente en un mesón fijo y se realiza un movimiento ejerciendo fuerza conocido como golpeteo con una frecuencia de 10 veces, sobre la jeringa. Luego, se pasa el volumen de agua a un vaso de precipitación de 50ml debidamente limpio y a través del uso de una micropipeta de 10-100 ul se toma un volumen de 40 ul que es ubicado en el centro de la cámara Sedgewick-rafter para el respectivo conteo.

❖ **Sedimentación de la muestra**

Para evitar una muestra no representativa en el momento de cuantificar es necesario determinar previamente la densidad del fitoplancton y la cantidad de agua a considerar. Para determinar la cantidad de concentración por sedimentación de la muestra se toma en cuenta el tiempo de precipitación que varía con la altura de la cámara siendo 3 a 4 horas/cm de altura según Schwoerbel (1975), además de las características del agua y las especies de micro algas presentes, de esta forma se identifica la cámara útil de conteo, “*cuanto más rica es la muestra, más pequeña ha de ser la cámara*” (Ramírez, 1982). Jönk *et al.* (2008) menciona el uso de dicha cámara tanto para la identificación de individuos como para su conteo debido a la facilidad de manejo y precisión.

La muestra se dejó sedimentar alrededor de 45 minutos en un lugar fresco y seco en donde no interfiera la temperatura ni la luz sobre la muestra, evitando la evaporación. La cámara Sedgewick-rafter es utilizada para específicamente cuerpos de agua en donde existe una gran biomasa algal. Una vez verificada la sedimentación después del tiempo propuesto se realizó el conteo de todos los individuos encontrados en el volumen mencionado. A través de un recuento por hileras en los que se cuenta todos los microorganismos presentes en el campo óptico y la concentración de microorganismos/ml se obtienen multiplicando el número de campos observados por el número obtenido de microorganismos (Murgel Branco, 1969) a través de una técnica de barrido y conteo. Se tomó únicamente 40 ul debido a la dificultad y abundancia de individuos, para desestimar un error significativo a través de la disolución.

❖ **Análisis cuantitativo**

Echenique (2009) menciona que para una investigación de masas fitoplanctónicas es necesario al menos observar 40 campos ópticos. En cada muestra mensual se contaron los individuos de cada género y especie ubicados taxonómicamente. Se

consideró la formación de complejos que agrupen cianobacterias con características morfológicas similares para favorecer la contabilización.

3.3.3. Relación de la abundancia de Cianobacteria en relación con los parámetros fisicoquímicos

Según Saelens (2015), una forma de detectar la limitación de nutrientes es evaluar la respuesta del fitoplancton a la adición de nutrientes. En el estudio realizado por Saelens (2015), Ramo-Higuera, Alcocer, Ortega-Mayagoitia y Camacho (2008) determinan el nutriente limitante que influye en el crecimiento de micro algas de un sistema lacustre.

❖ Desarrollo del bioensayo

En el bioensayo planteado se usaron 12 botellas de 1 litro plásticas transparentes con la finalidad de que no exista interferencia del factor luz. Se llenaron con agua del lago que se filtró previamente sobre un filtro de 64 micras. Las botellas contenían 3 tratamientos diferentes: fósforo enriquecido (adición de 0,77 mg L⁻¹ de fósforo como K₂HPO₄), nitrógeno enriquecido (7,01 mg L⁻¹ de N como NaNO₃), nitrógeno y fósforo enriquecidos (adición de fósforo y nitrógeno) y un control que no recibió la adición de nutrientes. Para cada tratamiento hubo tres réplicas. Las botellas se colocaron al azar de forma horizontal sobre un marco de aluminio en la capa superficial de agua. Se instaló una malla doble sombra sobre éstas para reducir la irradiación solar directa alrededor del 10%. Los tratamientos se incubaron en el agua durante dos días. Posteriormente se midió la clorofila *a* utilizando el fluorímetro (Turner diseña Aquafluor) que se muestra en la figura 6, (Wurtsbaugh *et al.*, 1991).

Para la representación de los datos obtenidos se usó el modelo estadístico multivariado, ANOVA Two Way, para la comparación de resultados obtenidos de los bioensayos realizados mensualmente mientras que para determinar la influencia

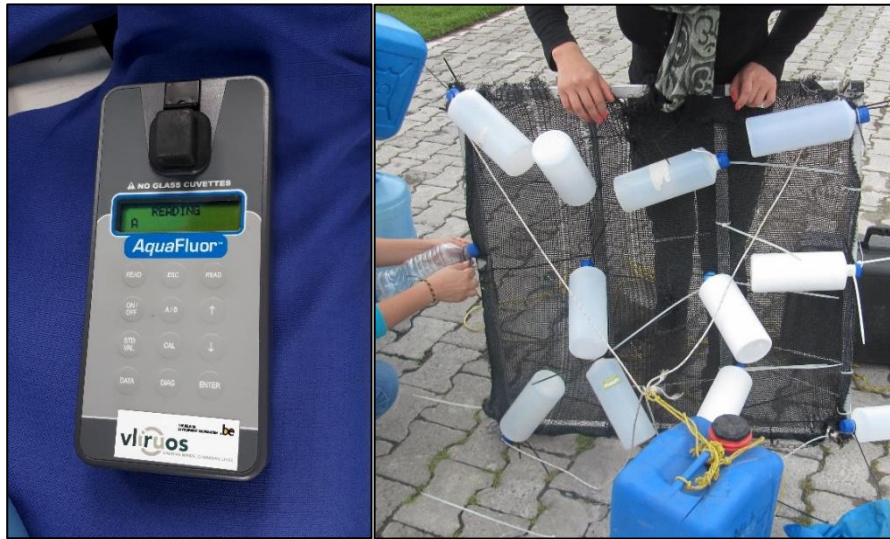


Figura 6. Fluorímetro utilizado en la medición de clorofila a (iz) y marco de aluminio (der).

de la variación entre tratamientos en los se utilizó ANOVA One Way, conjuntamente evaluada bajo la prueba de Tukey con un nivel de significancia (alfa) de 0,05, prueba estadística estimada a través del uso del software Sigma Plot 11.0. (Callegari-Jacques,2003), menciona la aplicación de esta prueba estadística para la verificación de los datos considerando el porcentaje de error estimado según la fórmula (1) de crecimiento de biomasa algal propuesta por Landy y Hasset (1982).

$$K = (\ln \text{Control}) = > \quad (1)$$

$$R_n = \ln (N_t/N_0)/t$$

3.3.4. Análisis de los parámetros ambientales

Se utilizó los datos meteorológicos brindados por la Universidad Católica Sede-Ibarra y aquellos de la estación meteorológica de Ibarra durante el periodo 2013-2016, (Figura 7). Para la tabulación mensual se utilizó el software Sigma Plot 11.0, con gráficas que identifiquen los datos mensuales, anuales y promedios. Los datos tomados de forma mensual y anual fueron de temperatura ambiental °C, precipitación (mm) y velocidad del viento (m/s). Jönk *et al.* (2008) menciona el estudio de diferentes escenarios climáticos para verificar la variación entre los parámetros que coinciden con los florecimientos de cianobacterias. Es de gran

importancia las predicciones del impacto de las condiciones ambientales sobre los florecimientos algales por ende el análisis mensual y anual de los datos obtenidos en periodos posteriores ayudan a reflejar el comportamiento de los organismos en cuestión.



Figura 7. Registro de parámetros ambientales

3.4. Consideraciones bioéticas

Para el desarrollo de esta investigación se tomó en cuenta los principios considerados dentro de la rama de la gestión ambiental, en donde el principio de precaución estima y exige que en caso de existir algún tipo de amenaza para con el medio ambiente o la salud pública y ecosistémica, y en el caso de existir una situación de incertidumbre científica se deberán tomar las medidas apropiadas para tomar las medidas correspondientes con el fin de prevenir el daño, en donde, la única finalidad que prevalece es promover el respeto a los derechos de los ciudadanos, las generaciones futuras y el entorno natural (Torné y Zara, 2011).

Para el desempeño de actividades como el muestreo y monitoreo de un cuerpo lacustre la Confederación Hidrológica (2005), menciona las características de funcionalidad, los recursos disponibles, procesos, metodología y protocolo de posible aplicación. De donde, se considera la reglamentación de toma de muestras

en beneficio de la sociedad evitando el daño o perjuicio de los organismos que se encuentran interrelacionados con las funciones propias de restauración ecológica, incluyéndose categorías que respalden la conservación y protección del entorno. De igual forma, reducir las posibles consecuencias de las floraciones de cianobacterias para con los visitantes.

Los posibles daños que las floraciones cianobacterianas pueden producir en la salud pública y ecosistémica deben tomarse en cuenta para la generación de política pública con el fin de acoger la seguridad y el bienestar de quienes habitan en Yahuarcocha siendo la eutrofización un proceso que compromete a las poblaciones humanas y animales presentes en el ecosistema (Chalén, Coello, Cajas Elías y Solís-Coello Aguilar, 2011).

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados corresponden al análisis de cada uno de los objetivos específicos planteados en la investigación y los cuatro puntos de monitoreo seleccionados para la toma de parámetros físico-químicos y muestreo (Figura 8).

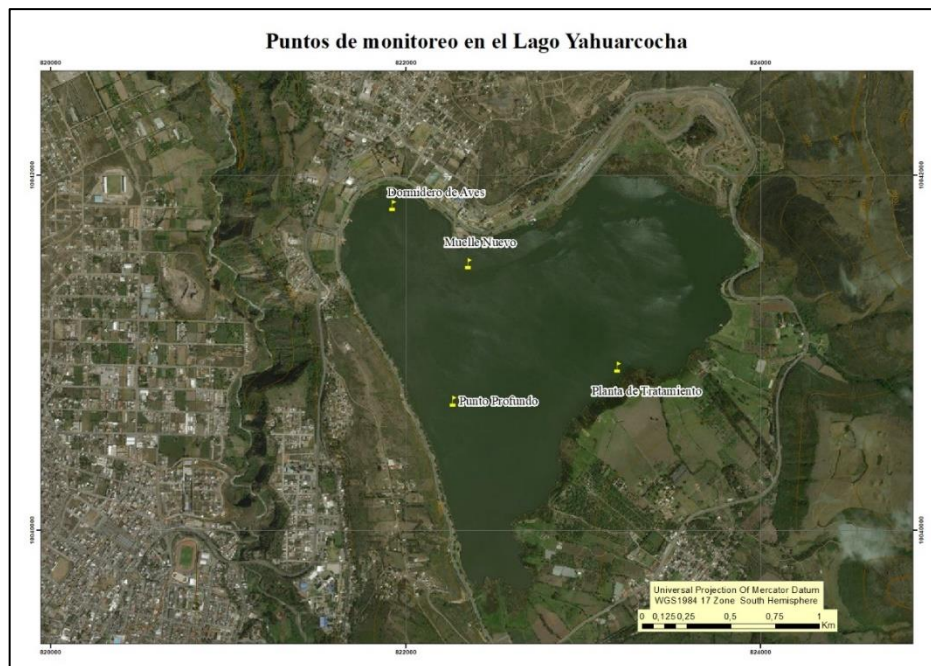


Figura 8. Área de estudio y puntos de monitoreo

4.1. Relación de los Parámetros físico-químicos del lago Yahuarcocha.

Se expresa la variación en las mediciones de los parámetros: temperatura, pH, oxígeno disuelto(mg/L) y turbidez del mes de agosto que corresponde al mes seco entre el periodo 2013-2016 y abril como el mes lluvioso entre 2014-2016.

A continuación, se presentan los parámetros físico-químicos relacionados al crecimiento de cianobacterias en el lago Yahuarcocha.

4.1.1. Temperatura

Los datos recabados en el periodo febrero 2016—febrero 2017 muestran un valor promedio de temperatura de 21,56°C con un registro mínimo para el mes de julio con 19,50°C y un valor máximo en el mes de abril con 23,15°C. A partir de la información generada en el estudio de Mandonx (2014) la temperatura en el lago Yahuarcocha varía de forma mensual en un promedio de 1-2 °C y de forma anual en un promedio de 2-3 °C.

❖ Temperatura anual en el periodo 2013-2016

El dato del monitoreo anual para el 2016 obtenido en la presente investigación fue de 21,56 °C, mientras que el monitoreo puntual realizado por Mandonx (2014) en el mes de agosto, la temperatura registrada fue de 20,55 °C y en el año 2015 se registró una temperatura de 20,35 °C (Portilla, 2015). (Figura 9).

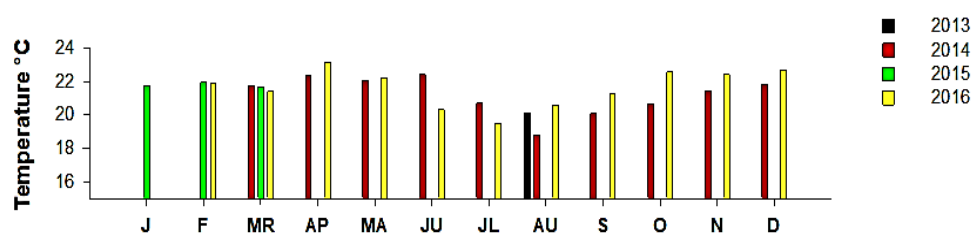


Figura 9. Valores de temperatura correspondientes al periodo 2013-2016, presentes en el lago Yahuarcocha

❖ Temperatura en la época seca y lluviosa del periodo 2013-2016.

Para el mes de abril en el año 2014 el registro de temperatura fue de 22,38°C que para el 2016 cambia a 23,15°C. Llegándose a determinar que la temperatura del lago en la época lluviosa tiende a incrementar anualmente en un 1,18°C (Figura 5).

Durante el periodo 2013- 2016 en la época seca, la temperatura se mantiene constante en un rango comprendido entre 20,10°C a 20,57°C. En el periodo 2014-2016 la temperatura del lago fue de 20,30°C incrementando a 22,4 °C; De donde se manifiesta que la época lluviosa tiene registros de temperatura más altos que aquellos tomados en la época seca pues existe una variación entre épocas de 2,1°C. (Figura 10).

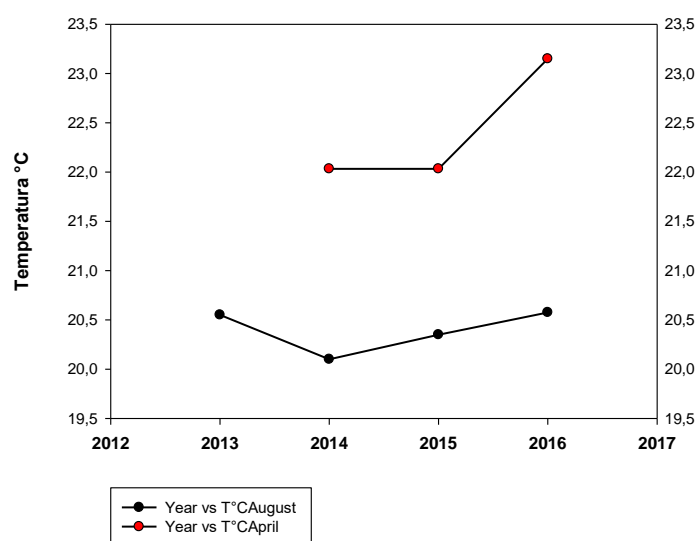


Figura 10. Valores anuales de temperatura correspondientes al periodo 2013-2016 para la época seca y lluviosa, presentes en el lago Yahuarcocha.

La temperatura es un parámetro que nos revela la existencia de un contraste o gradiente de energía que provoca transferencia de calor que para Yahuarcocha significó el crecimiento de cianobacterias en la época lluviosa y la permanencia de ciertos géneros y especies en el lago. Reynolds y Wlasby (1975), afirma que la temperatura óptima para el apareamiento de floraciones se encuentra en un rango de 25 °C a 35 °C. Chorus y Bartram (1999) mencionan que la tasa de crecimiento máximo de algas verde azules se da en una temperatura de 25°C, en la mayoría de lagos de zonas templadas.

Sin embargo, Gallo y Apolo (2012) confirman que los factores naturales como el incremento de temperatura mayores a 20°C conjuntamente con la eutrofización son determinantes para la formación de floraciones. La variación de temperatura puede

darse debido a los factores ambientales en contacto directo con el cuerpo lacustre debido al cambio climático, la variación de época o por las condiciones de desarrollo de los organismos presentes.

Este parámetro afecta a la energía cinética de los reactivos como la estabilidad y actividad de las enzimas que participan en reacciones bioquímicas con influencia directa sobre procesos como reproducción, crecimiento y el status fisiológico de los organismos que habitan en un lago según lo mencionado por Brock *et al.* (1994).

4.1.2. pH

Se obtuvieron datos alcalinos en casi todo el periodo de estudio, a excepción del mes de junio con 6,37 registrado como el más bajo, (Figura 11).

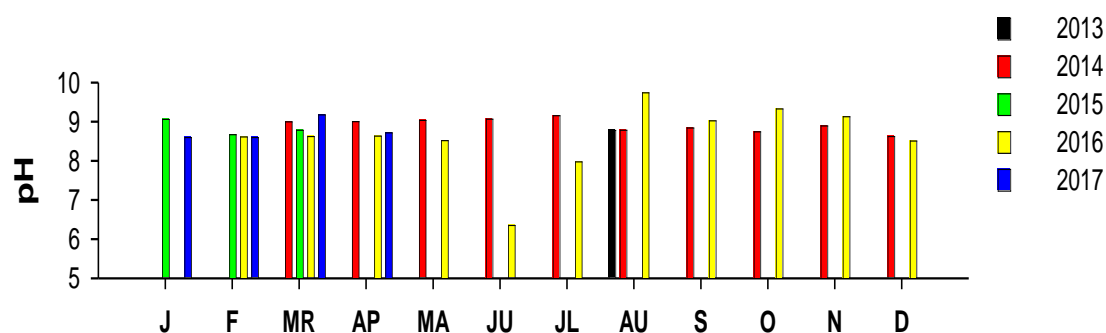


Figura 11. Valores correspondientes al pH del periodo 2013-2017 presentes en el lago Yahuarcocha.

❖ pH anual en el periodo 2013-2016

Mandonx (2014) indica un valor de 8,8 para el pH del lago Yahuarcocha, que para el año 2015 cambia a 8,9 según Portilla (2015). Para el año 2016 se obtuvo un dato promedio anual de 8,18. De donde, se señala que el registro máximo (9,76) y mínimo (6,37) se dieron en el periodo de cumplimiento de esta investigación en relación con los datos registrados de 3 años consecutivos de monitoreo.

❖ pH en la época seca y lluviosa en el periodo 2013-2016

En la época lluviosa, su valor máximo fue 9,79 mientras que su valor mínimo fue en la época seca, con 8,65. El dato máximo y mínimo para este parámetro se registró en el año 2016. En el mes de agosto en el periodo 2013-2016 el pH del lago se encuentra en un promedio alcalino de 8,86. Mientras que, en el mes de abril en el periodo 2014-2016 este parámetro se tiene un promedio de 9,24; determinándose que existe un incremento de 0,38 entre épocas favoreciendo al estado alcalino del lago (Figura 12).

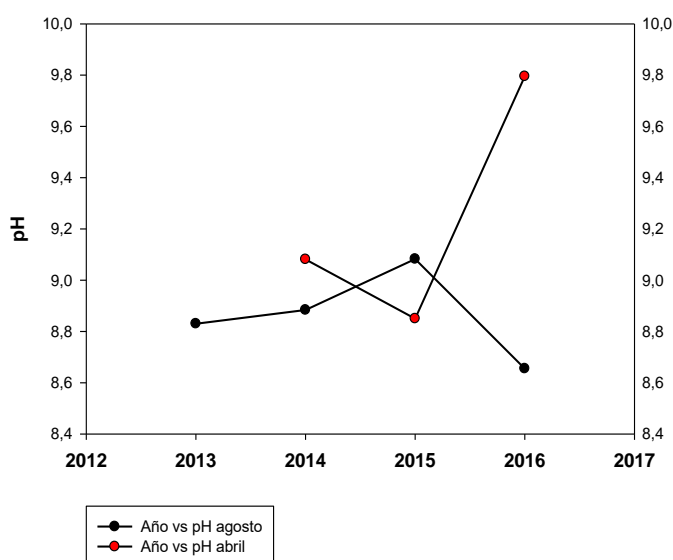


Figura 12. Valores anuales de pH correspondientes al periodo 2013-2016 para la época seca y lluviosa, presentes en el lago Yahuarcocha.

La división Cianobacteria según Mullor (1945), tiene la capacidad de alcalinizar fuertemente el medio en el que habita, produciendo en algunos casos un incremento de 8 hasta 10, fenómeno que se atribuye a la extracción de anhídrido carbónico necesario para el cumplimiento de la fotosíntesis, no únicamente aire y agua en estado disueltos, sino carbonatos y bicarbonatos alcalinos y alcalinos-térreos, que en consecuencia de la descarbonatación incrementa la disociación iónica de las bases.

Fernandes *et al.* (2009) afirma que el pH es otro de los factores involucrados en la formación de floraciones considerando los valores alcalinos comprendidos entre un rango de 7,5 – 10 como aquellos de mayor relevancia. La composición química de las aguas y los nutrientes disponibles determinan el estado de alcalinidad o acidez.

Las cianobacterias mantienen una correlación entre la tasa fotosintética y la concentración del ion sodio, así como la influencia que tienen sobre la disponibilidad de carbonato en la limitación del tamaño de las poblaciones según Wetzel (1966).

La variación de pH en los lagos puede ser comprometida debido a las altas concentraciones de bicarbonato, favoreciendo a las algas verde-azules. La importancia de la disponibilidad de dióxido de carbono disuelto radica en el rol que cumple sobre la respuesta de regulación en la flotabilidad de Cianobacteria en la formación de florecimientos (Reynolds y Wlasby, 1975).

4.1.3. Oxígeno disuelto (mg/L)

Según los resultados obtenidos, este parámetro ha disminuido en una proporción 2:1 en base a la comparación mensual realizada. Mientras que, de forma temporal, las condiciones de precipitación incrementan el nivel de disponibilidad de oxígeno disuelto en el agua en un 1,81 mg/l. Su registro máximo y mínimo fue identificado en el año 2016 con valores de 8,28 y 4,43 (mg/L) respectivamente.

❖ Oxígeno disuelto (mg/L) anual en el periodo 2013-2016

El oxígeno disuelto (mg/L) según Mandonx (2014) en el mes de agosto fue de 7,07, mientras que Portilla (2015) indica variación de 6,56 a 6,55 (mg/L) para el año 2014 y 2015 correspondientemente. Sin embargo, en el año 2016 el dato registrado para el mismo parámetro fue de 4,43(mg/L).

Portilla (2015) en el mes de abril obtiene un dato de 6,47(mg/L) para el 2014 y en el año 2015 un valor de 5,70 (mg/L), que para el 2016 es 8,28(mg/L). Este parámetro disminuyó de forma anual, con lo cual se puede realizar aproximaciones y predicciones de la posible disminución de este parámetro para los años siguientes (Figura 13).

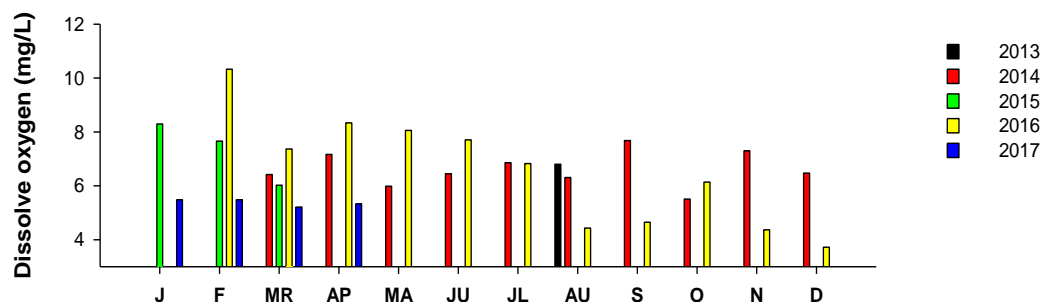


Figura 13. Representación anual de los valores de oxígeno disuelto (mg/L) del periodo 2013-2016 en el lago Yahuarcocha.

❖ Oxígeno disuelto (mg/L) en la época seca y lluviosa del periodo 2013-2016

Se indica una variación por época, de donde los resultados obtenidos expresan que dicho parámetro ha disminuido de 7,07 a 4,43mg/l reduciendo 2,62 mg/l en el periodo 2013-2016.

En el periodo 2014-2016 únicamente analizados los datos del mes de abril que corresponde a la época lluviosa demuestra un incremento de 6,47 a 8,28 mg/L, (Figura 14). Un aumento de 1,81 mg/L, que indica la posible influencia de las condiciones ambientales en la disponibilidad de oxígeno en el cuerpo de agua.

En Yahuarcocha existió una disminución de oxígeno disuelto en la época seca, teniendo resultados divergentes con la época lluviosa del año de estudio, mostrando resultados en dirección contraria.

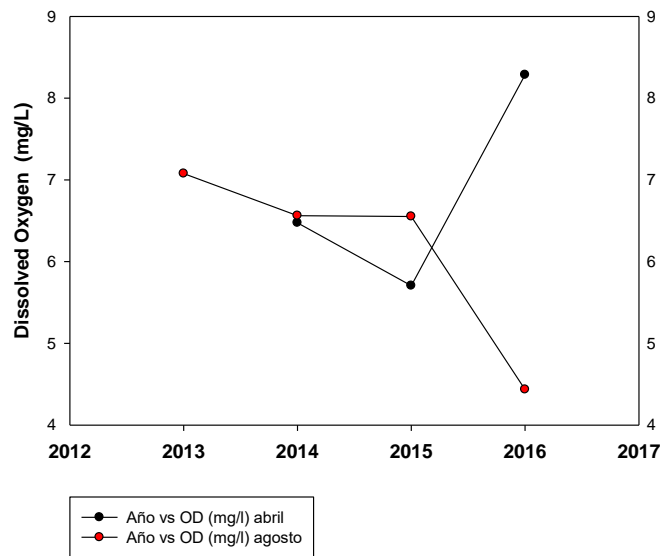


Figura 14. Valores anuales de oxígeno disuelto (mg/L) correspondientes al periodo 2013-2016 para la época seca y lluviosa, presentes en el lago Yahuarcocha.

Lo que se posiblemente se debería al incremento de la carga de nutrientes hacia el lago, la posible sedimentación de la floración de cianobacterias presente para ese momento que causaría anoxia para el mes de septiembre con consecuencias como la muerte de peces o la liberación de nutrientes reducidos desde el sedimento a través del desarrollo de bacterias sulfactantes y la liberación de SH_2 (De León, 2002).

Piorotto y Daga (2011) menciona la variación de los parámetros fisicoquímicos estacional en donde el oxígeno disuelto tiene valores mínimos en época seca y valores máximos en época lluviosa. En donde las cianobacterias de predominancia son aquellas que pertenecen al orden Chroococcales que incluyen géneros como *Microcystis* y *Merismopedia* que también se encuentran presentes en Yahuarcocha. Además, el Massaut y Ortiz (2003) menciona que la disminución en la disponibilidad de oxígeno disuelto se debe al incremento en la contaminación orgánica, desplazando el equilibrio químico del lago. En el proceso de eutrofización Zalocar y Forastier (2005) determinan que las cianobacterias cumplen un mal desempeño como productores primarios en cuanto a uso y calidad estética del cuerpo de agua sin devaluar su aporte en la cadena trófica.

4.1.4. Turbidez

Las mediciones indican depreciación alcanzando hasta el 80%, desde el primer registro obtenido para este parámetro en el año 2013.

❖ Turbidez anual en el periodo 2013-2016

Con los datos obtenidos se determinó una disminución promedio de 1,13 m desde el año 2013 hasta el año 2016, misma que representa un 80% menos de visibilidad. Este parámetro es el de mayor preocupación debido a que Yahuarcocha representa un foco turístico para el cantón. La visibilidad del espejo de agua fue decreciendo, mostrando únicamente para periodo de estudio el dato más alto 0,48 m en el mes de diciembre y el mínimo en el mes de mayo con 0,18 m, dándose una variación entre 0,18 – 0,48 m durante el monitoreo anual correspondiente al periodo febrero 2016 - febrero 2017 (Figura15).

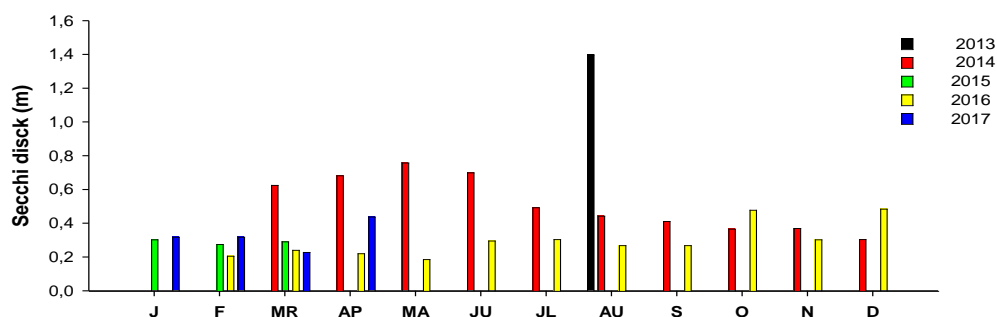


Figura 15. Valores correspondientes a las mediciones de disco Secchi del periodo 2013-2016 en el lago Yahuarcocha.

❖ Turbidez en la época seca y lluviosa del periodo 2013-2016

En la época seca Mandonx (2014) menciona que la visibilidad registrada fue de 1,4 m en el cuerpo de agua. Portilla (2015) indica un promedio de 0,43 m para el 2014 y 2015. Mientras que un año más tarde se obtuvo una medida de 0,27 m con el disco Secchi.

Para evaluar la época lluviosa se utilizaron los resultados de la investigación realizada por Portilla (2015) que menciona un dato de 0,74 la visibilidad promedio en el lago Yahuarcocha el año 2014 y 2015, medida que para el 2016 cambia a 0,22 m.

En el periodo 2014-2016 la turbidez se mantuvo constante en el primer año, disminuyendo de forma brusca para la época lluviosa del año 2016. Se obtuvo un dato promedio de 0,52m en dichas condiciones. Este dato representa el 60% de aporte a la turbidez en el lago, en comparación con la época lluviosa de años anteriores, en cambio en los últimos tres años la visibilidad del espejo de agua de Yahuarcocha ha disminuido de 1,4m a 0,27m, mostrándose propenso a la disminución progresiva de dicho registro, (Figura 16).

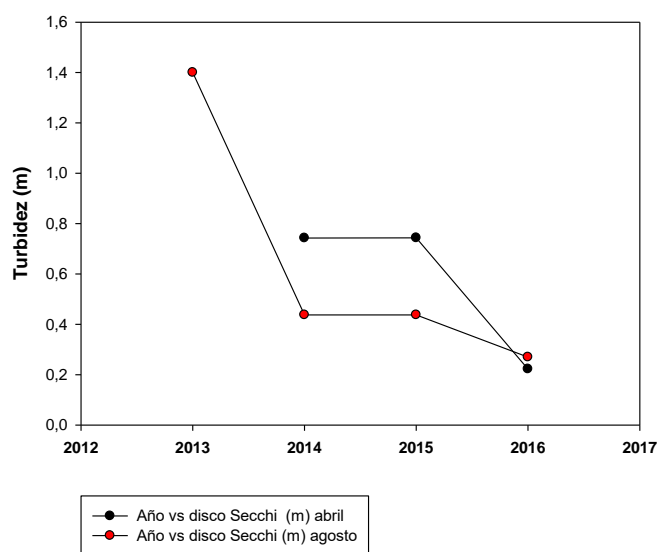


Figura 16. Valores anuales de disco Secchi (m) correspondientes al periodo 2013-2016 para la época seca y lluviosa, presentes en el lago Yahuarcocha.

Los requerimientos de Cianobacteria en cuanto a la disponibilidad de luz generalmente son similares al de las otras algas que se encuentran en un cuerpo de agua, sin embargo, los valores de saturación en el proceso de fotosíntesis son probablemente menores que otros grupos algales. La adaptación de las poblaciones para con la luz es posible durante el crecimiento que relaciona el incremento del contenido de clorofila *a* y los altos contenidos de eficiencia fotosintética. Las

condiciones naturales y la fotosíntesis son contenidas bajo un concepto determinado de entrada de radicación, de gradiente de atenuación de la luz y la temperatura ambiente. El incremento de la actividad fotosintética incrementa la tasa de reproducción de ciertas comunidades algales más que de otras, conjuntamente con la existencia de condicionantes ambientales adheridos que fluctúan para la dominancia y permanencia de Cianobacteria. La turbidez de un lago relaciona la profundidad y el promedio de producción fotosintética (Reynolds y Wlasby, 1975).

Existen estudios en los que una de las características principales de la existencia de Cianobacteria en el cuerpo de agua, es la reducción de la visibilidad en el espejo de agua como es el caso del análisis de la estructura y dinámica fitoplanctónica del lago hipertrófico del extremo de Brasil realizado por Tatsch (2010) en donde los registros de visibilidad mostraron un resultado de 0,28 m, existiendo una floración de esta división en distintas épocas del año, así como su relación con la variación de parámetros físicos del lago.

4.2. Relación de los parámetros ambientales sobre los parámetros físico-químicos

Se presentan a continuación los resultados del análisis de la precipitación, velocidad del viento y temperatura ambiental en base a los datos recabados en el periodo 2013-2016.

4.2.1. Precipitación

Se diferencia una variación anual donde los datos de precipitación para el año 2016 presenta tres picos, representados en los meses enero, abril y octubre y los meses febrero, mayo, agosto tienen los valores mínimos de precipitación. Además, los datos del año 2015 presentan una relativa fluctuación regular con respecto al año 2016, mostrando vértices en los mismos meses, pero en menor intensidad. Mientras que, la precipitación en los años 2014 y 2015 muestra curvas de distribución bastante regulares en los meses representados, (Figura 17).

En el año 2016 para el mes de agosto se obtuvo un dato de 0 mm de precipitación, parámetro que pudo influenciar en el florecimiento de cianobacterias que Yahuarcocha presentó para el mes de octubre, pues coincide con el mayor registro de pH del agua para ese mismo mes.

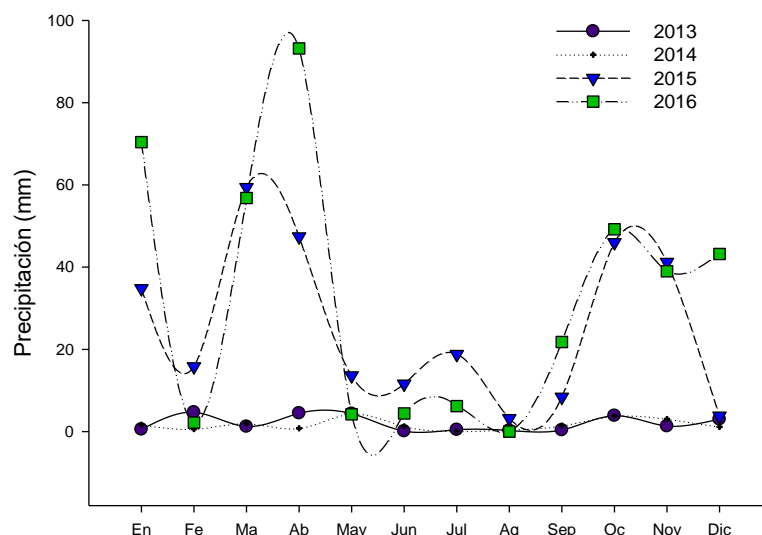


Figura 17. Precipitación anual en el periodo 2013-2016

Padúa de Moura, dos Santos y Nabout (2014) hacen mención acerca de la importancia de la precipitación como estimulante sobre los fenómenos producidos por el cambio climático y los efectos que este produce, siendo componente especial para la comprensión de las condiciones cambiantes en los ecosistemas acuáticos. Así como el impacto que produce la frecuencia de lluvias y el aumento de la temperatura en la clorofila *a* de los ecosistemas acuáticos durante la floración de cianobacterias. Relacionando que las temperaturas cálidas producidas por el cambio climático y la intensidad de la lluvia en un corto tiempo deberían favorecer las concentraciones de clorofila *a* y la abundancia de cianobacterias. Mientras que Ogashawara, Zavattini y Tundis (2014) menciona la fuerte influencia de las escasas precipitaciones sobre la reducción de aglomeraciones, considerando a este parámetro como parte en los cambios existentes determinantes en las floraciones y la distribución de las mismas en el lago Yahuarcocha durante el año de ejecución de la presente investigación.

4.2.2. Velocidad del viento

El resultado del análisis de la velocidad para el año 2016 muestran una curva parcialmente irregular con datos comprendidos entre un rango de 0,30 -0,90 m/s. en donde el mes de mayo tiene el valor mínimo y el mes de agosto el valor máximo, (Figura 18). Se podría relacionar la aglomeración de cianobacterias en el cuerpo de agua con el posible efecto dado por la velocidad del viento, dicha aglomeración posiblemente pudo haberse producido por no existir una mezcla total del lago durante el periodo de investigación, cuyas consecuencias han determinado la disminución en los datos de turbidez.

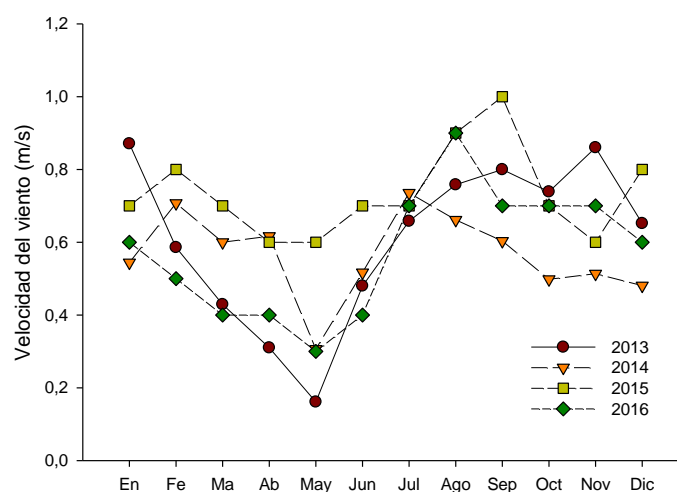


Figura 18. Variación de la velocidad del viento m/s en el periodo 2013-2016

Los patrones de velocidad del viento para cada época son distintos y el florecimiento de cianobacterias puede asociarse con el periodo específico que se cruza y con el espacio geográfico para el desarrollo de ciertas especies. Es así que Kanoshina, Lips y Leppänen (2003) en su estudio determinan la influencia de dichos patrones en la ubicación espacial anual de los florecimientos de cianobacterias, ubicación que varía de este a noreste en velocidades de 5-8 ms⁻¹.

Sin embargo, Walsby (1994) menciona que el cambio en las condiciones climáticas es el responsable de la acumulación de natas verdosas en la superficie del cuerpo de agua, en el que el proceso de flotabilidad que cumplen las cianobacterias

interviene de forma sustancial, en la mezcla, condiciones de turbulencia y en el decrecimiento de la penetración de luz.

En el caso de que la velocidad del viento no sea la más fuerte o efectiva para dispersar las células en toda la columna de agua, éstas tienden a acumularse en la superficie (Rapala, 1998). Además, Tingfeng *et al.* (2013) indica que la intensidad del viento contribuye con la expansión de los florecimientos de cianobacterias. En donde Wang *et al.* (2016) corrobora la influencia de este parámetro ambiental sobre la proliferación de cianobacterias, el impacto indirecto a la limitación de nutrientes y el impacto directo de transportación de células.

4.2.3. Temperatura ambiental

Este parámetro se diferencia de los otros debido a que en el año 2016 los valores registrados de temperatura ambiental varían entre un rango de 10 -14 °C siendo mínimos comparados con los valores del periodo 2014-2016 cuyos valores oscilan entre 16-18°C, (Figura 19).

El valor mínimo para la temperatura ambiental en el año 2016 es en el mes de agosto coincidiendo con el valor mínimo de precipitación. Fenómeno que pudo haber sido consecuencia del fenómeno de La Niña que según Centro de Predicciones Climáticas de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica fue en el tercer trimestre del año (El tiempo, 2016).

La temperatura ambiental en relación con el agua de lago depende de un intercambio gaseoso que es influyente sobre la división Cianobacteria que puede presentar cambios estacionales, sin embargo, Kanoshina, Lips y Leppänen (2003) menciona que existen posibles florecimientos en temperaturas desde 16°C, en donde las concentraciones de biomasa algal disminuyen si la temperatura ambiental disminuye.

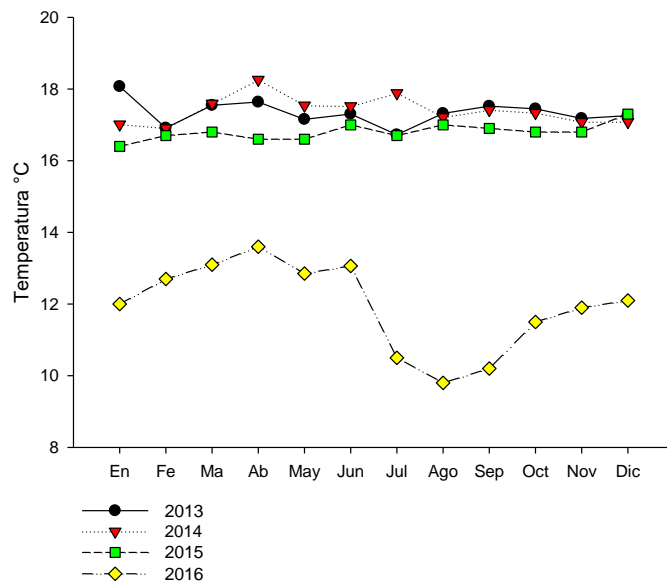


Figura 19. Variación de la temperatura ambiental en el periodo 2013-2016

Tingfeng *et al.* (2013) menciona la importancia de la obtención de información acerca de la hidrodinámica del ecosistema, en donde la temperatura responsable de la disponibilidad de gases y saturación de los mismos, cumple un papel importante dentro de la acumulación de la biomasa cianobacterial.

4.2.4 Relación de los parámetros físico-químicos con la abundancia de Cianobacteria

Al realizar el análisis canónico en el software estadístico CANOCO 4.5 para Windows® se hizo una comparación entre los parámetros temperatura, oxígeno disuelto, pH y turbidez con la abundancia de los 10 géneros de cianobacterias encontradas en el lago Yahuarcocha mensualmente para el periodo de investigación, (Figura 20). Se pudo identificar la influencia de ciertos parámetros sobre la abundancia de cada uno de los grupos de dicho grupo taxonómico. Caicedo (2015) menciona la influencia directa entre los datos de turbidez y la abundancia especial del género *Cylindrospermopsis*, dominante desde el mes de agosto. Sin embargo, en el año 2016 se identificó la influencia directa de todos los parámetros mencionados sobre el crecimiento del 90% de los géneros identificados.

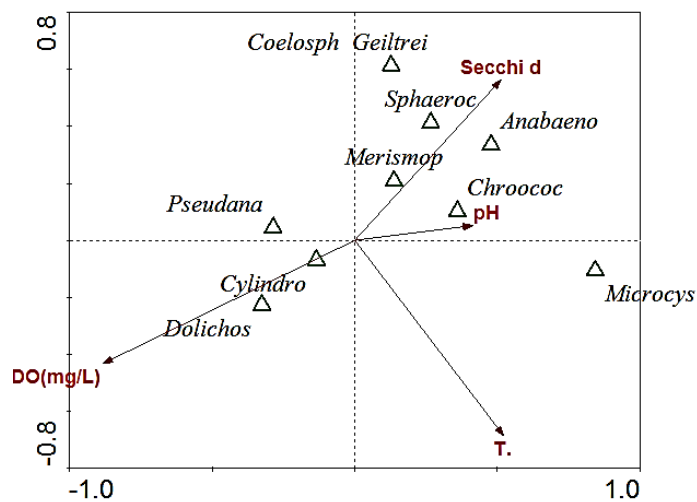


Figura 20. Parámetros temperatura, oxígeno disuelto (mg/l), pH y turbidez con relación a la abundancia de cada género de cianobacterias identificado el periodo de estudio.

Los factores que regulan el crecimiento de cianobacterias en un medio lacustre son disponibilidad de luz, temperatura, distribución en la columna de agua, disponibilidad de nutrientes así como la pérdida por transporte y depredación (Aubriot *et al.*, 2009). Tatsch (2010) menciona la influencia positiva los parámetros ambientales sobre la distribución de Cianobacteria y los valores de transparencia del cuerpo lacustre, haciendo referencia a las condiciones meteorológicas para la demostración de ubicación, como el viento, que se relaciona con ciertos parámetros químicos como el fosfato; además, menciona la afectación sobre la importancia de la temporada o época en la cual se tomaron los datos, debido al cambio que puede existir entre parámetros de estación a estación.

El 80% de los géneros de Cianobacteria identificados tuvieron relación con la turbidez del lago, con lo que se puede determinar la disminución del nivel de visibilidad del cuerpo de agua; el 50% de las especies tuvieron relación con el pH debido al carácter alcalino del lago promoviendo la dominancia y permanencia de ciertos géneros; únicamente el 30% fueron influenciados por la disponibilidad de oxígeno disuelto (mg/l), mientras que la temperatura del lago no influyó a gran

escala sobre la abundancia de los géneros taxonómicos con una respuesta del 20% a los datos obtenidos de este parámetro (Tabla 6).

Tabla 6. Indica la relación de cada parámetro fisicoquímico con la abundancia de cada género taxonómico de la división Cianobacteria

Cianobacteria	Temperatura °C	Oxígeno disuelto (mg/L)	pH	Disco Secchi (m)
<i>Dolichospermunsp</i>		+		
<i>Anabaenopsis sp</i>				+
<i>Coelosphaerium sp</i>				+
<i>Chroococcus limneticus</i>			+	+
<i>Cylindrospermopsis racoborskii</i>	+	+	+	
<i>Merismopedia punctata</i>			+	+
<i>Microcystis smithii</i>	+		+	+
<i>Pseudanabaena sp</i>		+		+
<i>Sphaerocavum brasiliense</i>			+	+
<i>Geiltreinema splendidum</i>				+

En la comunidad fitoplanctónica de Yahuarcocha, Cianobacteria ha mantenido una dependencia de dominancia y distribución con los parámetros físico-químicos y con ciertos parámetros meteorológicos como la precipitación, velocidad del viento, luminosidad y temperatura ambiental, mismo que se ha podido evidenciar durante los monitoreos mensualmente realizados, con lo que se justifica lo mencionado por Figueredo (2009) acerca de los cambios o ligeras variaciones en los parámetros ambientales y su respectiva influencia en la dinámica ecológica y desarrollo de las comunidades fitoplanctónicas favoreciendo la acumulación de nutrientes en ciertas áreas del cuerpo acuático en donde podrían generarse florecimientos algales de distintos grupos, principalmente cianobacterias debido a su capacidad para adaptarse y reproducirse.

4.3. División Cianobacteria presente en el lago Yahuarcocha

Durante el periodo de estudio febrero 2015 - febrero 2016 se generó información acerca de la taxonomía existente en el lago Yahuarcocha correspondiente a la división Cianobacteria. Los resultados corresponden al cumplimiento del segundo objetivo del trabajo de estudio. Se elaboraron fichas descriptivas (Anexo3-12) cuyo contenido expresa la descripción morfológica, distribución espacial, toxinas producidas, dosis letal y efecto producido por cada una de las cianobacterias.

Se consideró el número de géneros y especies de cianobacterias presentes en cada uno de los años de monitoreo, llegándose a encontrar una variación anual de las mismas. Mandonx (2014) menciona que la división Cianobacteria representó menos del 1 % de la abundancia total de especies en el monitoreo puntual realizado en agosto. Sin embargo, un año más tarde Caicedo (2015), menciona un florecimiento de cianobacterias para el mismo mes. En la presente investigación se registró el incremento en 3 géneros.

En este estudio se identificó 10 géneros correspondientes la división Cianobacteria, obteniéndose el 60% de los mismos taxonómicamente hasta especie, y el 40% restante ubicándose hasta género únicamente, debido a la ausencia de estructuras morfológicas básicas de identificación.

Las características morfológicas validadas fueron cianobacterias filamentosas, la longitud, ancho, forma, abundancia para las estructuras tricoma, acinetos, hormogonios segmentos y heterocitos, así como, la presencia de mucílago y aerotopos. Para aquellas cianobacterias formadoras de colonias, se admitieron datos de diámetro, abundancia celular, presencia de mucílago y presencia de aerotopos. Logrando ubicar al 50% de géneros como organismos filamentosos y el 50% restante corresponde a aquellos agrupados en colonias.

Una vez ubicados los individuos de forma taxonómica se prosiguió a la determinación de su abundancia, cuyos datos se utilizaron para el cumplimiento del

tercer objetivo del trabajo planteado, en donde se consideró que al existir más de una especie cuya organización celular es colonial o cenobio es recomendable la formación de conjuntos o complejos que abarquen dos o más géneros con las mismas características para facilitar su análisis y diferenciación (Echenique, 2009).

4.3.1. *Sphaerocavum brasiliense* (M.T.P Azevedo y C.L. Sant'Anna)

Esta especie se presenta en colonias huecas de forma esférica en un estado joven, amorfa e irregular en estado maduro, presentan mucilago hialino, sus células tienen de 2,4 a 3,07 μm de diámetro, (Figura 21). Los gráficos tienen una escala de 10 μm . En el lago Yahuarcocha esta especie se encuentra formando floraciones en las orillas y presente en los puntos de monitoreo. Suele confundirse con especies del género *Microcystis*. Es el primer registro de esta especie para el lago Yahuarcocha. No presenta registros de toxicidad aparentemente.

Taxonomía

División: Cyanobacteria

Orden: Chroococcales

Familia: Microcystaceae

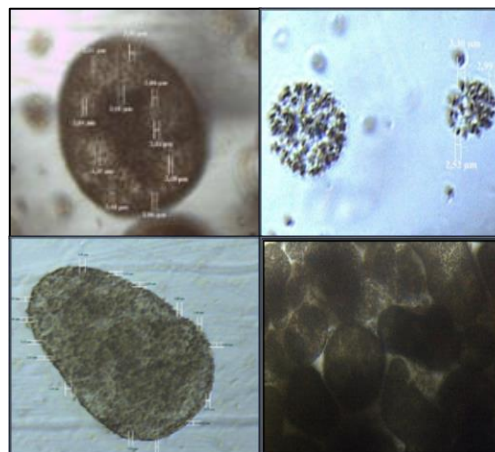


Figura 21 *Sphaerocavum brasiliense*.

4.3.2. *Cylindropermopsis raciborskii* (Seenayya & Subba Raju 1972).

Posee tricomas alargados, levemente espiralados o curvos sin ramificaciones y constituidos por una vaina mucilaginoso con aerotopos de 140,9 μm de longitud y 4,11 μm . Posee células apicales de forma acuminada.

Heterocitos de forma cónica de 7,72 μm de longitud. Acinetos ubicados de forma distante de 3,79 μm de diámetro y 9,97 μm de longitud, (Figura 22). Los gráficos tienen una escala de 10 μm .

Taxonomía

División: Cianobacteria

Orden: Nostocales

Familia: Nostocaceae

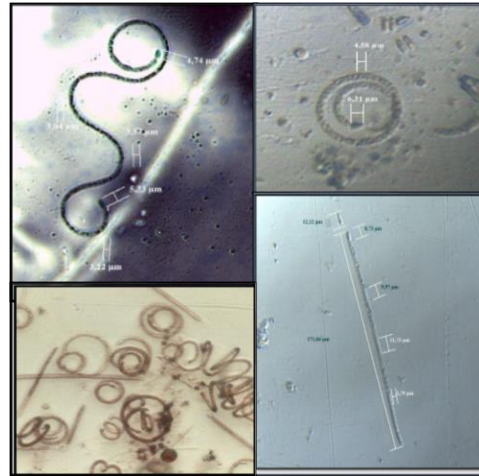


Figura 22. *Cylandropermopsis raciborskii*

En el lago Yahuarcocha se encuentra distribuida de forma espacial abarcando todo el espejo de agua. Presenta floraciones en las orillas del lago y las toxinas que pueden producirse son las expresadas en la Tabla 7.

Tabla 7. Cianotoxinas producidas por *Cylandropermopsis raciborskii*

Toxinas	Efecto	Dosis letal
Cilindrospermopsina	Hepatotóxica	2,0 mg/kg (24 horas) 0,2 mg/kg (5-6 días)

Fernandes *et al.* (2005) y Sivonen y Jones (1999)

4.3.3.1. Especie *Cylandropermopsis raciborskii*

En el lago Yahuarcocha se detectó la presencia de *Cylandropermopsis raciborskii* desde el año 2014, que en los 3 años posteriores desarrolló su florecimiento estableciéndose como dominante en el ecosistema (Figura 23). La abundancia de esta especie varía mensualmente (Figura 24), sin embargo, su distribución en el lago no es uniforme debido a su acumulación en las orillas. En el presente estudio se hace referencia a esta especie debido a su dominancia, latencia y peligrosidad.

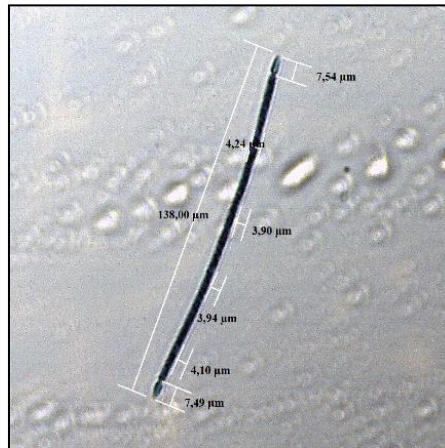


Figura 23. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Seenayya y Subba Raju 1972).

Todas las cianobacterias se encuentran en posibilidad de producir toxinas y la que esta especie puede generar fue identificada como cilindrospermopsina, toxina altamente soluble de carácter alcaloide, cuya estructura es una proteína inhibidora compuesta por un anillo tricíclico unido a un uracilo llamada hepatotoxina (Hawkins *et al.*, 1985).

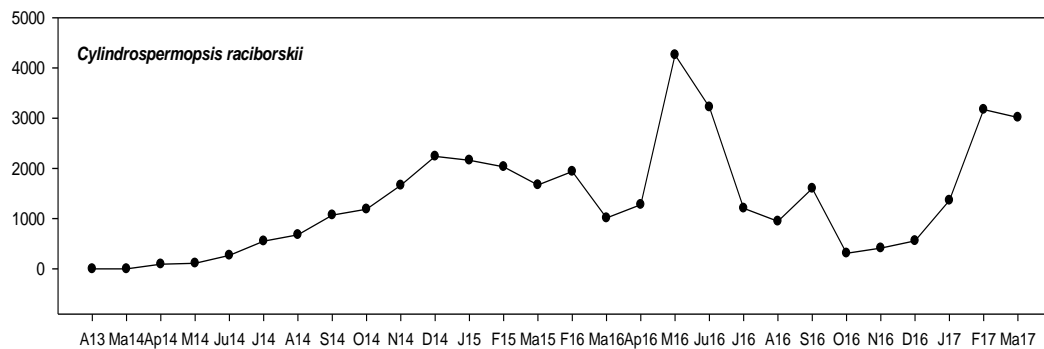


Figura 24. Indica la abundancia del género *Cylindrospermopsis* en el periodo de monitoreo 2013-2017 en el lago Yahuarcocha

Se consideran los daños alternos que puede producir a la piel o a otros órganos como el corazón, hígado, bazo, intestino, riñón. Son conocidas únicamente 6 géneros de cianobacterias productoras de esta toxina (Stewart *et al.*, 2011). Además esta especie tiene la posibilidad de producir saxitoxinas, cuyos efectos se presentan

sobre el diafragma, sistema respiratorio y músculos provocando hipoxia o muerte por asfixia (Codd *et al.*, 2005).

Se considera a esta especie como una de las principales para la potencial producción de toxinas y una tendencia a la formación de florecimientos en cuerpos de agua no solo latinoamericanos sino alrededor del mundo; su ciclo de vida, las estructuras morfológicas, los factores fisicoquímicos pH, temperatura, oxígeno disuelto, nutrientes disponibles favorecen su latencia en los ecosistemas acuáticos (Bouvyli, Molica, Oliveira, Marinho y Beker, 1999). Pádisak (1997) menciona que esta especie es considerada dominante en la biomasa fitoplanctónica por largos periodos y su invasión puede reemplazar otros florecimientos generando competencia entre especies, mientras que Hamilton *et al.* (2005) aporta que se ha encontrado esta especie como dominante en diferentes ambientes acuáticos independiente de factores como altura o temperatura y que dependen de las concentraciones de nutrientes existentes en el sistema.

Las condiciones climáticas y los nutrientes al ser analizados por separado podrían generar resultados distintos, debido a que existen ecosistemas en donde, la biomasa fitoplanctónica, no tiene un rango significativo en una correlación con los factores temperatura, disponibilidad de luz y concentraciones de nitrógeno y fósforo; por otra parte esta especie en un sistema caracterizado por el cambio en sus elementos ambientales podría generar habilidades de inhibir otras comunidades fitoplanctónicas (Figueredo y Ñ, 2009); sin embargo, en este estudio existió una correlación significativa entre el crecimiento de la biomasa de Cianobacteria con la disponibilidad de luz y oxígeno disuelto (mg/L) mas no con la temperatura °C del lago.

Sin embargo, el estudio de Olivera *et al.* (2009) demuestra que esta especie se relaciona de forma directa con los valores de pH, temperatura, turbidez y la baja profundidad de la columna de agua, dato afirmado por Tucci y Sant'Anna (2003) a través de los bioensayos realizados en la Universidad Federal de Sau Paulo, Brasil.

La abundancia de especies de cianobacterias en Yahuarcocha es el inicio de problemas ambientales más relevantes, involucrando no sólo a la biota existente sino también al factor humano. Debido a la presencia y proliferación de estos organismos el mayor riesgo existente es la toxicidad masiva en el cuerpo de agua.

Sin embargo, este estudio plantea medidas de manejo que pueden ser implementadas para disminuir y controlar la contaminación al recurso agua de este ecosistema. El florecimiento de cianobacterias en el periodo 2015-2017 se puede diferenciar en la figura 25, demostrando la problemática existente en el lago Yahuarcocha. Existen métodos varios para su intervención, sin embargo, las desventajas y ventajas que cada método predispone depende de las características del lago y los lineamientos de manejo y control; se identifican métodos químicos, físicos y biológicos, mismos que pueden ser utilizados según las características del cuerpo de agua, y han sido aplicados en distintos lugares del mundo (Aubriot *et al.*, 2009). En este caso, siendo Yahuarcocha un ecosistema de alto interés en cuanto a la vida acuática, se deben considerar métodos que la protejan.

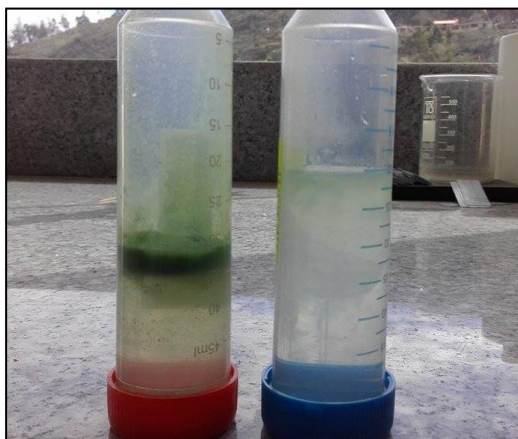


Figura 25. Muestras de fitoplancton del año 2016-2015 respectivamente el lago Yahuarcocha

Caicedo (2015) menciona el aparecimiento del género *Cylindrospermopsis* que a través de este estudio se identifica como la especie *Cylindrospermopsis raciborskii*. Sin embargo, la distribución de esta especie en América en una recopilación de 404 datos ambientales, 12 revistas científicas, 3 informes técnicos y 2 comunicaciones personales, no mencionan un solo registro para el Ecuador.

4.3.2. *Microcystis smithii* (Komárek y Anagnosstidis)

Esta especie forma colonias de esféricas a irregulares en su estado de reproducción. Colonias formadas por células observadas en 3 planos y con presencia de mucilago hialino en su alrededor. Sus células presentan aerotopos distribuidas espacialmente, rara vez formando aglomeraciones abruptas. El diámetro de sus células se encuentra entre 2,89-4,48 μm de diámetro, (Figura 17). Las imágenes se encuentran a una escala de 10 μm .

Taxonomía

División: Cyanobacteria

Orden: Chroococcales

Familia: Microcystaceae

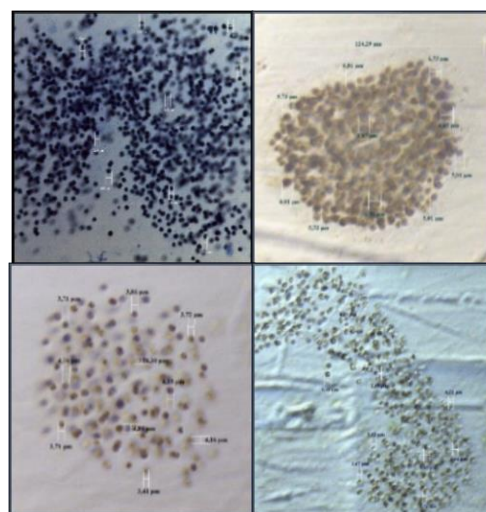


Figura 26. *Microcystis smithii*

En el lago Yahuarcocha *Microcystis smithii* se encuentra distribuida de forma superficial y cada uno de los puntos de muestreo conformando floraciones en las orillas. Su toxicidad se ve expresada en la tabla 8.

Tabla 8. Cianotoxinas producidas por *Microcystis smithii*

Toxina	Efecto	Dosis letal
Microcistinas	Hepatotoxina	25 – 150 ug/kg

Fernandes *et al.* (2005) y Sivonen y Jones (1999)

La especie identificada en esta investigación fue *Microcystis smithii*, sin embargo, existe una especie no identificada adicional correspondiente al mismo género, razón por la cual se hace referencia únicamente al género taxonómico, mismo que presentó sus primeros registros en el año 2014, Caicedo (2015) y se mantuvo presente de forma mensual desde el primer registro y dominante para octubre del periodo de investigación en el lago Yahuarcocha (Figura 27).

En comparación con la especie dominante *Cylindrospermopsis raciborskii*, disminuyó su abundancia a partir del segundo mes de florecimiento, cambio que pudo darse por la variación en los parámetros fisicoquímicos en el momento. Sin embargo, se hace referencia a este género taxonómico por su importancia en la generación de cianotoxinas, siendo el género que es conocido como uno de los principales para el florecimiento de cianobacterias en ecosistemas recreacionales y en medio de condiciones ambientales distintas y extremas.

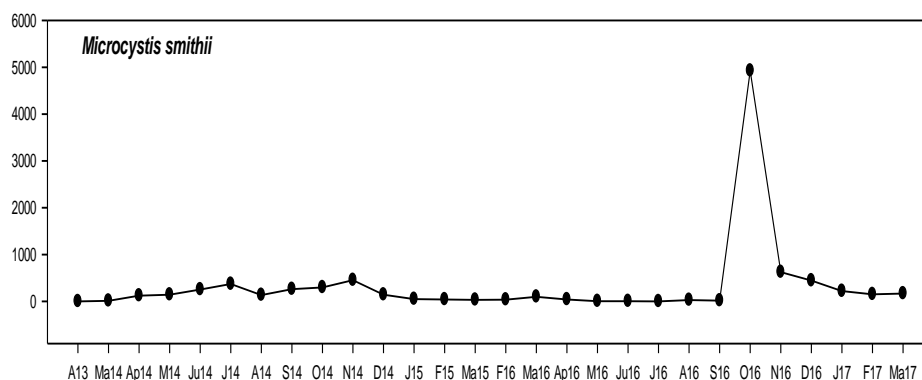


Figura 27. Indica la abundancia del género *Microcystis* en el periodo de monitoreo 2013-2016 en el lago Yahuarcocha

El género *Microcystis* se caracteriza por producir una toxina llamada microcistina cuya estructura química es representada por un heptapéptido cíclico, además de la producción de anatoxin-(a) y BMMAA (Francis, 1878). Existen metodologías de identificación de la variabilidad en concentración de toxinas que pueden ser expresadas por medio del volumen del agua, unidad de peso seco, unidades de

clorofila *a* o por biovolumen. Por otra parte, es posible caracterizar su variabilidad fisiológica, en donde la microcistina es afectada por cambios severos al ambiente, como la disponibilidad de nutrientes, condiciones de luz o temperatura y según la composición genotípica de las especies de este género (Huisman, Matthijs y Visser, 2005).

Se considera además la identificación de toxinas por medio de vías moleculares, debido a la abundancia de estructuras químicas que esta puede adaptar según la disponibilidad de elementos, identificándose hasta el momento 71 tipos (Neil, Davis, Burford y Gobler, 2012).

En cuanto a la relación de crecimiento del género *Microcystis* y los parámetros físico-químicos, el estudio de Oliveira et al. (2009) menciona que este género se desarrolla en una temperatura óptima de 23°C, pues genera mayor competencia en espacio y nutrientes.

Al evaluar los dos géneros taxonómicos se evidencia la diferencia en el número de individuos mensual en el periodo 2013-2017 (Figura 28) de tal forma que se puede identificar la dominancia de *Cylindrospermopsis* con respecto a *Microcystis*, sin embargo, en el año 2016 en el mes de octubre existe una relación de competencia entre estos que pudo haber sido producida por la variación en los parámetros físico-químicos y la disponibilidad de nutrientes.

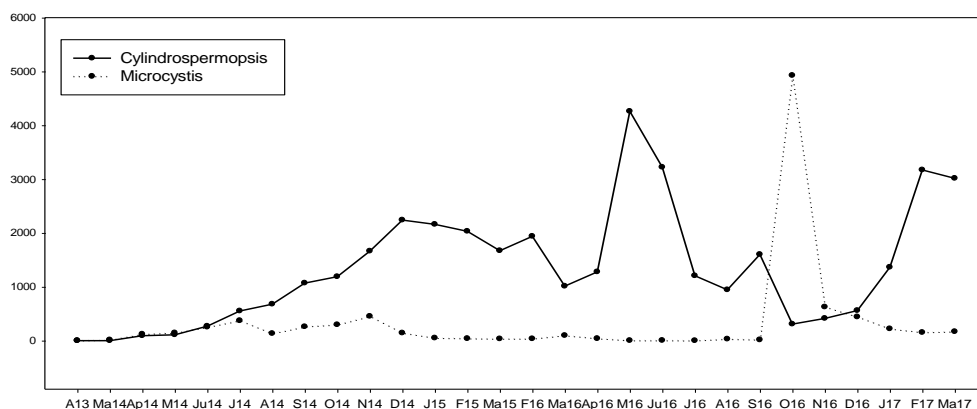


Figura 28. Indica la abundancia del género *Microcystis* en el periodo de monitoreo 2013-2016 en el lago Yahuarcocha

El estudio realizado por Oliveira et al. (2009) menciona que las cianobacterias son capaces de formar densas capas en la superficie produciendo un sombreamiento en el cuerpo de agua y desarrollan adaptaciones en bajas cantidades de luminosidad para convivir con otras especies fluctuantes como es el caso de *Cylindrospermopsis raciborskii* que se ven favorecidas por las densas poblaciones compuestas usualmente por individuos pertenecientes al género *Microcystis*, favoreciendo su reproducción y proliferación.

En el periodo de investigación se dieron diferentes eventos ecológicos de gran importancia: la mortandad de peces ocurridas en el mes de septiembre del 2016, la competencia entre los géneros *Microcystis* y *Cylindrospermopsis* y el florecimiento de otros géneros del mismo grupo fitoplanctónico (Figura 29).



Figura 29. A. Presencia de dermatotoxinas en Yahuarcocha. B. Mortandad de peces octubre 2017. C. Florecimiento de nuevos géneros de Cianobacteria.

Campos *et al*, (2005) menciona que el 50% de los sistemas lacustres que llegan a presentar florecimientos de cianobacterias pueden alcanzar toxicidad, pudiendo desarrollar potentes toxinas, entre las más comunes neurotoxinas y hepatotoxinas, comprometiendo la salud de animales y del ser humano. Otten y Paerl (2015) hace mención a los daños y perjuicios dérmicos producidos por esta división, haciendo

referencia a sintomatologías dérmicas al contacto con aguas que presentan florecimientos cuyas consecuencias pueden ser afecciones a la piel como la dermatitis, daños en el sistema respiratorio a través de la inhalación de las sustancias producidas por estos organismos, desencadenando patologías como el asma. Han sido registradas 61 enfermedades en el periodo 2009-2010 en tres estados de USA: New York, Ohio y Washington mencionado por Hildborn *et al.* (2010), demostrando la nocividad de estos organismos.

La relación entre la abundancia de los géneros *Cylindrospermopsis* y *Microcystis* se evidencian en todo el periodo de estudio. Estos géneros son determinantes en la para la turbidez del agua de Yahuarcocha. Mientras el género *Cylindrospermopsis* disminuye en número de colonias de *Microcystis* incrementa al igual que las medidas de turbidez.

La turbidez del lago disminuye en presencia del florecimiento del género *Cylindrospermopsis*. Para los meses abril y mayo se registran valores de 0,22 y 0,18 m, con *Cylindrospermopsis* como dominante, mientras que en los meses octubre y diciembre se registran un valor de 0,48 m con *Microcystis* como dominante, (Figura 30). La disminución del nivel del disco Secchi con el género *Cylindrospermopsis* y su incremento con la presencia del género *Microcystis* pudo haberse desarrollado por la distribución que cada género tiene en la cubeta del lago, así como el biovolumen que cada uno ocupa en la cubeta de agua (Cremella, 2014).

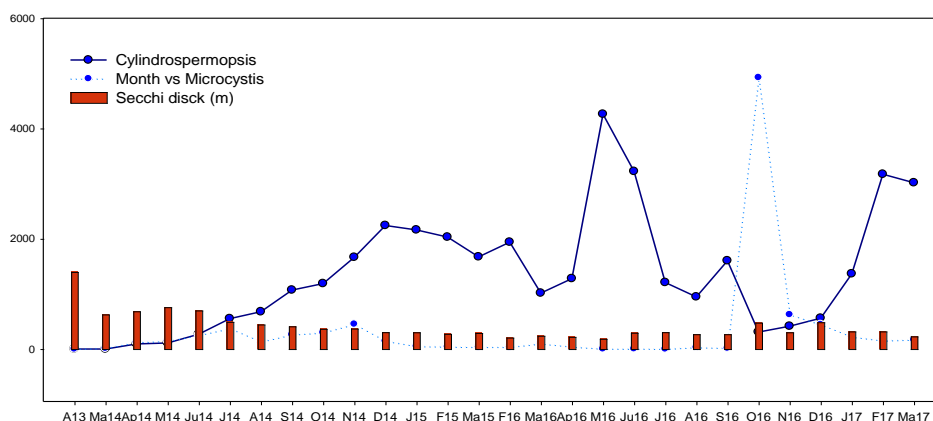


Figura 30. Relación entre la abundancia de Cianobacteria con la turbidez del lago Yahuarcocha

4.3.4. *Dolicosphermun sp* (Komárek y Anagnosstidis)

Tricomas solitarios, espiralados y con presencia de mucilago, sus filamentos tienen presencia de heterocistes de 4,94- 7,83 μm , sus células se presentan en forma cilíndrica, rara vez con presencia de heterocitos y acinetos por lo que es más compleja su identificación, (Figura 31). Las imágenes se encuentran a una escala de 10 μm .

Taxonomía

División: Cyanobacteria

Orden: Nostocales

Familia: Nostocaceae

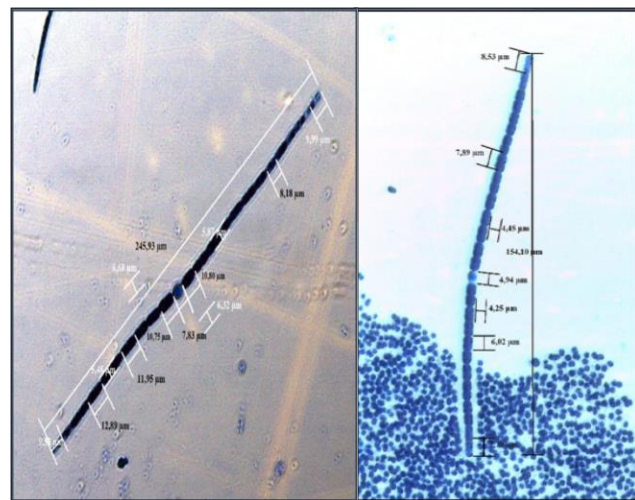


Figura 31. *Dolicosphermun sp*

Su presencia en el lago es permanente, ocupando el espejo de agua sin registrar floraciones. Las posibles cianotoxinas se ven expresadas en la Tabla 9.

Tabla 9. Cianotoxinas producidas por *Dolicosphermun sp*

Toxina	Efecto	Dosis letal
Microcistinas	Hepatotóxica	25 a 150 $\mu\text{g}/\text{kg}$
Anatoxina-a	Neurotóxica	200 $\mu\text{g}/\text{kg}$
Anatoxina-a(s)	Neurotóxica	20 $\mu\text{g}/\text{kg}$
Saxitoxina	Neurotóxica	10 $\mu\text{g}/\text{kg}$

Fernandes *et al.* (2005) y Sivonen y Jones (1999)

4.3.5. *Pseudoanabaena* sp (Komárek y Anagnostidis)

Tricomas solitarios y fragmentados dispuestos de forma recta. No presentan ápices atenuados, sus segmentos son más largos que anchos con medidas entre 5,83 – 11,7 μm de longitud y 1,80 - 3,46 μm de ancho, (Figura 32). Los gráficos tienen una escala de 10 μm .

Taxonomía

División: Cyanobacteria

Orden: Nostocales

Familia: Nostocaceae

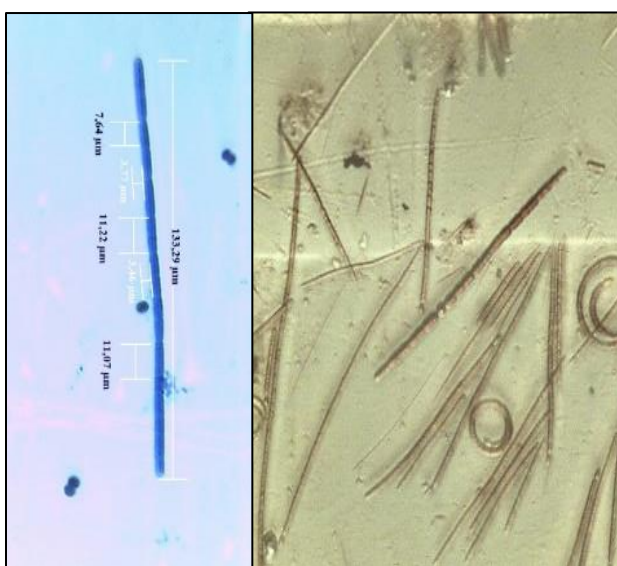


Figura 32. *Pseudoanabaena* sp

Se encuentran distribuidos en el lago de forma regular formando asociaciones con *Cylindrospermopsis raciborskii* y cianobacterias del género *Dolichospermum*. Las posibles toxinas que son producida por este género se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Cianotoxinas producidas por el género *Pseudoanabaena*.

Toxina	Efecto	Dosis letal
Microcistinas	Hepatotóxica	25 a 150 $\mu\text{g}/\text{kg}$
Anatoxina-a	Neurotóxica	200 $\mu\text{g}/\text{kg}$
Anatoxina-a(s)	Neurotóxica	20 $\mu\text{g}/\text{kg}$
Saxitoxina	Neurotóxica	10 $\mu\text{g}/\text{kg}$

Fernandes *et al.* (2005) y Sivonen y Jones (1999)

4.3.6. *Chroococcus limneticus* (Komárek y Anagnosstidis)

Sus células son semiovaldas de largo 8,68 de longitud y un de ancho 4,21 μm . Este género posee mucílago hialino alrededor de sus células, que forman una especie de conjunto agrupándose en pares o en ciertos casos agrupaciones mayores de hasta 14 células, (Figura 33). Las fotografías obtenidas tienen escala 10 μm .

Taxonomía

División: Cyanobacteria

Orden: Nostocales

Familia: Nostocaceae

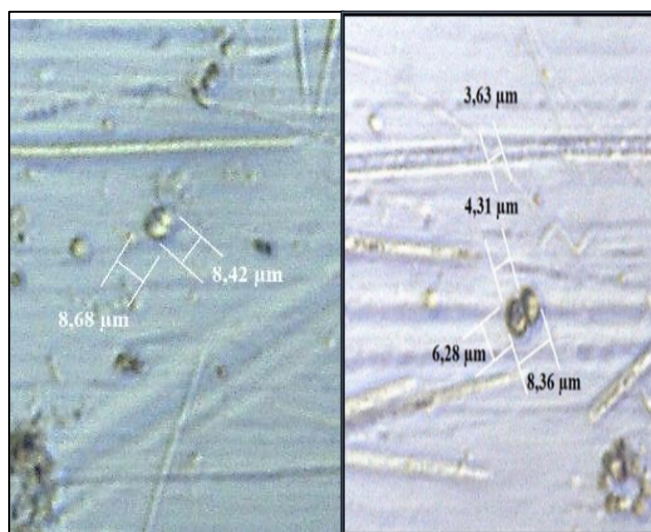


Figura 33. *Chroococcus limneticus*

Este género se encuentra distribuido en la columna de agua y no se encuentra formando floraciones, más aún se encuentra distribuido en el 90 % de la cubeta lacustre. Las toxinas que este género puede producir se explican en la Tabla 11.

Tabla 11. Cianotoxinas producidas por el género *Chroococcus*

Toxina	Efecto	Dosis letal
Lipopolisacáridos	Piel Tracto gastrointestinal	No registrado

Fernandes *et al.* (2005) y Sivonen y Jones (1999)

4.3.7. *Merismopedia punctata* (Meyen 1839)

Colonias de forma rectangular conformadas de 64 células, dispuestas en filas que se encuentran provistas de mucilago hialino que separa una colonia de otra. Las células elipsoidales a hemisféricas de 1,98 a 2,56 μm de diámetro. Su contenido es de color verde azulado de forma homogénea y desprovisto de aerotopos, (Figura 34). Las imágenes se encuentran a una escala de 10 μm .

Taxonomía

División: Cyanobacteria

Orden: Chroococcales

Familia: Merismopediaceae

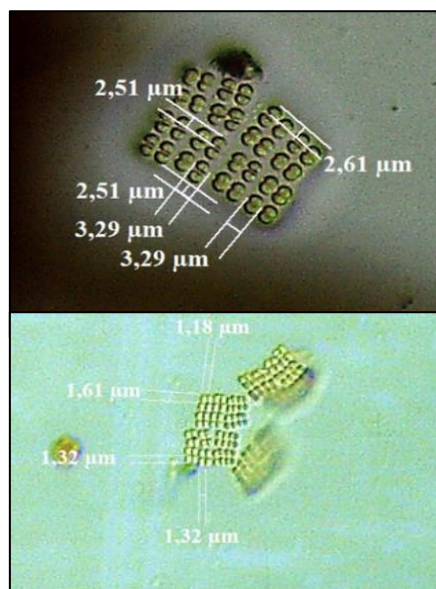


Figura 34. *Merismopedia punctata*

Especie de recurrencia temporal en el lago Yahuarcocha. Las toxinas que esta especie puede presentar se explican en la Tabla 12.

Tabla 12. Cianotoxinas que produce el género *Merismopedia*

Toxina	Efecto	Dosis letal
Lipopolisacáridos	Piel Tracto gastrointestinal	No registrado

Fernandes *et al.* (2005) y Sivonen y Jones (1999)

4.3.8. *Geitlerinema splendidum* (Anagnostidis 1989).

Tricomas solitarios dispuestos de forma recta o medianamente flexuosos de tamaño de 2,10-2,0410 μm de diámetro con segmentos de 7,38-9,51 10 μm de longitud. Sus

ápices de forma atenuada. Sus células sin presentar aerotopos, (Figura 35). Los gráficos tienen una escala de 10 μm .

Taxonomía

Filo: Cyanobacteria

Orden: Oscillatoriales

Familia: Coleofasciculaceae



Figura 35. *Geitlerinema splendidum*

En el lago Yahuarcocha esta especie no presenta floraciones y se encuentra distribuid en el lago de forma irregular, no encontrándose fácilmente. Puede ser confundida con cianobacterias del género *Pseudoanabaena*, sin embargo, las características de las células apicales indican la diferencia. Las toxinas que puede producir se explican en la Tabla 13.

Tabla 13. Cianotoxinas producidas por el género *Geitlerinema*

Toxina	Efecto
Lipopolisacáridos	Piel Tracto gastrointestinal

Fernandes *et al.* (2005) y Sivonen y Jones (1999)

4.3.9. *Coelosphaerium sp* (Komárek y Anagnosstidis).

Este género presenta un nivel celular colonial, mismo que se encuentra formado por células que forman anillos distribuidos hacia el centro. Las células que forman la colonia pueden llegar a medir 3,18 -4,52 um de diámetro. Las células que se encuentran en la periferia son de mayor tamaño que las que se encuentran en el centro de la colonia. Poseen almidón debido a su tinción con lugol y una delgada capa mucilaginosa hialina que cubre el cenobio, (Figura 36). Las fotografías tomadas se obtuvieron en una escala de 10um.

Taxonomía

División: Cyanobacteria

Orden: Nostocal

Familia: Nostocaceae

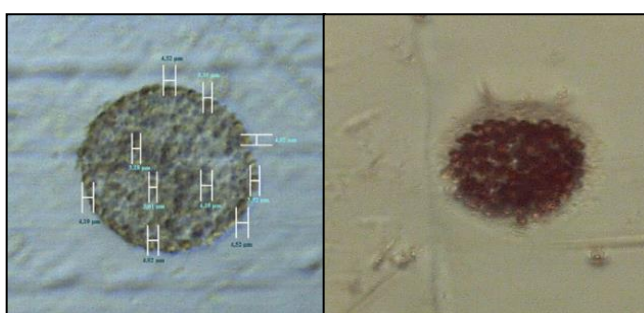


Figura 36. *Coelosphaerium sp*

Se encuentra formando floraciones en conjunto con cianobacterias de los géneros *Sphaerocavum* y *Microcystis*, en las orillas del lago Yahuarcocha y distribuidas en la cubeta lacustre de forma irregular y las toxinas que presenta se describen en la Tabla 14.

Tabla 14. Cianotoxinas que produce el género *Coelosphaerium*

Toxina	Efecto	Dosis letal
Lipopolisacáridos	Piel Tracto gastrointestinal	No registrado

4.3.10. *Anabaenopsis sp* (Komárek y Anagnosmidis)

Este género presenta células vegetativas en sus extremos. Posee un solo alelo polar. Posee células cuya medida se encuentra en un rango de 3,85 – 4,86 um. Su vaina es de carácter mucilaginosa e hialina. La fotografía se obtuvo en una escala de 10um.

Taxonomía

División: Cyanobacteria

Orden: Nostocal

Familia: Nostocaceae



Figura 37. *Anabaenopsis sp*

No se encuentra distribuida de forma espacial en Yahuarcocha. Es posible encontrarla en la zona fótica del lago en las orillas formando floraciones en complejo con los géneros *Dolichospermum* y *Pseudoanabaena*. Las toxinas que puede producir se detallan en la Tabla 15.

Tabla 15. Cianotoxinas producidas por el género *Anabaenopsis*

Toxina	Efecto
Lipopolisacáridos	Piel Tracto gastrointestinal

4.4. Abundancia mensual de los géneros y especies de Cyanobacteria

Para el análisis de abundancia posterior a la ubicación taxonómica de los individuos de Cyanobacteria se agruparon según características morfológicas y de nivel celular en común. Considerando dichas características se formaron dos complejos o agrupaciones. El complejo a se encuentra conformado por *Microcystis smithii*, *Sphaerocavum brasiliense* y *Coelosphaerium sp* que tienen un nivel celular colonial y el complejo b representado por *Pseudoanabaena sp* y *Geitlerinema splendidum* cuyo nivel celular es cocal o unicelular filamentosa, (Figura 38).

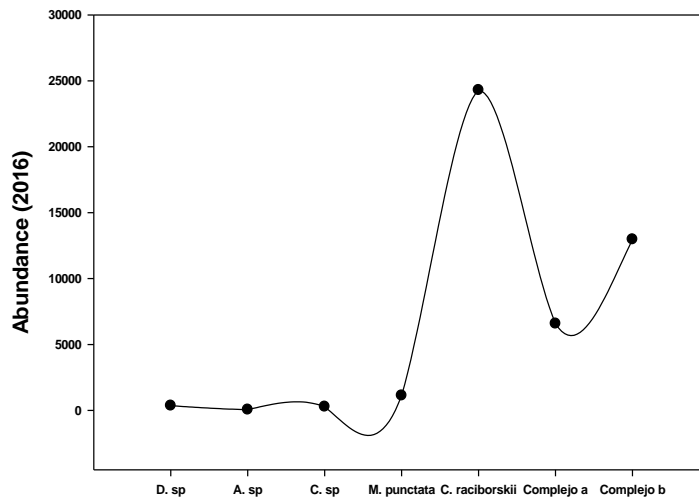


Figura 38. Total, anual de individuos de cianobacterias registrados en un volumen de 40 ul mensuales durante el año 2016. D. sp (*Dolichospermum sp*), A. sp (*Anabaenopsis sp*), C. sp (*Chroococcus sp*), M. punctata (*Merismopedia punctata*), C. raciborskii (*Cylindrospermopsis raciborskii*), complejo a (*Microcystis Smithii*, *Sphaerocavum brasiliense* y *Coelosphaerium sp*) y complejo b (*Pseudoanabaena sp* y *Geitlerinema splendidum*).

Posterior al conteo se determinó que del complejo a *Microcystis smithii* y *Sphaerocavum brasiliense* son más abundantes que *Coelosphaerium sp*, mientras que en el complejo b, el género *Pseudoanabaena* fue más abundante que *Geitlerinema*. Según Caicedo (2015), los géneros en el periodo 2014-2015 son *Dolichospermum*, *Chroococcus*, *Merismopedia*, *Pseudoanabaena*, *Microcystis* y *Cylindrospermopsis* (Figura 39), expresando un total de 21639 individuos en un volumen de 480 ul anuales mientras que para en el presente estudio en el periodo comprendido por los meses entre febrero 2016- febrero 2017 el total de individuos contabilizados fue 45705 para el mismo volumen.

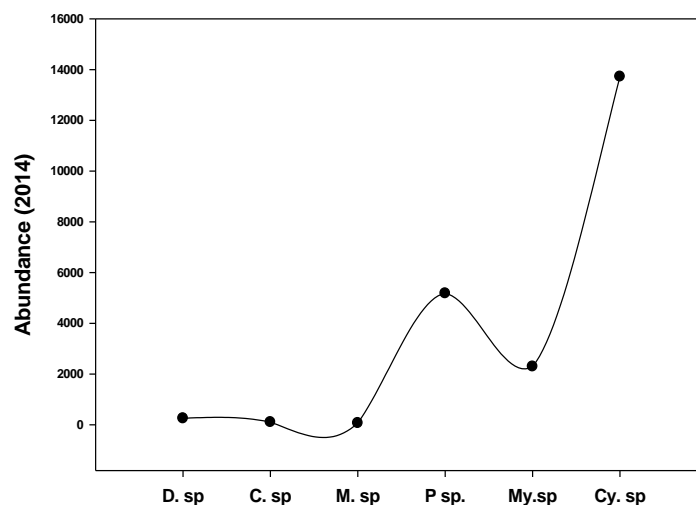


Figura 39. Total, anual de individuos de cianobacterias registrados en un volumen de 40 ul en el año 2014. M. sp (*Merismopedia sp*), C.sp (*Colesphaerium sp*), D.sp (*Dolichospermum sp*), My sp (*Microcystis sp*), P sp (*Pseudoanabaena sp*) y Cy. Sp (*Cylindrospermopsis raciborskii*).

Tatsch (2010) en su estudio menciona una prevalencia de Cianobacteria en todas las épocas de su estudio realizado en Brasil, además se menciona que en 1ml los conteos realizados arrojan un valor medio de 76339 individuos/ ml por época tomando en cuenta la existencia de 15 géneros identificados taxonómicamente y varias colonias Chroococcales no identificadas mientras que en Yahuarcocha lago eutrófico con 10 géneros identificados muestran un dato de 95219 individuos/ml anuales dato que se considera en un valor medio en la escala de abundancia de individuos para un ecosistema hipertrófico para cianobacterias en comparación con los datos obtenidos. Se puede evidenciar la complejidad para el conteo y la determinación de abundancia en una fotografía tomada directamente desde el microscopio en un lente de 10X en el mes de noviembre de la presente investigación, (Figura 40).

Yahuarcocha es en el periodo de estudio es *Cylindrospermopsis raciborskii*, según Caicedo (2015) el género *Cylindrospermopsis* obtuvo el valor máximo en el mes de diciembre con un dato de 2240 individuos en un volumen de 40 ul, misma que presentó su primer registro en el mes de octubre del año 2014, manteniéndose de

forma espacial y temporal, mientras que, en el año 2016 para el mes de mayo, su abundancia incrementa en un 52% obteniéndose un total de 4259 individuos en el mismo volumen de muestra. Considerando que a más de incrementar el número de individuos de Cianobacteria también incrementó el número de géneros taxonómicos en un 30%.

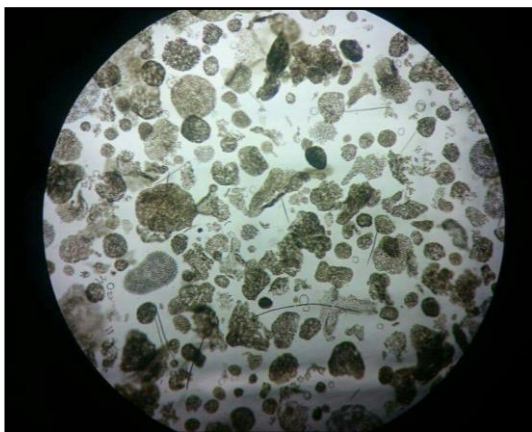


Figura 40. Abundancia de Cianobacteria observada al microscopio en un lente de 10X

A partir de los conteos realizados mensualmente para Yahuarcocha se deduce la importancia de la determinación de su biomasa con la finalidad de establecer el rango espacial de distribución que ocupa cada cianobacteria en el cuerpo de agua, sin descartar el apareamiento de nuevos géneros taxonómicos.

4.4. Crecimiento de cianobacterias en relación al nitrógeno y fósforo

Los resultados que se presentan a continuación identifican el nutriente limitante en el crecimiento de la división Cianobacteria en el lago Yahuarcocha para la época lluviosa y la época seca en el periodo de estudio, obtenidos a través de la aplicación de un bioensayo de limitación de nutrientes que relaciona el incremento de la masa fitoplanctónica a través de la medición del nivel de clorofila *a*. (Figura 41).

El nutriente fósforo es citado comúnmente como el limitante en el crecimiento de cianobacterias y como el principal causante de floraciones cuando se encuentra en

exceso. Considerando que en los entornos o ecosistemas con una razón molecular N: P menor a 15 existe la dominación por cianobacterias (Paerl, 2008), sin embargo, Chorus y Bartman (1999) mencionan que este grupo tiene afinidad tanto para N como para P según la época, en comparación con otros grupos algales.



Figura 41. Colocación del bioensayo en la superficie del lago Yahuarcocha

Fernandes *et al.* (2009) menciona la capacidad de Cianobacteria para almacenar fósforo en forma de polifosfatos, permitiendo la supervivencia y su crecimiento durante los periodos en los que existe deficiencia de este nutriente, esta acción faculta a los procesos de reproducción permitiendo a las células realizar de 2-4 divisiones celulares incrementando su biomasa de 4-32 veces. La limitación real de nitrógeno para ambientes acuáticos puede de igual forma llevar al crecimiento de cianobacterias, que a través de la fijación de nitrógeno resultan ser más favorecidas que otros grupos algales, debido a la función de fijación de nitrógeno que realizan transformar N_2 en NH_4^+ . Por su parte Paerl (2008) menciona que los ambientes enriquecidos con nitrógeno orgánico o amoniacal pueden de igual forma favorecen a la proliferación de cianobacterias y de géneros potencialmente tóxicos. Además, menciona la posible reducción de productividad y biomasa debido a las adaptaciones ecofisiológicas observadas en este grupo.

4.4.1. Biovolumen de cianobacterias: *Cylindrospermopsis raciborskii*

Se obtuvo un dato de 2078,2 u3/ul, más aun, se excluyó las estructuras conocidas como heterocitos y hormogonios debido a que no todos los individuos medidos contaban con dichas estructuras. Cremella (2014) menciona que esta especie de forma particular alcanza su mayor biovolumen en temperaturas de 30,5 °C y en profundidades de 1.23 m en la zona eufótica, mostrando una clara dependencia de la temperatura incrementando su concentración y disminuyendo si la zona eufótica aumenta y según el análisis de variables ambientales *C. raciborskii* desarrollan un biovolumen de mayores a 0.1 mm³ en sistemas eutróficos, turbios y con temperaturas altas, con la capacidad de ocupar más del 40% del biovolumen total. En el caso de Yahuarcocha el biovolumen de esta especie la ha convertido en dominante espacial y temporalmente desde el año 2015 y se relaciona su permanencia con el incremento de temperatura anual, así como la pérdida de la zona eufótica en un 50% a partir del 2014, (Figura 42).

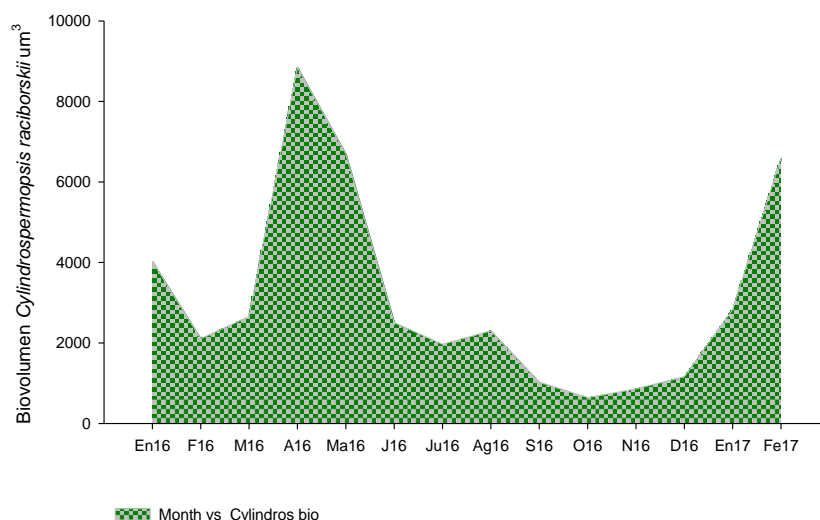


Figura 42. Biovolumen de *Cylindrospermopsis raciborskii* en base a los datos mensuales de abundancia del periodo 2016-2017 en el lago Yahuarcocha

En los resultados generados de biovolumen mensuales se identifica a los meses abril y mayo como aquellos en los que existió un nivel de biomasa mayor que los otros, fenómenos que puede ser producido por la disponibilidad de nutrientes en el lago, así como el ciclo de vida de cierto porcentaje de la población de *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cremella, 2014).

4.4.2. Biovolumen de cianobacterias: *Microcystis*

En el caso de *Microcystis* el cálculo de biovolumen se realizó según las fórmulas sugeridas por el método de estimación expuesto por Hillebrand *et al.* (1999) y Sun y Liu (2003) con algunas adaptaciones para la toma de mediciones.

En el periodo de estudio posterior a la identificación de las especies y géneros de Cianobacteria en Yahuarcocha se realizaron mediciones de diámetro para un promedio de células de 20 correspondientes a colonias de *Microcystis*. Por consiguiente, realizada la tabulación correspondiente se obtuvo un resultado promedio de $32,31\mu\text{m}^3$ de biovolumen celular que como lo menciona Fonseca *et al.* (2014) se encuentra dentro de un rango de biovolumen analizado en otros estudios realizados en lagos en Sudamérica-Brasil para el mismo género, (Figura 43). El análisis mensual indica que en octubre es este género ocupa mayor volumen en el cuerpo de agua en comparación con los meses restantes.

La variación de tamaño de las células correspondientes a *Microcystis* se deben a condiciones de hábitat, reproducción, características fisicoquímicas del sistema acuático en el que se encuentran. Por ende, es necesaria la estimación de biomasa no solo celular sino también de forma colonial (Echenique y Estevez, 2002).

El biovolumen es usualmente utilizado para la conversión de células contadas en estudios de carbono para ciertos estudios de flujo de materia orgánica en comunidades acuáticas (Hillebrand *et al.*, 1999), siendo los conteos cuantitativos parte de la determinación de este atributo, siendo un método rápido sin necesidad de un volumen grande de muestra en esta ocasión forma parte de un estudio de capacidad de agrupación y formación de cianobacterias en un determinado volumen de agua. Sin embargo, el uso de figuras geométricas no solamente ha sido utilizado para el cálculo de biomasa algal sino para determinar la concentración de carbono Echenique y Esteves (2002).

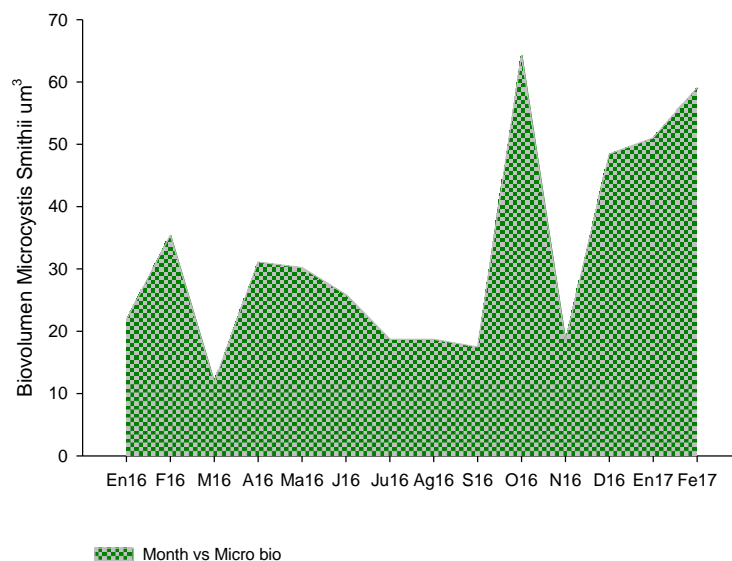


Figura 43. Biovolumen de las células correspondientes a las colonias de *Microcystis*, en base a los datos mensuales de abundancia del periodo 2016-2017 en el lago Yahuarcocha

4.4.3. Nutriente limitante

Los valores de clorofila *a* medidos mensualmente indican una variación con dos picos sobresalientes en los meses de julio y noviembre, (Figura 44). Esto indica el incremento de biomasa algal para los mismos meses. Los fenómenos evidenciados en el periodo de estudio concuerdan con el incremento de los valores en unidades de fluorescencia (UFC) de clorofila *a*. El registro mínimo 0,08 fue registrado en el mes de octubre y el más alto en noviembre, fenómeno que pudo haber sido producto del incremento en la tasa de reproducción de cianobacterias Bonilla (2009) en conjunto con la variación de temperatura registrada para ese mismo mes.

Se utilizó clorofila *a* como indicador de biomasa fitoplanctónica misma que fue tomada antes y después del cumplimiento de la experimentación. Los datos obtenidos se sometieron a la prueba estadística One Way Anova de forma mensual y análisis de variación entre cada tratamiento y Two Way Anova para el análisis anual de la variación existente entre meses en el software Sigma plot 11.0.

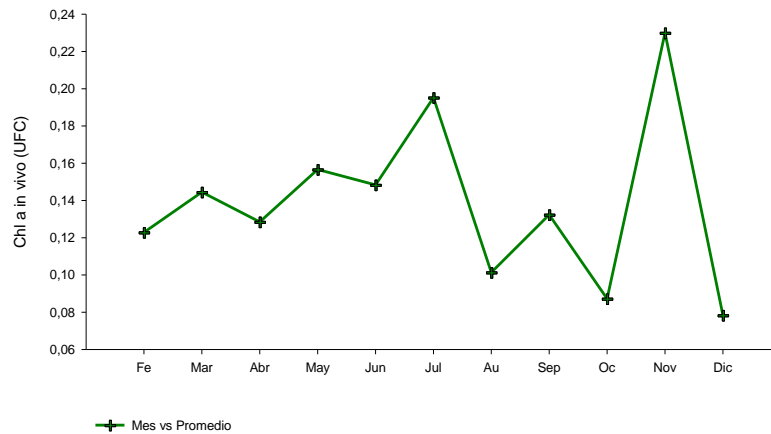


Figura 44. Valores de Chl *a* in vivo mensual en el periodo 2016-2017

Los resultados correspondientes a la limitación de nutrientes para el lago Yahuarcocha muestran un crecimiento significativo para los meses enero, febrero, marzo y noviembre del periodo de estudio al ser comparados con el control ($P < 0,001$) y las mediciones de clorofila inicial obtenidas (Figura 45).

El nutriente limitante identificado en el año 2016 para los meses junio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre fue el nitrógeno debido a la respuesta significativa obtenida en las mediciones realizadas al tratamiento al cual fue añadido N como NaNO_3 mientras que para los meses enero, febrero y marzo, se identificó respuesta significativa del tratamiento al cual se añadió P como K_2HPO_4 , determinándose que los niveles de clorofila *a* y biomasa existentes en el lago Yahuarcocha no se mantienen constantes y varían según la época presente.

Para analizar la variación existente entre cada tratamiento se tomó en cuenta los meses de agosto y abril correspondientes a la época seca y lluviosa respectivamente. De donde, para el mes de agosto se identificó un incremento significativo en los niveles de clorofila *a* al comprar el control ($P < 0,001$) con el tratamiento de N como NaNO_3 y P como K_2HPO_4 ($P < 0,005$). La diferencia entre tratamientos ($P < 0,001$) indicaron que la biomasa algal responde favorablemente en la adición de N. Mientras que en el mes de abril los niveles de clorofila *a* incrementaron significativamente entre tratamientos ($P < 0,001$) en la adición tanto para N como

P y al ser comparados con el control ($P < 0,050$) el tratamiento de mayor respuesta fue P.

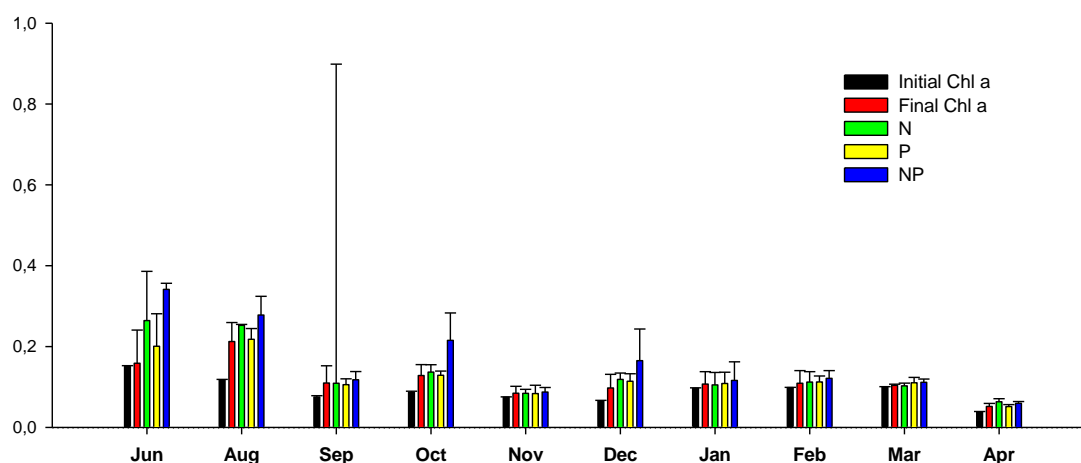


Figura 45. Corresponde a los niveles de Chl a in vivo representado en unidades de fluorescencia en el periodo de estudio

El estudio realizado por Mandonx (2014) indica que a través de la experimentación se identificó el nutriente limitante en el mes de agosto del año 2013, en donde como resultado se identificó al nutriente fósforo como aquel que tiene significancia en el incremento de biomasa de fitoplancton. Sin embargo, Saelens (2015) menciona que en el año 2015 las condiciones del lago Yahuarcocha se encuentra bajo el funcionamiento del nitrógeno como nutriente limitante. Mientras que, para el año 2016 la obtención de resultados evaluó el cambio en la limitación de nutrientes de forma mensual indicando la variación N: P por época, determinándose un cambio en la limitación de nutrientes para el lago Yahuarcocha de forma temporal, cambiando de nitrógeno en la época seca a fósforo en la época lluviosa. Las mediciones in-vivo de clorofila *a* fueron expresadas en unidades de fluorescencia (UFC) y en ug/L para cada una de las épocas, (Figuras 46-49).

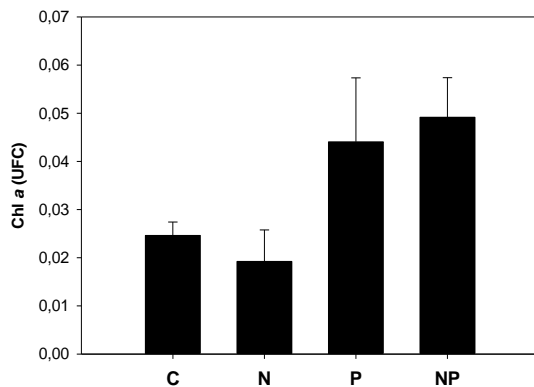


Figura 47. Niveles de Chl *a* expresados en ug/L para la época seca

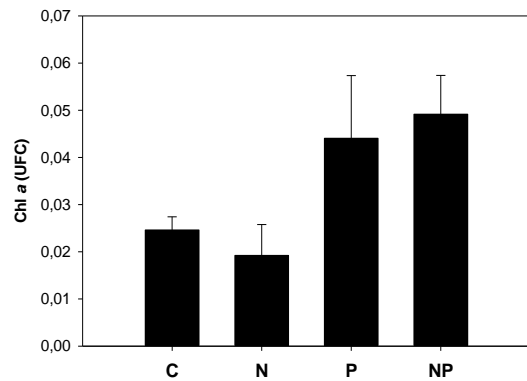


Figura 46. Niveles de Chl *a* in vivo representado en unidades de fluorescencia en la época seca.

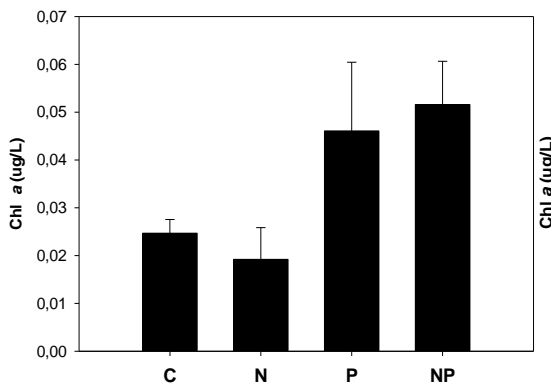


Figura 49. Niveles de Chl *a* expresados en UFC para la época lluviosa

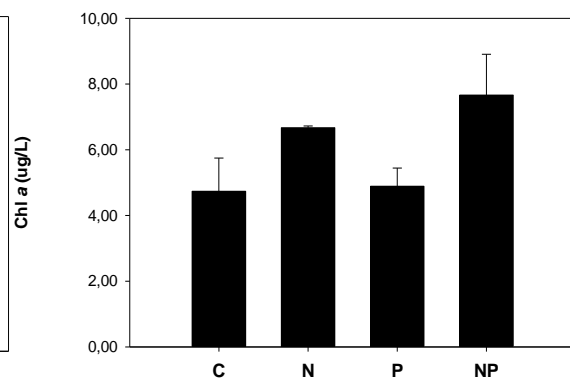


Figura 48 Niveles de Chl *a* in vivo representado en ug/L en la época lluviosa.

Molot *et al.* (2014) menciona que los florecimientos de cianobacterias son asociadas con las bajas concentraciones de nitratos, sin embargo, existe una alternativa de explicación para la correlación entre dichas floraciones y las concentraciones de nitrato bajo, mismas que pueden producirse por la anoxia que promueve la desnitrificación y previene la nitrificación. Es así que, en ciertos ecosistemas como Yahuarcocha el nutriente limitante según los resultados obtenidos varían según las condiciones a las que se encuentra expuesto el ecosistema y la limitación de N en especial se presenta en los meses que muestran menor precipitación y mayor temperatura ambiental.

La respuesta de Cianobacteria a los nutrientes disponibles en el cuerpo de agua depende de la disponibilidad de luz existente o de estructuras básicas como los heterocistes que en el caso de *Cylindrospermopsis raciborskii* tienen características fisiológicas importantes dentro su ciclo de vida como la forma química en la que se encuentran disponibles nitrógeno y fósforo (Spröber *et al.*, 2003).

El florecimiento de cianobacterias en ciertos ecosistemas acuáticos puede ser debido al incremento de nutrientes mientras que para otros influyen factores ambientales como precipitación temperatura ambiental o humedad relativa y en otros casos se puede hablar de sinergismo, sin embargo, existen patrones de crecimiento que limitan su dominancia, haciendo que varíe su abundancia en una temporada específica (Pádisak, 1998).

Los potenciales efectos de los nutrientes se muestran tanto en el crecimiento como en el desarrollo de toxicidad de las cianobacterias evidenciado en los estudios realizados por Watanabe y Oishi (1985) en donde se menciona que al existir un incremento de las concentraciones de nitrógeno existe un crecimiento de la toxicidad del género *Microcystis*. Además se afirma una correlación en la dominancia de *Microcystis* con la presencia de fósforo en el medio así como la acumulación de concentraciones de microcistina en las células de este género taxonómico (Neil *et al.*, 2012).

4.5. Propuesta de Control de *Cylindrospermopsis raciborskii*.

Cylindrospermopsis raciborskii es la especie considerada mundialmente como una de aquellas que presenta mayor incidencia de intoxicación debido a las características que le brinda al ecosistema por su capacidad de reproducción, la variedad de su morfología, la persistencia de las células reproductoras y su relativa toxicidad. Las potenciales concentraciones de cilindrospermopsina durante el florecimiento de *C. raciborskii* y la abundancia estacional coincide con el periodo de demanda recreativa generando problemáticas de salud pública, relacionando el incremento de abundancia con las actividades realizadas por la comunidad según

McGregor y Fabbro (2000), y en el lago Yahuarcocha siendo de importancia turística sin espacios que no se encuentran normados para el ingreso y contacto debido a la ausencia de ordenanzas específicas para la ciudadanía que guíen a la población humana a mantener, conservar y mejorar no solo la salud ecosistémica sino también la calidad de vida de quienes se encuentran en contacto directo con el mismo parcial o permanentemente, tiene la necesidad de implementar medidas de control y manejo de las floraciones de cianobacterias. Yahuarcocha se encuentra dominada por una floración de *C. raciborskii* desde el año 2015 Caicedo (2015) y se encuentra ocupando el 100% espacialmente la cubeta lacustre además de ser dominante de forma temporal.

En los ecosistemas de agua dulce la mayoría de las toxinas son producidas por cianobacterias, conjuntamente incrementan la frecuencia de su abundancia debido a las actividades agropecuarias, el uso extensivo de fertilizantes y el vertido de desechos no procesados en el cuerpo de agua. La abundancia de especies de cianobacterias en Yahuarcocha es el inicio de problemas ambientales más relevantes, involucrando no sólo a la biota existente sino también al factor humano. Debido a la presencia y proliferación de estos organismos en Yahuarcocha el mayor riesgo existente es la toxicidad masiva en el cuerpo de agua. Esta investigación plantea medidas de manejo que pueden ser implementadas para disminuir y controlar los problemas ambientales generados a partir del florecimiento de *C. raciborskii*.

Se propone la aplicación de un control mecánico debido a la complejidad que los métodos químicos y de control de nutrientes muestran en cuanto a efectividad a corto plazo. Se tomó referencia del Summary of the methods for cyanobacterial bloom control in inland waters (Cobo,2015).

4.5.1. Metodología de la propuesta

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación la cianobacteria *Cylindrospermopsis raciborskii* es dominante espacial y temporal en el lago,

además es potencialmente productora de cianotoxinas (Bouvy *et al.*, 1999) por lo que es la especie en la que se enfoca la siguiente propuesta de control y manejo.

La literatura Cobo (2015), Leclercq *et al.* (2015), Kieffer *et al.* (2015) recomienda el control de floraciones de cianobacterias mediante ultrasonido. Por lo que se debería desarrollar las siguientes actividades con los siguientes equipos.

❖ **Niveles de exposición**

Se realiza a través de un diagnóstico preliminar del área y la aplicación de una red de evaluación que genera datos acerca de los posibles riesgos en determinadas zonas del cuerpo lacustre cuyo producto es la zonificación de la acumulación de cianobacterias en el lago y la distribución de las mismas. En términos de duración se aplica la intensidad de sonido media o densidad de potencia para determinar un riesgo, así como la energía inyectada al medio (Leclercq *et al.*, 2014).

❖ **Elaboración de un sistema de alertas**

Realizado en base a la zonificación obtenida de los niveles de exposición, generando alternativas posibles y adaptables para el acceso al agua del cuerpo lacustre. Este sistema tiene como base la guía de prácticas seguras en el manejo de aguas recreacionales propuesto por Choruss y Bartman (1999), de donde se evalúan los aspectos para determinar una zona de alerta amarilla, naranja o roja según el riesgo, expuestos en la Tabla 16.

❖ **Rangos de frecuencia**

Dependen de los grupos funcionales identificados en base a la morfología de las especies de cianobacterias presentes en el lago. Que en esta investigación se desarrollan en base a la predominancia de *C. raciborskii*. Utilizando frecuencias de ultrasonido capaces de disminuir la abundancia de cianobacterias en el cuerpo lacustre. Se han generado datos acerca de las frecuencias de ruptura de las vesículas

de gas con rangos comprendidos entre 20 kHz-1,7 MHz tomándose en cuenta la resonancia celular y la cavitación que relacionan frecuencia y presión sobre las mismas.

Tabla 16. Guía para el control de cianobacterias en aguas recreacionales

Nivel guía o situación	Cómo se derivó el nivel guía	Riesgos para la salud	Acción recomendada
Formación de nata con cianobacterias en balnearios o espacios públicos.	Existencia de intoxicaciones letales de poblaciones animales por vía oral. Historia de casos y cuantificación real de enfermedades humanas	Potencial para la intoxicación aguada letal. Potencial de desarrollo de enfermedades a largo plazo con otras cianobacterias.	Acción inmediata con natas prohibición en nadar y distintas actividades en contacto con el agua. Seguimiento en cuanto a casos de salud pública comprometidos
100 000 células de cianobacterias /ml o 50 ug clorofila -a/L con predominio de cianobacterias	Con referencia de la guía de agua potable para microcistina LR y los datos relacionados con los niveles de cianotoxinas	Riesgo potencial a largo plazo con algunas especies cianobacterianas. Resultados para a salud a corto plazo por ejemplo irritaciones de la piel o enfermedades gastrointestinales	Vigilancia de los florecimientos. Restricción del contacto primario. Colocación de letreros
20 000 células de cianobacterias /ml o 10 ug clorofila a / L con predominio de cianobacterias	De los estudios epidemiológicos sobre aguas recreacionales de contacto primario	Resultados de corto plazo con respecto a la irritación de piel, enfermedades gastrointestinales	Letreros de advertencia de riesgos. Informe a las autoridades pertinentes

Choruss y Bartman (1999)

❖ Descripción del equipo

La división Cianobacteria es uno de los más conflictivos para su disminución, tratamiento, control y eliminación debido a la estructura morfológica, ciclo de vida, flotabilidad y reproducción. Por tal razón el equipo que se detalla y su funcionamiento se ha verificado por el U.S. Army Corps of Engineers (2012), mencionando acerca de la funcionalidad de la implementación. Este mecanismo se recomienda para su aplicación en sistemas acuáticos donde la columna de agua sea mayor que la zona fótica disponible. La zona fótica para Yahuarcocha es de 0,75m, encontrándose en el rango adecuado para su aplicación. Debido al efecto que este tiene sobre la capa superficial de un lago donde el principio de acción son las ondas de sonido ultrasónicas, se reconoce la no afectación sobre los organismos como aves, peces, zooplancton, verificados.

❖ Distribución del equipo

Se analizan las características del equipo SS600 de la empresa SonicSolutions®, LLC (Sonic Solutions, 2009). La ubicación del equipo se debería realizar en base a las dimensiones del cuerpo lacustre o del ecosistema acuático, así como de las características de los organismos presentes. Según la infografía del proveedor, (Figura 50) para Yahuarcocha se deberá ubicar un equipo por cada 18,82 hectáreas. En el mercado se encuentran además diversas características tecnológicas en cuanto a la capacidad de trabajo, frecuencia, autonomía, en el momento de decidir sobre la distribución de cada uno de estos se debería tomar en cuenta las características de cada uno de estos, (Figura 51) y las recomendaciones del fabricante. Las posibles ubicaciones se registrarán al nivel de concentración de cianobacterias y al sistema de alertas determinado.

Las posibles ubicaciones se registrarán al nivel de concentración de cianobacterias y al sistema de alertas de determinado.

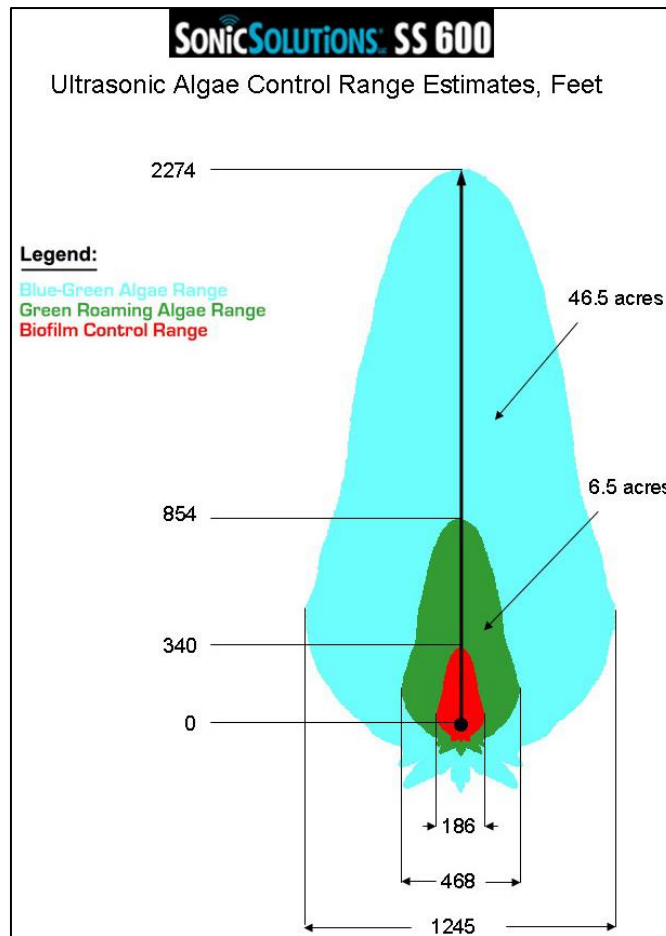


Figura 50 Estimación del control de cianobacterias
 Fuente: Sonic Solutions

Además, el equipo se elegirá en base al número de entradas y caudal que el cuerpo acuático presente, en el caso Yahuarcocha existen cinco entradas de agua, mismas que son el canal del río Tahuando, quebrada chiquita, Quebrada Manzano Huaico, planta de tratamiento, quebrada San Antonio; cuyos caudales aportan al nivel del agua del lago. De donde la entrada del canal Tahuando es aquella que aporta con la mayor carga de nutrientes y los cuatro restantes aportan de agua y nutrientes al lago en época lluviosa con un promedio mensual de 50 l/s (GAD-Ibarra, 2015). La distribución debería tomar en cuenta la capacidad de cada equipo y se propone ésta como una posible ubicación.

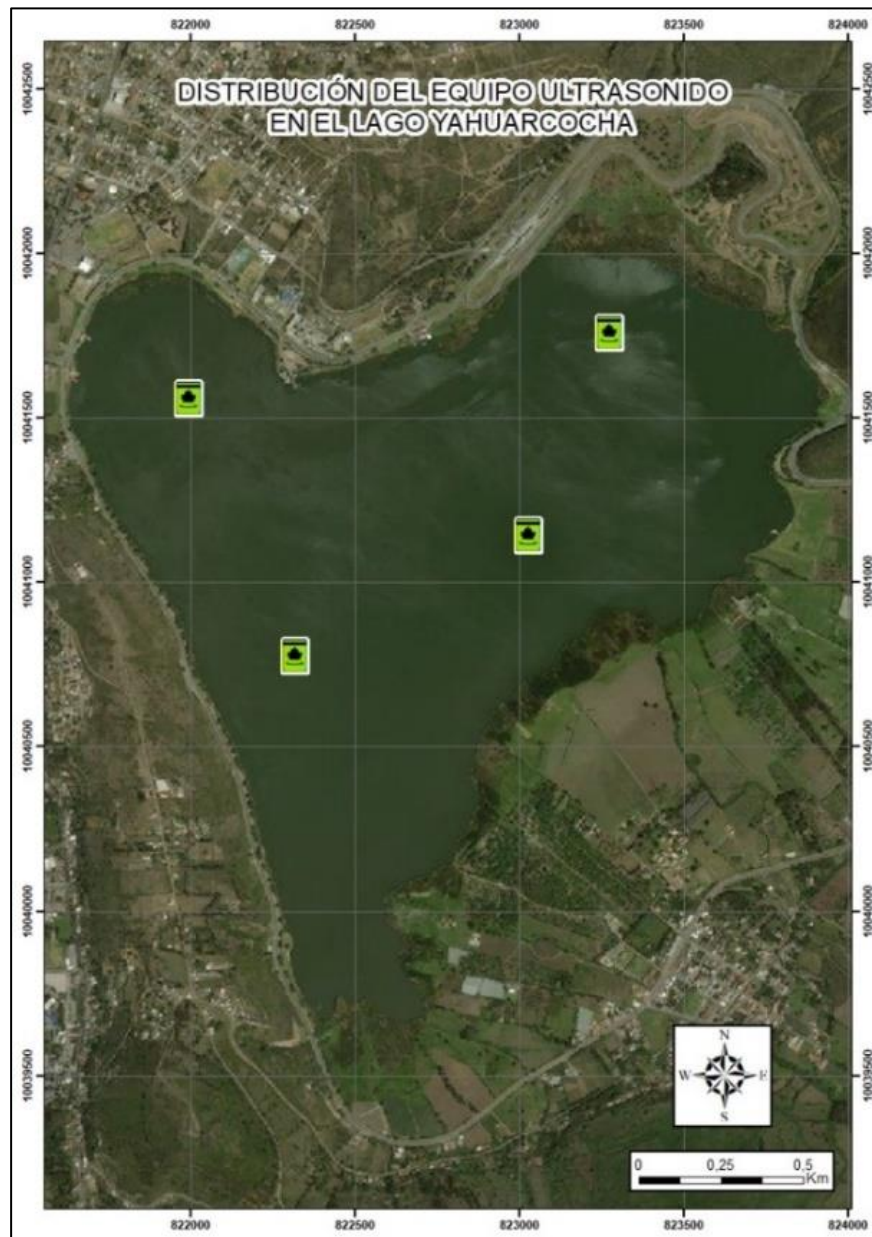


Figura 51. Posible ubicación del equipo.

❖ **Funcionamiento del equipo**

El equipo cuenta con transmisores de ultrasonido, base de flotabilidad y anillo de amarre que se detallan en la tabla 17.

Tabla 17. Especificaciones técnicas del equipo *EPA Est. No. 74929-MA-001*

Modelo	Fuente de energía	Fuente de poder	Certificación	Rango
SS 600 -US, -EU, -UK	US 105-125V AC, 50/60 Hz, 0.6 Amps	EU/UK 210-250V AC, 50/60 Hz, 0.3 Amps	E322023 NSF/ANSI 61 & 372	600 pies /182 m

Fuente: Sonic Solutions

Los detalles que se presentan a continuación se elaboraron en base a las características del equipo (Tabla 18) en mención y con las debidas especificaciones para su funcionamiento según su disposición y aplicación sobre el cuerpo acuático.

Tabla 18. Descripción de los transmisores de ultrasonido.

A. Transductor	Longitud: 8 pulgadas, Diámetro: 3 pulgadas, Altura: 9 pulgadas, Largo del cable: 50 pies
B. Fuente de Poder	Altura: 2.5 pulgadas, Longitud: 7.75 pulgadas, Ancho: 4.5 pulgadas, Largo del cable: 6 pies (US & EU); 5 pies (UK)
C. Flotador	15 pulgadas x 15 pulgadas x 1.5 pulgadas con cuatro agujeros de 0.75 pulgadas para amarra y dos agujeros de 2 pulgadas x 3.5 pulgadas para estacas.
D. Anillo de amarre	Longitud: 1.5 pulgadas de acero inoxidable.
Peso empacado:	20 lbs. (empacado en un solo cartón)

Fuente: Sonic Solutions

Se incluye un diagrama (Figura 52) del equipo en el que se aprecia la construcción y detalle del mismo:

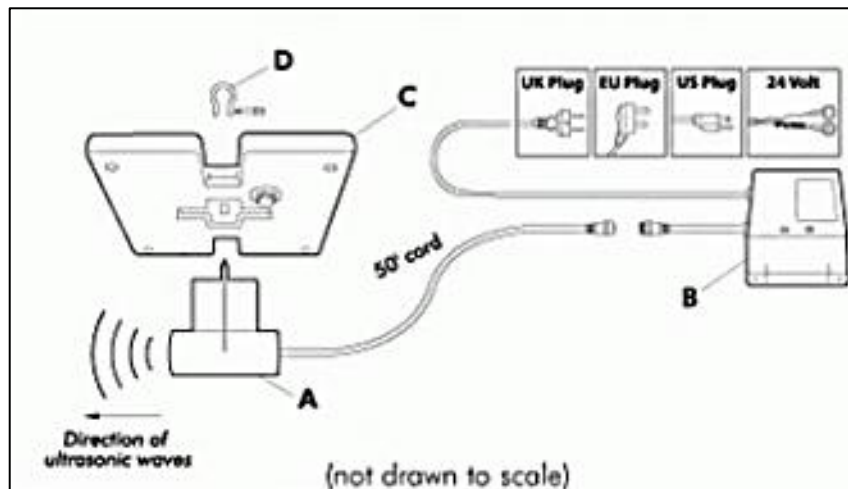


Figura 52. Detalles de la estructura del equipo

Fuente: Sonic Solutions

El fabricante establece (Sonic Solutions, 2009) que este equipo emite ondas de ultrasonido que se esparcen en un ángulo de aproximadamente 180 grados desde el frente del transductor, el nivel de nutrientes, turbidez, forma del cuerpo de agua y la cercanía a su centro afectará el desempeño de este.

❖ Duración

El resultado obtenido en el ecosistema se desarrollará en un promedio de 5-6 meses con una remoción del 90% de la existencia de algas y florecimientos de cianobacterias en la aplicación de 4 equipos (Schneider, Weinrich y Brezinski, 2015). El tiempo dependerá según el número de equipos implementados y sus características.

❖ Costos

En la página web del fabricante (Sonic Solutions, 2009) se ubica una lista de precios actualizada al 2009. La inversión que se realizaría tiene un ahorro de \$87 800 (Schneider, Weinrich y Brezinski, 2015) en costos operaciones únicamente con la

colocación de 4 dispositivos. Para determinar el ahorro se descartan los costos de monitoreo manual del equipo, transporte, electricidad y repuestos.

Tabla 19. Costo unitario de cada equipo

Número de Modelo	Descripción	Precio en U.S.A.
SS 600	105-125V AC, 50/60 Hz, 0.6 Amps, 90w Peak Ultrasonic Power	\$ 4,495.00

(Sonic Solutions, 2009)

Para la superficie de Yahuarcocha según las recomendaciones del fabricante se deberían situar 13 equipos con el rango de alcance mayor es decir una inversión inicial, solo en equipos, de USD 58.435,00 (cincuenta y ocho mil cuatrocientos treinta y cinco dólares de los Estados Unidos de América) a este valor hay que sumarle los gastos de envío, aduana, transporte interno, costos de implementación y operación que genere el uso del equipo. Además, debido a los diferentes parámetros que afectan la distribución de las ondas de sonido en el lago se debe realizar una evaluación previa que permita obtener el número exacto de equipos necesarios para la cobertura total de la superficie.

❖ Socialización

En el caso de ser implementada la estrategia propuesta es de carácter obligatorio la socialización y la implementación de ordenanzas para la ciudadanía con el fin de mantener y conservar el ecosistema. Puesto que, al aplicar este equipo no solo mejoraría la calidad ecosistémica sino también a calidad de vida de los habitantes de Yahuarcocha, así como también el sector turístico del cantón por los resultados que se obtendrán una vez aplicada.

❖ Marco legal ambiental

En la presentación de esta propuesta se debe tomar los siguientes cuerpos legales vigentes en el país: • Constitución de la República del Ecuador (2008) • Código Orgánico de Ordenamiento Territorial y Descentralización (2010) • Código Orgánico del Ambiente (2017) Constitución de la República del Ecuador El ámbito de aplicación de esta propuesta es local y enfocada al lago de Yahuarcocha sin embargo es de suma importancia establecer el marco legal nacional que permitiría la intervención para la remediación de lagos o cuerpos de agua en el Ecuador. La Constitución del Ecuador en su artículo 14 señala: “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.”

Código Orgánico de Ordenamiento Territorial y Descentralización Al referirse a los principios que rigen este cuerpo legal en su artículo 3 literal h tratando de la Sustentabilidad del desarrollo por parte de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) indica: “(...) La aplicación de este principio conlleva asumir una visión integral, asegurando los aspectos sociales, económicos, ambientales, culturales e institucionales, armonizados con el territorio y aportarán al desarrollo justo y equitativo de todo el país.”

Código Orgánico del Ambiente Este cuerpo legal entrará en plena vigencia en abril del 2018 y reúne varias normas en un solo cuerpo legal que antes estaban dispersas y carecían de coherencia. La pertinencia de este cuerpo normativo para este estudio se enfoca de manera general en las competencias para la remediación de ecosistemas y de manera específica en cuerpos de agua y sistemas hídricos como se los define en este.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- ❖ Los parámetros fisicoquímicos que interfieren en la respuesta al crecimiento de Cianobacteria dentro de su ciclo de vida son pH, oxígeno disuelto (mg/L) y temperatura comprobándose la variación por épocas.
- ❖ Los géneros de organización celular colonial *Microcystis*, *Sphaerocavum* y *Coelosphaerium* durante la época seca tienden a crecer exponencialmente debido a las condiciones ambientales presentes favoreciendo su crecimiento.
- ❖ Se identificaron 10 géneros taxonómicos pertenecientes a la división Cianobacteria de los cuales el 70% se ubicaron hasta nivel de especie y el 30% hasta un nivel de género.
- ❖ El 80% de los géneros taxonómicos identificados se relacionan con la disminución de la visibilidad en el cuerpo lacustre.
- ❖ Se determina un incremento en más del 90% de individuos de la especie *Cylindrospermopsis raciborskii* en un año de monitoreo constituyéndose como especie dominante espacial y temporal en el lago.
- ❖ Se identificó 2 géneros potencialmente productores de cianotoxinas *Microcystis* y *Cylindrospermopsis* debido a su abundancia y distribución en el cuerpo acuático mientras que los 8 restantes se consideran en latencia.

- ❖ El nutriente limitante para el crecimiento del fitoplancton en Yahuarcocha es nitrógeno para la época seca y fósforo para la época lluviosa, identificándose una variación temporal de la distribución de nutrientes en el lago, razón por la cual se determina que posiblemente existe una relación entre el florecimiento de una cianobacteria en específico con cada época en curso.

5.2. RECOMENDACIONES

- ❖ El protocolo de conteo de individuos de las comunidades fitoplanctónicas propuesto por el proyecto “Manejo Sostenible de los Lagos en el Norte de Ecuador bajo la creciente de Actividades Económicas y el Cambio Climático” fue modificado en base a las necesidades del estudio y la especificación del mismo. Debido a la complejidad y diversidad en forma y organización celular de la división Cianobacteria se consideraron modificaciones en la metodología de colecta y conteo de este tipo de micro algas. Considerando que no es recomendable comparar una cianobacteria filamentosa con otra que pueda presentarse en colonia o cenobio, debido al biovolumen que ocupan y las toxinas que pueden contener.
- ❖ Estandarizar la aplicación del método sugerido en el protocolo del proyecto “Manejo Sostenible de los Lagos en el Norte de Ecuador bajo la creciente de Actividades Económicas y el Cambio Climático” ya que para esta investigación se implementaron modificaciones puntuales en el conteo y toma de muestras para La división Cianobacteria con el objetivo de diferenciar sus características fisicoquímicas, morfológicas y toxicológicas para contar con datos pertinentes.
- ❖ Para complementar este estudio se sugiere un análisis toxicológico de las especies *Cylindrospermopsis raciborskii* y *Microcystis smithii*, debido a su abundancia y permanencia en el lago Yahuarcocha, así como para *Sphaerocavum brasiliense* por considerarse el primer registro para el norte de la provincia.

- ❖ Se recomienda un monitoreo mensual para determinar los cambios en las poblaciones fitoplanctónicas del cuerpo lacustre y determinar aproximaciones de potenciales florecimientos de cianobacterias, además es necesario poner a consideración la realización de un manual de normas especiales de bioseguridad para la toma de muestras puesto que el estudio realizado da a conocer que los géneros taxonómicos de cianobacterias presentes en el lago Yahuarcocha son potencialmente productores de cianotoxinas.

- ❖ De acuerdo a los datos obtenidos en esta investigación y a lo publicado por el INOCAR se sugiere se realice una evaluación de la relación entre los efectos de las floraciones de Cianobacteria con la recurrencia del fenómeno del Niño o el fenómeno de la Niña.

CAPÍTULO VI

6. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Aguirre *et al.* (2006). Ecología. México. Umbral. Recuperada de:
https://books.google.com.ec/books?id=cg2bYyGthgC&printsec=frontcover&dq=componentes+bioticos+definicion+pdf&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Andrinoldo, D., y Sedan, D. (2011). Cianobacterias como determinantes ambientales de la salud. Edición 2011. Serie: Temas de salud ambiental N° 5
- Atilio de la Orden, E. (2010). Serie didáctica realizada para alumnos de las carreras de ingeniería agronómica ingeniería de paisaje facultad de ciencias agrarias unca. *Facultad de Ciencias Agrarias UNCa.*, (Contaminación), 34. Retrieved from <http://www.editorial.unca.edu.ar/Publicaciones/line/Ecologia/imagenes/pdf/007-contaminacion.pdf>
- Aubriot, L., Bonilla, S., y Kruk, C. (2009). Cianobacterias planctónicas: factores que regulan su crecimiento. *Cianobacterias Planctónicas del Uruguay Manual para la identificación y medidas de gestión.*
- Bouvy, M., Molica, R., Oliveira, S., De Marinho, M., y Beker, B. (1999). Dynamics of a toxic cyanobacterial bloom (*Cylindrospermopsis raciborskii*) in a shallow reservoir in the semi-arid region of northeast Brazil. *Aquatic Microbial Ecology.* 20, 285–297.
- Brock *et al.* (1994). Biology of microorganisms. Parametros fisicos: temperatura.

- Caicedo, F. (2015). Evaluación de la dinámica poblacional del fitoplancton con relación a las características físico-químicas del lago altoandinos Yahuarcocha. Tesis de pregrado. Universidad Técnica del Norte.
- Campos, V., Lisperguer, S., Weckesser, J., Vera, A., & Muñoz, D. (2005). Cianobacterias Y Riesgos Potenciales De Toxicidad En Aguas Continentales De Chile. *Boletín Micológico*, 20, 73–81.
- Chalén, N., Coello, D., Cajas Elías, J., y Solís-Coello Aguilar, P. (2011). Mortandad De Peces En La Laguna De Yahuarcocha, Cantón Ibarra, Provincia De Imbabura. Febrero 2003 Mass Mortality of Fishes in the Yahuarcocha Lagoon, Cantón Ibarra, Province Imbabura. February 2003. *Boletín Especial Año*, 2(1), 1–128.
- Chorus, I. y Bartram, J. (1999). Toxic Cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management. E & FN Spon, London. 416p.
- Chorus, I., Falcooner, I, Salas, H y Bartman, J. (1999). Riesgos a la salud causados por cianobacterias y algas de agua dulce en aguas recreacionales.
- Cobo, F. (2015). Métodos de control de las floraciones de cianobacterias en aguas continentales. *Limnetica*, 34 (1): 247-268
- Claret, M., Leiz, E., Ramo, P., De la Sierra, P., y Kieffer, L. (2012). Degradación de microcistina-LR mediante ultrasonido: efecto de la temperatura y el pH. En: XXIX Congreso Argentino de Química, Mar del Plata, 3-5/10/2012
- Cottingham, K., Ewing, H., Greer, M., Carey, C., y Weathers, C. (2015) Cyanobacteria as biological drivers of lake nitrogen and phosphorus cycling. *Ecosphere*. 6(1).
- De León, L. (2002). Floraciones de cianobacterias en aguas continentales del Uruguay: causas y consecuencias. Recuperado de <http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/docs/pdfs/floraciones.pdf>
- Codd, G. A., Morrison, L. F., y Metcalf, J. S. (2005). Cyanobacterial toxins : risk management for health protection, 203, 264–272. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2004.02.016>

- Cremella, B. (2014). Factores involucrados en la expansión de la Cianobacteria *Cylindrospermopsis raciborskii* en el continente americano. Universidad de la República. Montevideo, Uruguay. Tesis de licenciado de bioquímica.
- De la Torre, L., y Acuña, E. (2009). Estadística no paramétrica. Métodos estadísticos no paramétricos. Universidad de Puerto Rico. Recuperado de: <http://www.geociencias.unam.mx/~ramon/MCenP2/Clase9.pdf>
- Echenique, R. y Estevez, J. (2002). Estimación de la biomasa (biovolumen) de algas planctónicas de la laguna Vitel, Buenos Aires, Argentina. *Natura Neotropicalis*. 33 (1y2): 39-46
- Edmondson, W. T., Abella, S. E. B., y Lehman, J. T. (2003). Phytoplankton in Lake Washington: Long-term changes 1950-1999. *Archiv Fuer Hydrobiologie Supplement*, 139(3), 275–326.
- Fernandes, V., Cavati, B., de Oliveira, L., y de Souza, B. (2009). Ecología De Cianobacterias: Factores Promotores E Consequências Das Florações. *Oecologia Australis*, 13(2), 247–258. <https://doi.org/10.4257/oeco.2009.1302.03>
- Figueredo, C. C., y A., A. G. (2009). Limnológica Phytoplankton community in the tropical lake of Lagoa Santa (Brazil): Conditions favoring a persistent bloom of *Cylindrospermopsis raciborskii*. *Limno Logica*, 39(4), 264–272. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2009.06.009>
- Gallo, N. y Apolo, A. (2009). Fundamentos de ficología. Quito.
- Hillebrand *et al.* (1999). Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *J. Phycol.* 35, 403–424.
- Hillborn, E., Roberts, V., Backer, L., De Conno, E., Egan, JS., Hyde, J. (2014) Algal bloom-associated disease outbreaks among users of freshwater lakes—United States, 2009–2010. *MMWR*. 63(1):11–5
- Hudder, A., Song, W., O'shea, K., y Walsh, P. (2007). Toxicogenomic evaluation of microcystin-LR treated with ultrasonic irradiation, en: *Toxicology and applied pharmacology*, 220(3):357-364

- Ibelings, B., Fastner, J., Bormans, M., y Visser, P. (2016). Erratum to: Cyanobacterial blooms. Ecology, prevention, mitigation and control: Editorial to a CYANOCOST Special Issue (Aquat Ecol, (2016), 50, (327-331), 10.1007/s10452-016-9595-y). *Aquatic Ecology*, 50(4), 735. <https://doi.org/10.1007/s10452-016-9600-5>
- Jönk, K., Huisman, J., Sharples, J., Sommeijer, B., Vissier, P., y Stooms, J. (2008). Summer heatwaves promote blooms of harmful cyanobacteria. *Global change Biology*.14, pp 495-512. doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01510.x
- Leps, J., y Smilauer, P. (2003). Multivariate analysis of ecological data using CANNOCO. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Kieffer, L., de la Sierra, P., Devercelli, M., Julio, L., Claret, M., y Leiz, E. (2015). Ensayos en laboratorio para el control de floraciones algales mediante ultrasonido. *Ciencia, Docencia y Tecnología*. 26 (50), ISSN 1851-1716.
- Leclercq, J., Howard, C., Hobson, P., Dickson, S., Zander, C., y Burch, M. (2014). Controlling Cyanobacteria With Ultrasound. *Inter.Noise 2014*, pp(1-10).
- Mischke, U. (2003). Cyanobacteria associations in shallow polytrophic lakes: influence of environmental factors. *Acta Oecologica*. (24). 11-23.
- Molot, L., Watso, S., Creed, I., Trick, S., Mccbe, S., Verschoor, M., Sorichetti, R., Powe, J., Venkiteswaran, J., Schiff, L. (2014). A novel model for cyanobacteria bloom formation: the critical role of anoxia and ferrous iron. *Freshwater Biology*. doi:10.1111/fwb.12334
- Murgel, B. (1969). Hidrobiología aplicada a la Ingeniería Sanitaria. Trad Myriam Mujica. Fac. de Ing Sanitaria Lima-Perú. p. 263-265
- Neil, J., Davis, T., Burford, M., y Gobler, C. (2012). The rise of harmful cyanobacteria blooms : The potential roles of eutrophication and climate change. *Harmful Algae*, (14) 313-334. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2011.10.027>
- Ogashawara, I., Zavattini, J., y Tundisi, J. (2014). The climatic rhythm and blooms of cyanobacteria in a tropical reservoir in São Paulo, Brazil.

- Brazilian. *Journal of Biology*, 74(1), 72-78.
<https://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.17412>
- Otten, T., y Paerl H. (2015). Health Effects of Toxic Cyanobacteria in U.S. Drinking and Recreational Waters: Our Current Understanding and Proposed Direction. *Curr Envir Health Rpt.* (2). Pp 75-84. DOI 10.1007/s40572-014-0041-9.
- Daga, Inés., y Pierotto, M. (2011). Cianobacterias del embalse San Roque (Córdoba, Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 46(3-4), 227-234. Recuperado en 20 de septiembre de 2017, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-23722011000200004&lng=es&tlng=es.
- Padisák, J. (2004). Taxonomy, evolution and ecology of planktonic cyanoprokaryotes, with the example of *Cylindrospermopsis raciborskii*. Institute of Biology, University of Veszprém, H-8200 Veszprém, Hungary
- Schneider, D., Weinrich, A., y Brezinski, S. (2015). Ultrasonic treatment of Algae in a New Jersey Reservoir. <http://dx.doi.org/10.5942/jawwa.2015.107.0149>
- Portilla, K. (2015). “Evaluación del comportamiento de los parámetros físicos del agua, para determinar el estado trófico del lago Yahuarcocha, provincia Imbabura”. Tesis de pregrado. Universidad Técnica del Norte.
- Rapala, J., 1998. Toxin production by freshwater cyanobacteria: effects of environmental factors. *Dissertationes Biocentri Viiki Universitatis Helsingiensis* 9, 1–63.
- Ramírez, J. (1982). El fitoplancton: métodos de muestreo, concentración, recuento y conservación. Recuperado de: http://matematicas.udea.edu.co/~actubiol/actualidadesbiologicas/raba1982v11n3_9art4.pdf
- Reynolds, C., y Walsby, A. (1975). Water-Blooms. *Biological Reviews*, 50(4), 437–481. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1975.tb01060.x>
- Rojas, M. (2003). Técnicas Estadísticas paramétricas y no paramétricas equivalentes: Resultados comparativos por simulación. Guayaquil.

- Escuela superior Politécnica del Litoral. Recuperado de:
http://www.iuma.ulpgc.es/~nunez/mastertecnologiastelecomunicacion/Recursos_Generales/TesisEstadisticaParametricayNoParametrica.pdf
- Rodriguez B, M., y Espinoza, G. (2002). Gestión ambiental en América Latina y el Caribe: evolución, tendencias y principales prácticas, 227. Retrieved from <http://dspace.usalca.cl/handle/1950/2438>
- Rolland, A., Bird, D., y Giani, A. (2005). Seasonal changes in composition of the cyanobacterial community and the occurrence of hepatotoxic blooms in the eastern townships, Québec, Canada. *Journal of Plankton Research*, 27(7), 683–694. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbi042>
- Saelens, P. (2015). Ecological functioning of a eutrophic, high-altitude shallow lake in Ecuador, Laguna Yahuarcocha. Tesis de masterado. K.U. Leuven, Kulak
- Samanez, I., Rimarachin, V., Palma, C., y Ortega, H. (2014). Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú.
- Schneider, O, Winrich, L., y Brezinski, S. (2015). Ultrasonic treatment of algae in a New Jersey Reservoir. Expanded Summary. <http://dx.doi.org/10.5942/jawwa.2015.107.0149>
- Schwoerbel, J. (1975). Métoos de hidrobiología. (Trad. Fco Haering). P.H Blume ed. Madrid 262 pp.
- Sonic Solutions. (2009). Recuperado de:
<http://www.sonicsolutionsllc.com/sonicsolutions-llc-price-list/>
- Song, W.; Teshiba, T.; Rein, K.; O'shea, K. (2005). Ultrasonically induced degradation and detoxification of microcystin-LR (cyanobacterial toxin), en: *Environmental Science & Technology*, 39(16):6300-6305.
- Soo-Je, P., Byoung-Joon, P., Vinh Hoa, P., Dae-No, Y., Si-Kwan, K y Sung-Keun R. (2008) Microeukaroiotyc diversity in marine environments, an analysis of surface layer sediments from the East sea. *The journal of Microbiology*. (46) 3 (244-249).
- Stewarti. *et al.* Toxic Cyanobacteria - final published - 2011.pdf. (n.d.).

- Tingfeng, W., Quin, B., Zhu, G., Luo, L., Ding, Y., y Bian, G. (2013). Dynamics of cyanobacterial bloom formation during short-term hydrodynamic fluctuation in a large shallow, eutrophic, and wind-exposed Lake Taihu, China. *Environmental Science and Pollution Research*. (20), 12, pp (8546-8556).
- Torné, E., y Zara, C. (2011). Colaboración Especial, 449–458.
- Vasconcelos, V. (1995). Toxicología de cianobacterias. *Society*.
- Wang, H., Zhang, Z., Liang, D., du, H., Pang, Y., Hu, K., y Wang, J.(2016). Separation of wind's influence on harmful cyanobacterial blooms. *Water res*. DOI:10.1016/j.watres.2016.04.037
- Walsby, A., (1994). Gas vesicles. *Microbiol. Rev.* 58, 94–144.
- Wong, WSD y Lee, J. (2005). Statistical analysis of geographic information with ArcView GIS and ArcGIS. Hoboken, N.J.: Wiley.
- Wurtsbaugh, W., Vincent, W. F., Vincent, C., Carney, H., Richerson, J., y Lazzaro, X. (1991). Nutrientes y su limitación del crecimiento del fitoplancton. *El Lago Titicaca: Síntesis Del Conocimiento Actual*, 161–175.
- Zalocar, Y., Forastier, M. (2005). Cyanophyceae (Cyanobacteria) del nordest argentino: distribución y diversidad. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas* 2005. Resumen: B-038: 25-29.

ANEXOS

Anexo I. Fichas de registro de datos mensuales de los parámetros fisicoquímicos

N°	Fecha	Referencia	Nombre	T°C	OD mg/L	pH	Profundidad (m)	D. Secchi (cm)	Condiciones Climáticas	Coordenadas	
1	01 Marzo 2016	Muelle Nuevo	YAH-1	21,3	141,3	8,72	1,8	0,22	Parcialmente nublado	822250;10041602	
2		P. Trat	YAH-2	22,3	9,58	8,09	1,1	0,18	Parcialmente nublado	823043;1004074	
3		P. Prof	YAH-3	21,4	10,06	8,95	0,50	0,21	Parcialmente nublado	822290;10040688	
					21,1	7,82	8,78	1			
					21,4	7,11	8,9	2			
					20,9	5,56	8,66	3			
					20,8	4,59	8,58	4			
					20,6	3,19	8,51	5			
					20,6	2,77	8,45	6			
4			Dorm Aves	YAH-4	21,1	73,8	8,79	2,1	0,22	Parcialmente nublado	821888;10041862

Febrero 2016

N°	Fecha	Referencia	Nombre	T°C	OD mg/L	pH	Profundidad (m)	D. Secchi (cm)	Condiciones Climáticas	Coordenadas	
1	01 Marzo 2016	Muelle Nuevo	YAH-1	21,1	6,41	8,52	3,6	0,33	Parcialmente nublado	822250;10041602	
2		P. Trat	YAH-2	21,6	8,67	8,71	1,6	0,18	Parcialmente nublado	823043;1004074	
3		P. Prof	YAH-3	21,7	8,78	8,73	0,5	0,23	Parcialmente nublado	822290;10040688	
					21,5	8,21	8,71	1			
					21,1	5,31	8,63	2			
					20,9	4,26	8,56	3			
					20,8	2,25	8,47	4			
					20,7	1,03	8,39	5			
					20,7	0,64	8,35	6			
4			Dorm Aves	YAH-4	21,2	5,62	8,62	2,1	0,23	Parcialmente nublado	821888;10041862

Marzo 2016

N°	Fecha	Referencia	Nombre	T°C	OD mg/L	pH	Profundidad (m)	D. Secchi (cm)	Condiciones Climáticas	Coordenadas	
1	01 Marzo 2016	Muelle Nuevo	YAH-1	22,1	5,97	8,62	3,1	0,23	Parcialmente nublado	822250;10041602	
2		P. Trat	YAH-2	22,8	8,89	8,65	1,4	0,18	Parcialmente nublado	823043;1004074	
3		P. Prof	YAH-3	22,7	11,25	8,74	0,50	0,25	Parcialmente nublado	822290;10040688	
					22	5,84	8,59	1			
					22	4,82	8,56	2			
					21,9	4,29	9,53	3			
					21,8	2,9	8,48	4			
					21,7	0,62	8,36	5			
					21,7	0,57	8,29	6			
4			Dorm Aves	YAH-4	25	7,23	8,61	1,6	0,23	Parcialmente nublado	821888;10041862

Abril 2016

N°	Fecha	Referencia	Nombre	T°C	OD mg/L	pH	Profundidad (m)	D. Secchi (cm)	Condiciones Climáticas	Coordenadas	
1	01 Marzo 2016	Muelle Nuevo	YAH-1	24,3	9,93	8,69	2,5	0,215	7/8 nublado	822250;10041602	
2		P. Trat	YAH-2	21,1	8,05	8,61	1,3	0,185	7/8 nublado	823043;1004074	
3		P. Prof	YAH-3	21,5	5,92	8,48	0,50	0,18	7/8 nublado	822290;10040688	
					21,5	5,54	8,49	1			
					21,5	5,05	8,46	2			
					21,5	3,82	8,46	3			
					21,3	3,21	8,41	4			
					21	2,62	8,38	5			
					21	2,56	8,32	6			
4			Dorm Aves	YAH-4	21,5	5,92	8,48	0,17	0,17	7/8 nublado	821888;10041862

Mayo 2016

N°	Fecha	Referencia	Nombre	T°C	OD mg/L	pH	Profundidad (m)	D. Secchi (cm)	Condiciones Climáticas	Coordenadas	
1	01 Marzo 2016	Muelle Nuevo	YAH-1	20,3	7,9	8,06	2,8	0,3	7/8 nublado	822250;10041602	
2		P. Trat	YAH-2	20,2	6,97	8,45	1,3	0,3	7/8 nublado	823043;1004074	
3		P. Prof	YAH-3	20,1	6,51	8,67	0,50	0,3	7/8 nublado	822290;10040688	
					19,8	6,04	8,68	1			
					19,8	5,96	8,58	2			
					19,8	5,85	8,55	3			
					19,7	5,77	8,47	4			
				19,6	5,37	8,43	5				
				19,7	5,52	8,45	6				
4		Dorm Aves	YAH-4	20,6	8,61	7,35	1,9	0,29	7/8 nublado	821888;10041862	

Junio 2016

N°	Fecha	Referencia	Nombre	T°C	OD mg/L	pH	Profundidad (m)	D. Secchi (cm)	Condiciones Climáticas	Coordenadas	
1	01 Marzo 2016	Muelle Nuevo	YAH-1	19,4	8,1	8,54	2,1	0,3	6/8 nublado	822250;10041602	
2		P. Trat	YAH-2	20,1	6,46	7,22	1,8	0,3	6/8 nublado	823043;1004074	
3		P. Prof	YAH-3	19,2	5,26	7,8	0,5	0,3	5/8 nublado	822290;10040688	
					19,3	5,96	8,41	1			
					19,2	5,18	8,4	2			
					19,0	4,58	8,39	3			
					19,0	4,33	8,39	4			
				19,0	4,26	8,4	5				
				19,0	3,92	8,45	6				
4		Dorm Aves	YAH-4	19,3	7,48	8,44	2	0,325	5/8 nublado	821888;10041862	

Julio 2016

N°	Fecha	Referencia	Nombre	T°C	OD mg/L	pH	Profundidad (m)	D. Secchi (cm)	Condiciones Climáticas	Coordenadas	
1	01 Marzo 2016	Muelle Nuevo	YAH-1	20,1	4,08	9,55	1,7	0,27	Parcialmente nublado 1/8	822250;10041602	
2		P. Trat	YAH-2	21,1	4,63	9,8	1,5	0,27	Parcialmente nublado 2/8	823043;1004074	
3		P. Prof	YAH-3	20,2	5,16	9,93	0,50	0,27	Parcialmente nublado 2/8	822290;10040688	
					20,1	3,98	9,84	1			
					20	3,7	9,59	2			
					19,8	3,49	9,96	3			
					19,7	3,2	9,95	4			
				19,7	3	9,94	5				
				19,7	1,78	9,85	6				
4		Dorm Aves	YAH-4	21	3,87	9,90	1,8	0,27	Parcialmente nublado 2/8	821888;10041862	

Agosto 2016

N°	Fecha	Referencia	Nombre	T°C	OD mg/L	pH	Profundidad (m)	D. Secchi (cm)	Condiciones Climáticas	Coordenadas	
1	01 Marzo 2016	Muelle Nuevo	YAH-1	20,5	4,53	8,31	2,9	0,3	Parcialmente nublado 2/8	822250;10041602	
2		P. Trat	YAH-2	22,1	4,08	7,97	1,3	0,25	Parcialmente nublado 2/8	823043;1004074	
3		P. Prof	YAH-3	22	5,59	10,02	0,50	0,24	Parcialmente nublado 2/8	822290;10040688	
					20,2	3,84	10,02	1			
					20,1	3,08	9,97	2			
					20,1	2,45	9,96	3			
					20,1	2,94	9,95	4			
				20,1	2,99	9,95	5				
				20	2,71	9,92	6				
4		Dorm Aves	YAH-4	20,5	4,41	9,9	1,6	0,29	Parcialmente nublado 2/8	821888;10041862	

Septiembre 2016

N°	Fecha	Referencia	Nombre	T°C	OD mg/L	pH	Profundidad (m)	D. Secchi (cm)	Condiciones Climáticas	Coordenadas	
1	01 Marzo 2016	Muelle Nuevo	YAH-1	22,7	7,66	9,95	1,9	0,33	Parcialmente nublado 5/8	822250;10041602	
2		P. Trat	YAH-2	23	4,19	9,5	1,7	0,25	Parcialmente nublado 4/8	823043;1004074	
3		P. Prof	YAH-3	23	8,67	9,7	0,50	0,36	Parcialmente nublado 6/8	822290;10040688	
					21,5	6,28	9,62	1			
					21,4	5,4	9,6	2			
					21,3	4	9,54	3			
					20,9	2,2	9,45	4			
					20,7	1,11	9,39	5			
					20,8	0,98	9,27	6			
4			Dorm Aves	YAH-4	21,5	4,03	8,9	1,5	0,32	Parcialmente nublado 6/8	821888;10041862

Octubre 2016

N°	Fecha	Referencia	Nombre	T°C	OD mg/L	pH	Profundidad (m)	D. Secchi (cm)	Condiciones Climáticas	Coordenadas	
1	01 Marzo 2016	Muelle Nuevo	YAH-1	22,2	4,48	8,98	3,6	0,28	Despejado	822250;10041602	
2		P. Trat	YAH-2	22,4	3,71	9,8	1,2	0,27	Despejado	823043;1004074	
3		P. Prof	YAH-3	22	4,17	9,5	0,50	0,33	Despejado	822290;10040688	
					21,7	2,99	9,3	1			
					21,7	2,84	8,94	2			
					21,6	2,73	8,91	3			
					21,7	2,58	8,85	4			
					21,3	1,48	8,86	5			
					21,4	1,09	8,71	6			
4			Dorm Aves	YAH-4	23	5,15	9,17	4	0,34	Despejado	821888;10041862

Noviembre 2016

N°	Fecha	Referencia	Nombre	T°C	OD mg/L	pH	Profundidad (m)	D. Secchi (cm)	Condiciones Climáticas	Coordenadas	
1	01 Marzo 2016	Muelle Nuevo	YAH-1	22,4	0,95	8,66	3	0,49	Parcialmente nublado 6/8	822250;10041602	
2		P. Trat	YAH-2	22,4	4,71	8,67	1	0,475	Parcialmente nublado 5/8	823043;1004074	
3		P. Prof	YAH-3	22,4	5,25	8,61	0,50	0,5	Parcialmente nublado 6/8	822290;10040688	
					21,9	3,8	8,64	1			
					21,8	2,8	8,59	2			
					21,7	1,37	8,5	3			
					21,5	0,71	8,42	4			
					21,3	0,4	8,36	5			
					21,2	0,25	8,05	6			
4			Dorm Aves	YAH-4	23,5	3,99	8,18	1,6	0,48	Parcialmente nublado 5/8	821888;10041862


Diciembre 2016

N°	Fecha	Referencia	Nombre	T°C	OD mg/L	pH	Profundidad (m)	D. Secchi (cm)	Condiciones Climáticas	Coordenadas	
1	01 Marzo 2016	Muelle Nuevo	YAH-1	22,4	0,95	8,66	3	0,49	nublado 8/8	822250;10041602	
2		P. Trat	YAH-2	22,4	4,71	8,67	1	0,475	nublado 8/8	823043;1004074	
3		P. Prof	YAH-3	21,2	5,48	8,62	0,50		nublado 8/8	822290;10040688	
					21	4,75	8,67	1			
					20,9	3,58	8,63	2			
					20,8	3,51	8,65	3			
					20,7	1,84	8,57	4			
					20,5	1,23	8,51	5			
					20,4	1,48	8,47	6			
4			Dorm Aves	YAH-4	21,5	3,94	8,5	1,6		nublado 8/8	821888;10041862

Enero 2017

Anexo 2. Ficha de registro de datos para el componente Clorofila *a* in vivo

MES	REFERENCIA	COORDENADAS	CLOROFILA	OBSERVACIONES
Febrero 2016	P. Profundo	822250;10041602	0,1229	
Marzo 2016	P. Profundo	823043;1004074	0,1445	
Abril 2016	P. Profundo	822290;10040688	0,1285	Lluvia
Mayo 2016	P. Profundo	822290;10040688	0,1567	
Junio 2016	P. Profundo	822290;10040688	0,1484	
Julio 2016	P. Profundo	822290;10040688	0,1953	
Agosto 2016	P. Profundo	822290;10040688	0,1014	
Septiembre 2016	P. Profundo	822290;10040688	0,1324	Florecimiento de cianobacterias
Octubre 2016	P. Profundo	821888;10041862	0,0873	Florecimiento de cianobacterias
Noviembre 2016	P. Profundo	822290;10040688	0,2300	
Diciembre 2016	P. Profundo	822290;10040688	0,0784	Lluvia
Enero 2017	P. Profundo	822290;10040688	0,1203	



U N I V E R S I D A D T É C N I C A D E L N O R T E

Microcystis smithii

Komárek y Anagnostidis

División: Cyanobacteria
Orden: Chroococcales
Familia: Microcystaceae

Descripción

1. Colonias de esféricas a irregulares en su estado de reproducción.
2. Colonias observadas en 3 planos y con presencia de mucilago alrededor de la colonia.
3. Células con aerotopos distribuidas espacialmente, rara vez formando aglomeraciones abruptas.
4. Células de 2,89-4,48 µm de diámetro.
5. Imagen 10X del complejo *Microcystis*, *Sphaerocavum*, *Coleosphaerium*.

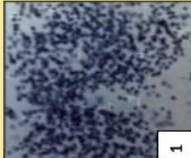

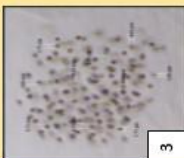


- Las imágenes 1, 2, 3 y 4 se encuentra a una escala de 10 µm.

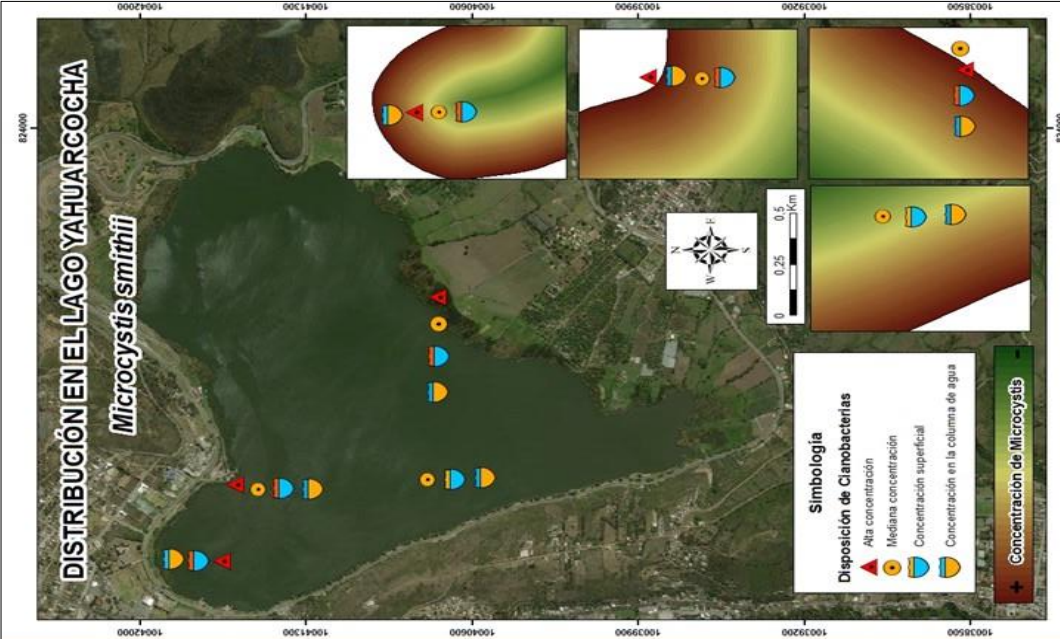
Distribución


En el lago Yahuarcocha *Microcystis smithii* se encuentra distribuida de forma superficial y cada uno de los puntos de muestreo conformando floraciones en las orillas.

Toxina	Efecto	Dosis letal
Microcisticinas	Hepatotóxica	25 – 150 µg /kg

Fernanda et al. (2005) y Sivonen & Jones (1999)





UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Sphaerocavum brasiliense

M.T.P Azevedo y C.L. Sant'Anna

División: Cyanobacteria
Orden: Chroococcales
Familia: Microcystaceae

Descripción

1. Colonias huecas de forma esférica en un estado joven, amorfa e irregular en estado maduro.
2. Macilago hialino.
3. Células de 2,4 a 3,07 µm de diámetro
4. Aglomeración de *Sphaerocavum brasiliense* visto desde el microscopio en un lente de 10X


-Los gráficos tienen una escala de 10 µm.

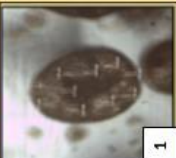
Distribución

En el lago Yahuarcocha esta especie se encuentra formando floraciones en las orillas y presente en los puntos de monitoreo. Suele confundirse con especies del género *Microcystis*. Es el primer registro de esta especie para el lago Yahuarcocha.

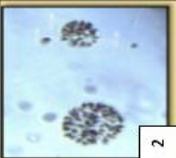
Toxina
Sin registro

Fernandes et al. (2005) y
 Sivonen & Jones (1999)

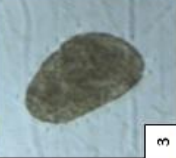




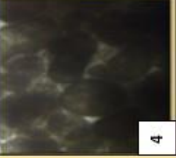
1



2



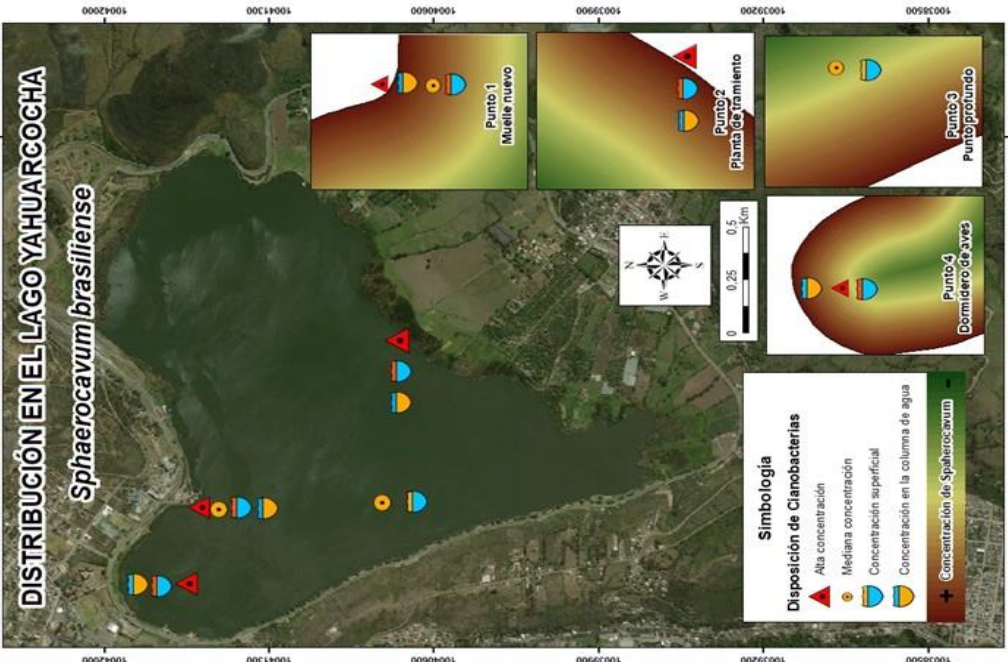
3



4

DISTRIBUCIÓN EN EL LAGO YAHUARCOCHA


Sphaerocavum brasiliense



Simbología

Disposición de Cianobacterias

- ▲ Alta concentración
- Mediana concentración
- ◐ Concentración superficial
- ◑ Concentración en la columna de agua
- + Concentración de *Sphaerocavum*



Cylindrospermopsis raciborskii

Seenayya & Subba Raju 1972

División: Cyanobacteria
Orden: Nostocales
Familia: Nostocaceae

Descripción

1. Tricomas alargados, levemente espiralados o curvos sin ramificaciones y constituidos por una vaina mucilagínosa.
2. Tricomas con aerotopos de 140,9 µm de longitud y 4,11 µm.
2. Célula apical de forma acuminada
3. Heterocitos de forma cónica de 7,72 µm de longitud
3. Acinetos ubicados de forma distante de 3,79 µm de diámetro y 9,97 µm de longitud.

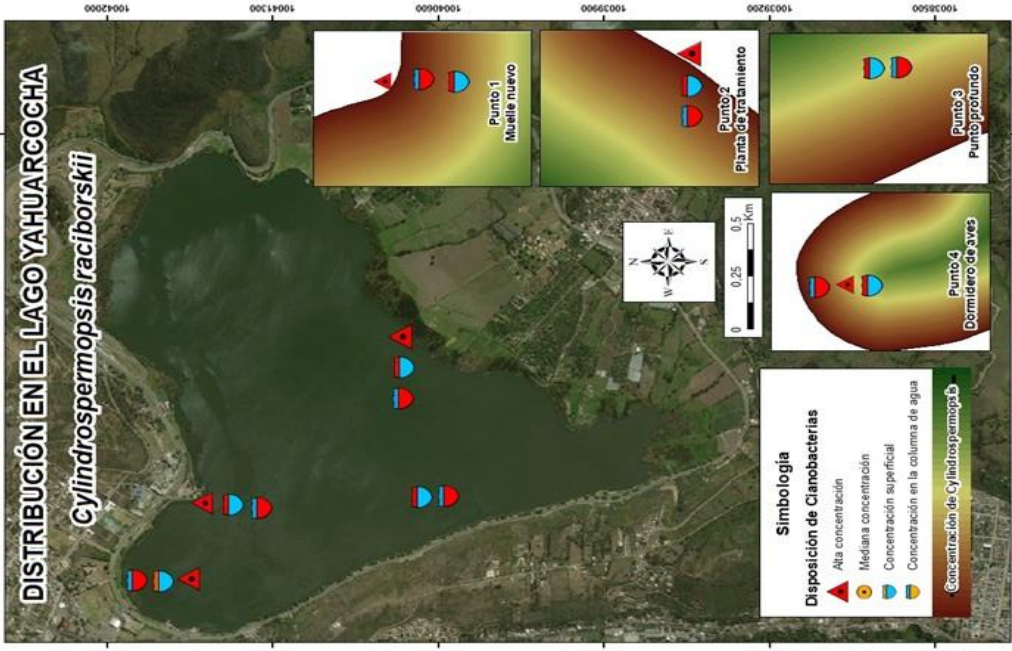
-Los gráficos tienen una escala de 10 µm.


Distribución

En el lago Yahuarcocha se encuentra distribuida de forma espacial abarcando todo el espejo de agua.
 Presenta floraciones en las orillas del lago


DISTRIBUCIÓN EN EL LAGO YAHUARCOCHA

Cylindrospermopsis raciborskii

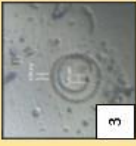




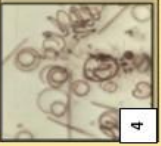
1



2




3




4

Toxinas	Efecto	Dosis letal
Cylindrospermopsina	Hepatotóxica	2,0 mg/kg (24 horas) 0,2 mg/kg (5-6 días)

Fernández et al. (2005) y Sivonen & Jones (1999)



U N I V E R S I D A D T É C N I C A D E L N O R T E



Dolichospermum sp



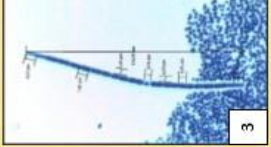
Komárek y Anagnostidis

División: Cyanobacteria
Orden: Nostocal
Familia: Nostocaceae

Descripción


1. Tricomas solitarios, espiralados y con presencia de mucilago.
2. Filamentos con presencia de heterocistas de 4,94-7,88 µm
3. Células en forma cilíndrica, rara vez con presencia de heterocitos y acinetos por lo que es más compleja su identificación.

-La imagen se encuentra a una escala de 10 µm.

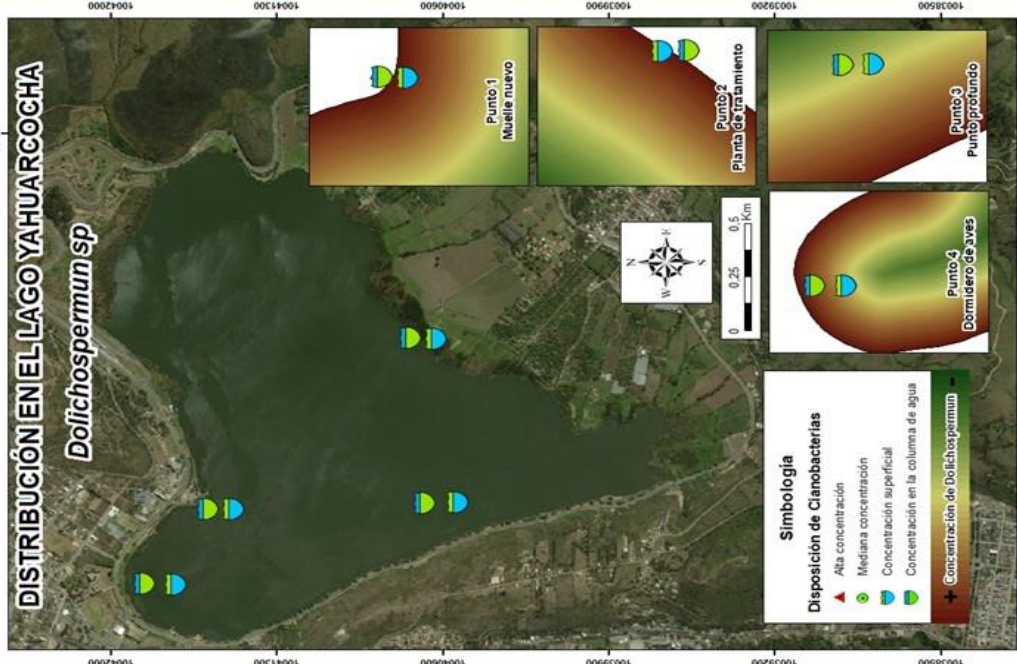
Distribución

-Su presencia en el lago es permanente, ocupando el espejo de agua sin registrar floraciones.



Distribución en el Lago Yahuarcocha

Dolichospermum sp



Simbología

Disposición de Cianobacterias

- ▲ Alta concentración
- Mediana concentración
- Concentración superficial
- Concentración en la columna de agua
- + Concentración de *Dolichospermum*

Puntos de Muestra:

- Punto 1: Muestra nuevo
- Punto 2: Planta de tratamiento
- Punto 3: Punto profundo
- Punto 4: Comedero de aves

0 0.25 0.5 Km

Toxina	Efecto	Dosis letal
Microcistinas	Hepatotóxica	25 a 150 µg/kg
Anatoxina-a	Neurotóxica	200 µg/kg
Anatoxina-a(s)	Neurotóxica	20 µg/kg
Saxitoxina	Neurotóxica	10 µg/kg

Fernandes et al. (2005) y Sivonen & Jones (1999)

U N I V E R S I D A D T É C N I C A D E L N O R T E

Pseudoanabaena sp

Komárek y Anagnostidis

División: Cyanobacteria
Orden: Nostocal
Familia: Nostocaceae

Descripción

1. Tricomas solitarios y fragmentados dispuestos de forma recta.
2. No presentan ápices atenuados.
3. Sus segmentos son más largos que anchos con segmentos de 5,83 – 11,7 µm de longitud y 1,80 – 3,46 µm de ancho

-Los gráficos tienen una escala de 10 µm.

Distribución

Se encuentran distribuidos en el lago de forma regular formando asociaciones con *Cylindrocapsa* raciborskii y cianobacterias del género *Dolichospermum*.

DISTRIBUCIÓN EN EL LAGO YAHUARCOCHA

Pseudoanabaena sp

Simbología

Disposición de Cianobacterias

- ▲ Alta concentración
- Mediana concentración
- Concentración superficial
- Concentración en la columna de agua

+ Concentración de *Pseudoanabaena*

1


2

3

Toxina	Efecto	Dosis letal
Microcistinas	Hepatotóxica	25 a 150 µg/kg
Anatoxina-a	Neurotóxica	200 µg/kg
Anatoxina-a(s)	Neurotóxica	20 µg/kg
Saxitoxina	Neurotóxica	10 µg/kg

Fernandes et al. (2005) y Sivonen & Jonas (1999)





Chroococcus limneticus

Komárek y Anagnostidis


División: Cyanobacteria
Orden: Nostocales
Familia: Nostocaceae


Descripción


-Células de semiovaladas de largo 8,68 de longitud y un de ancho 4,21 μm
 -Las fotografías obtenidas tienen escala 10 μm .
 -Este género posee mucilago hialino alrededor de sus células, que forman una especie de conjunto agrupándose en pares o en ciertos casos agrupaciones mayores de hasta 14 células.


Distribución


Este género se encuentra distribuido en la columna de agua y no se encuentra formando floraciones, más aún es encuentra distribuido en el 90 % de la cubeta lacustre.












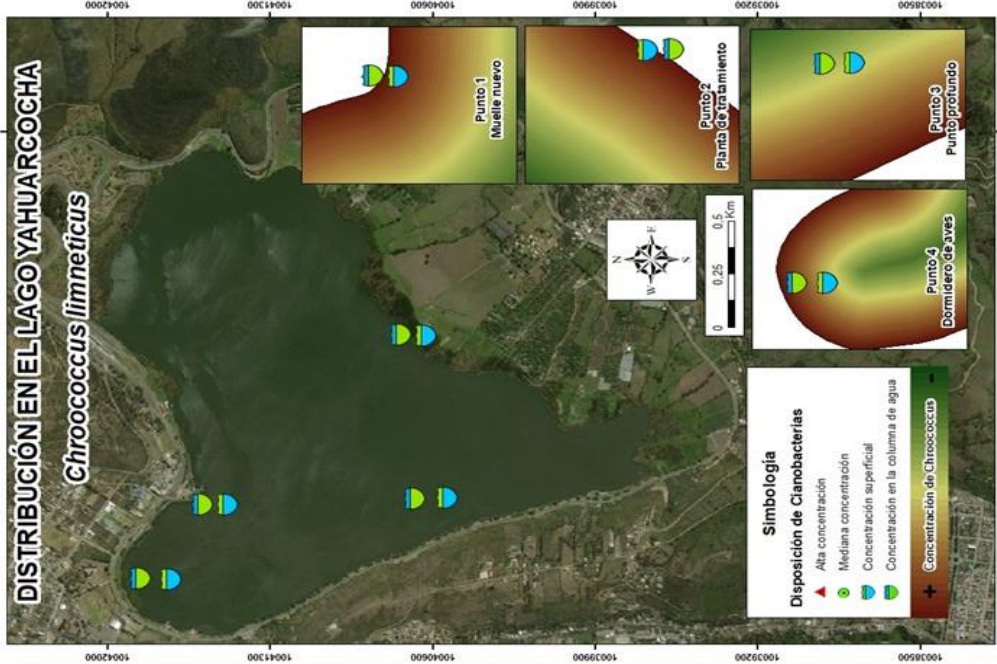
1




2

Toxina	Efecto	Dosis letal
Lipopolisacáridos	Piel Tracto gastrointestinal	No registrado

Fernández et al. (2005) y Sivonen & Jones (1999)





Merismopedia punctata

Meyen 1839

División: Cyanobacteria
Orden: Chroococcales
Familia: Merismopediaceae

Descripción

1. Colonias de forma rectangular conformadas de 64 células, dispuestas en filas
1. Se encuentran provistas de mucilago hialino que separa una colonia de otra.
2. Células elipsoidales a hemisféricas de 1,98 a 2,36 µm de diámetro.
2. Contenido de color verde azulado de forma homogénea y desprovisto de aerotoxos

-La imagen se encuentra a una escala de 10 µm.

Distribución

-Especie de recurrencia temporal en el lago Yahuarcocha

Toxina

Lipopolisacáridos

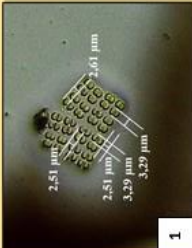
Efecto

Piel
Tracto gastrointestinal

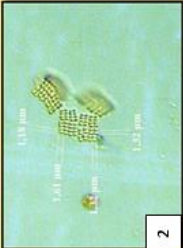
Dosis letal

No registrado

Fernandes et al. (2005) y Sivoman & Jonas (1999)



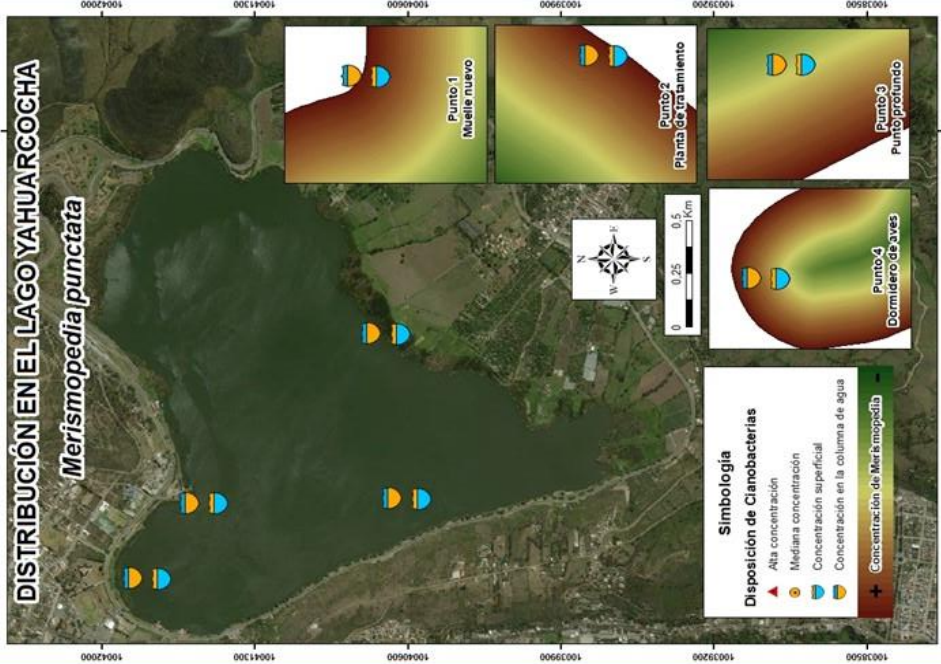
1

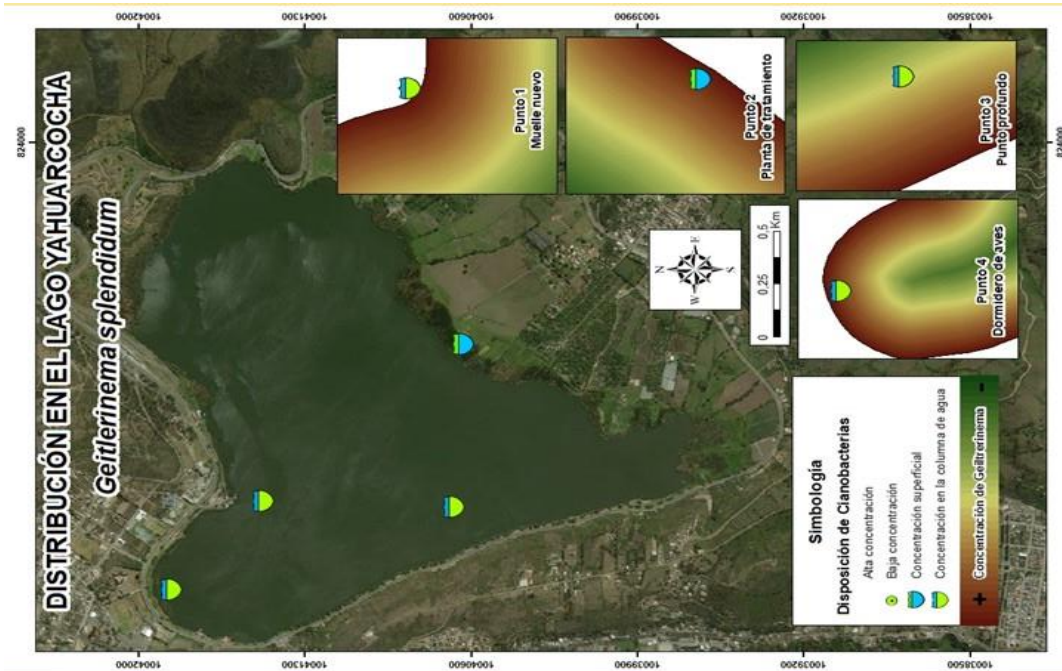



2

DISTRIBUCIÓN EN EL LAGO YAHUARCOCHA

Merismopedia punctata







Geitlerinema splendium
Anagnostidis 1989

Filo: Cyanobacteria
Orden: Oscillatoriales
Familia: Coleofasciculaceae

Descripción

1. Tricomas solitarios dispuestos de forma recta o medianamente flexuosos.
-Tricomas de 2,10-2,0410 μm de diámetro
-Segmentos de 7,38-9,51 10 μm de longitud.
-Apices de forma atenuada
-Células sin presentar aerotopos.
-Los gráficos tienen una escala de 10 μm.

Distribución:

En el lago Yahuarcocha esta especie no presenta floraciones y se encuentra distribuido en el lago de forma irregular, no encontrándose fácilmente. Puede ser confundida con cianobacterias del género Pseudoanabaena, sin embargo, las características de las células apicales indican la diferencia ti

Simbología

Disposición de Cianobacterias

- Alta concentración
- Baja concentración
- Concentración superficial
- Concentración en la columna de agua

Concentración de Geitlerinema

- +

Toxina

Lipopolisacáridos

Efecto

Piel
Tracto gastrointestinal

Fernández et al. (2005) y Sivonen & Jones (1999)

Coelosphaerium sp

Komárek y Anagnostidis

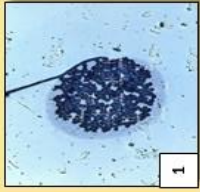
División: Cyanobacteria
Orden: Nostocales
Familia: Nostocaceae

Descripción

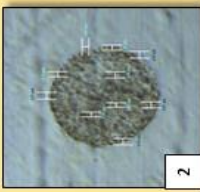
1. Este género presenta un nivel celular colonial, mismo que se encuentra formado por células que forman anillos distribuidos hacia el centro.
 Las células que forman la colonia pueden llegar a medir 3,18 -4,52 µm de diámetro.
 2. Las células que se encuentran en la periferia son de mayor tamaño que aquellas que se encuentran en el centro de la colonia.
 3. Poseen almidón debido a su función con lugol y una delgada capa mucilagínosa hialina que cubre el cenobio.
 Las fotografías tomadas se obtuvieron en una escala de 10µm.

Distribución

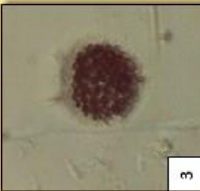
Se encuentra formando floraciones en conjunto con cianobacterias de los géneros *Sphaerocavum* y *Microcystis*, en las orillas del lago Yahuarcocha ti



1



2



3

Toxina

Lipopolisacáridos


Efecto


Piel
Tracto gastrointestinal


Dosis letal

No registrado

Fernandez et al. (2005) y Sivonen & Jonas (1999)









U N I V E R S I D A D T É C N I C A D E L N O R T E

DISTRIBUCIÓN EN EL LAGO YAHUARCOCHA


Coelosphaerium sp



Simbología


Disposición de Cianobacterias

- ▲ Alta concentración
- Mediana concentración
- Concentración superficial
- Concentración en la columna de agua
- + Concentración de *Coelosphaerium*



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Anabaenopsis sp.
Komárek y Anagnostidis



Descripción

1. Este género presenta células vegetativas en sus extremos.
 Posee un solo alelo polar.
 Posee células cuya medida se encuentra en un rango de 3,85 – 4,86 μm.
 Posee vaina mucilagínosa hialina

Distribución

No se encuentra distribuida de forma espacial en Yahuarcocha. Es posible encontrada en la zona fótica del lago en las orillas formando floraciones en complejo con los géneros Dolichospermum y Pseudonabaena.

Toxina	Efecto
Lipopolisacáridos	Piel Tracto gastrointestinal

Fernandes et al. (2005) y Sivonen & Jones (1999)

