



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

SEDE
ESMERALDAS

ESCUELA DE GESTIÓN AMBIENTAL

TESIS DE GRADO

**CALIDAD DEL AGUA DE PISCINAS MINERAS
AURIFERAS ABANDONADAS EN LA PARROQUIA
SELVA ALEGRE MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LA
COMUNIDAD FITOPLANCTONICA**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE
INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

AUTORA

MARÍA JOSÉ NAZARENO MERA

ASESOR

MGT. EDUARDO REBOLLEDO

Esmeraldas – Mayo, 2021

Trabajo de tesis aprobado luego de haber dado cumplimiento a los requisitos exigidos por el reglamento de grado de la PUCESE previo a la obtención del título de INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL.

Presidente Tribunal de Graduación

Lector 1

PhD. Ignacio Carazo Ortega

Lector 2

PhD. Jon Molinero

Mgt. Karla Solis

Director de la Escuela de Gestión Ambiental

Mgt. Eduardo Rebolledo

Director de Tesis

Esmeraldas,..... de..... de 2021

AUTORÍA

Yo, María José Nazareno Mera, declaro que la presente investigación enmarcada en el actual trabajo de tesis es absolutamente original, auténtica y personal.

En virtud que el contenido de esta investigación es de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor y de la PUCESE.

María José Nazareno Mera

C.I. 171852451-3

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida personal y profesional, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis estudios.

A mis padres, Saidie Mera y Ángel Nazareno, por ser mis pilares fundamentales y por haberme apoyado incondicionalmente, pese a los inconvenientes que se presentaron.

Agradezco a mis docentes de la Escuela de Gestión Ambiental de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de mi profesión, de manera especial, al Mgt. Eduardo Rebolledo, asesor de mi tesis, quien me ha guiado con paciencia, no solo en la elaboración de este trabajo de investigación, sino a lo largo de mi carrera universitaria.

DEDICATORIA

Esta investigación se la dedico con todo respeto y cariño a mis padres, Ángel Nazareno y Saidie Mera y a mis hermanas Celeste Nazareno y Gabriela Nazareno, quienes me han acompañado a lo largo de mi carrera profesional.

Y a mis queridos tíos, Rocío Mera y Oswaldo Criollo, que han estado presente y me han apoyado en cada obstáculo de mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AUTORÍA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA	v
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Presentación del Tema	1
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Justificación	4
1.4 DELIMITACION DE OBJETIVOS.....	6
2 MARCO TEORICO.....	7
2.1 Bases teóricas	7
2.1.1 El Agua.....	7
2.1.2 La calidad del agua.....	8
2.1.3 Minería en el norte de Esmeraldas	12
2.2 Antecedentes de estudio.....	14
2.3 Marco legal	16
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
3.1 Área de estudio.....	20
3.2 Fase de campo	22
3.2 Descripción parámetros físicos-químicos de la columna de agua contenida en piscinas mineras abandonadas de la parroquia Selva Alegre	23
3.3 Cuantificación la comunidad fitoplanctónica <i>fitoplancton</i>	23
3.3.1 Estimación de abundancia fitoplanctónica	25
3.3.2 Estimación de Índices fitoplanctónicas.....	27
3.4 Interpretación de la integración de variables fisicoquímicos y descriptivos ecológicos de la comunidad Fitoplanctónica mediante el uso de análisis multivariado	30

4. RESULTADOS.....	32
4.1 Descripción de los parámetros fisicoquímicos de agua contenida en piscinas mineras abandonadas	32
4.1.1 Caracterización de las piscinas mineras	32
4.1.2 Precipitación	35
4.1.3 Temperatura	36
4.1.4 pH del agua	37
4.1.5 Conductividad eléctrica	38
4.1.6 Turbidez	39
4.2 <i>Cuantificación la comunidad fitoplanctónica desarrollada en las piscinas mediante el levantamiento de descriptivos ecológicos e índice de calidad basados en fitoplancton</i>	40
4.2.1 ABUNDANCIA	45
4.2.2 RIQUEZA.....	46
4.2.3 INDICES DE DIVERSIDAD	47
4.2.3 Interpretación de la integración de variables fisicoquímicas y descriptivos ecológicos de la comunidad Fitoplanctónica de piscinas mediante el uso de análisis multivariados.....	50
5. DISCUSIÓN	89
6. CONCLUSIONES	97
7. RECOMENDACIONES	98
8. BIBLIOGRAFÍA.....	99
9. ANEXOS.....	107

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Etapas del proceso minero aurífero.....	13
Tabla 2. Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios	18
Tabla 3. Clasificación de calidad de agua I.D.G	29
Tabla 4. Valores de referencia para géneros cosmopolitas I.D.G	29
Tabla 5. Caracterización de las piscinas mineras abandonadas	32
Tabla 6. Valores promedio morfométricas de las piscinas mineras	35
Tabla 7. Géneros Fitoplanctónicos identificados	41
Tabla 8. Índice compuesto de Nygaard en cada piscina minera.....	49
Tabla 9. Clasificación de calidad de agua I.D.G de las piscinas mineras	50
Tabla 10. Leyenda de los componentes principales	84
Tabla 11. Datos de las piscinas mineras de la comunidad fitoplanctónica en la campaña de Mayo-Noviembre	108
Tabla 12. Tabla de los géneros fitoplanctónicos de las piscinas mineras.....	110
Tabla 13. Tabla de los phyllum fitoplanctónicos de las piscinas mineras	111

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Ilustración 1. Diagrama de la prospección de oro de acuerdo a testimonios de mineros	14
Ilustración 2. Área de estudio	21
Ilustración 3. Diseño de recolección de muestra fitoplanctónica en la piscina minera.....	22
Ilustración 4. Recolección de muestras	23
Ilustración 5. Decantación de la comunidad fitoplanctónica.....	24
Ilustración 6. Conteo e Identificación de la comunidad fitoplanctónica	26
Ilustración 7. Nivel Pluviométrico San Lorenzo 2018- Estación INAMHI	35
Ilustración 8. Temperatura de las piscinas mineras	36
Ilustración 9. Distribución del pH en las piscinas mineras	37
Ilustración 10. Distribución de la conductividad en las piscinas mineras.....	38
Ilustración 11. Distribución de la Turbidez en las piscinas mineras	39
Ilustración 12. Porcentaje del número de individuos de los phyllums fitoplanctónicos contabilizados en las piscinas mineras	42
Ilustración 13. Abundancia general de géneros fitoplanctónicos contabilizadas considerando todas las muestras analizadas durante el estudio	44
Ilustración 14. Abundancia media de los muestreos de Mayo (a) y Noviembre (b)	45
Ilustración 15. Riqueza media de los muestreos de Mayo (a) y Noviembre (b)...	46
Ilustración 16. Índice de Shannon en cada piscina minera	47
Ilustración 17. Índice de Simpson en cada piscina minera	48
Ilustración 18. Índice Diatómico General en cada piscina minera	50
Ilustración 19. Curva de tendencia de la abundancia-temperatura	51
Ilustración 20. Correlación de regresión lineal abundancia-temperatura.....	52
Ilustración 21. Comportamiento de regresión lineal de las variables abundancia-temperatura de las diferentes piscinas mineras	53
Ilustración 22. Curva de tendencia general de la riqueza-temperatura	54
Ilustración 23. Correlación de regresión lineal riqueza-temperatura	55
Ilustración 24. Comportamiento de regresión lineal de las variables riqueza-temperatura de las diferentes piscinas mineras	56
Ilustración 25. Curva de la tendencia general de la abundancia-pH	57
Ilustración 26. Correlación de regresión lineal abundancia-pH	58
Ilustración 27. Comportamiento de regresión lineal de las variables abundancia-pH de las diferentes piscinas mineras	59
Ilustración 28. Curva de la tendencia general de la riqueza-pH.....	60
Ilustración 29. Correlación de regresión lineal riqueza-pH.....	61

Ilustración 30. Comportamiento de regresión lineal de las variables riqueza-pH de las diferentes piscinas mineras	62
Ilustración 31. Curva general de la tendencia de la abundancia-conductividad eléctrica	63
Ilustración 32. Correlación de regresión lineal abundancia- conductividad eléctrica	64
Ilustración 33. Comportamiento de la regresión lineal de las variables abundancia-conductividad eléctrica de las diferentes piscinas mineras	65
Ilustración 34. Curva general de la tendencia de la curva riqueza-conductividad eléctrica	66
Ilustración 35. Correlación de regresión lineal riqueza-conductividad eléctrica...	67
Ilustración 36. Comportamiento de la regresión lineal de las variables riqueza-conductividad eléctrica de las diferentes piscinas mineras.....	68
Ilustración 37. Curva general de la tendencia abundancia-oxígeno disuelto.....	69
Ilustración 38. Correlación de regresión lineal abundancia-oxígeno disuelto	70
Ilustración 39. Comportamiento de la regresión lineal de los variables abundancia-oxígeno disuelto de las diferentes piscinas mineras	71
Ilustración 40. Curva general de la tendencia de la riqueza-oxígeno disuelto.....	72
Ilustración 41. Correlación de regresión lineal riqueza-oxígeno disuelto.....	73
Ilustración 42. Comportamiento de la regresión lineal de las variables riqueza-oxígeno disuelto en las diferentes piscinas mineras.....	74
Ilustración 43. Curva general de la tendencia de la abundancia-profundidad	75
Ilustración 44. Correlación de regresión lineal abundancia-profundidad.....	76
Ilustración 45. Comportamiento de la regresión lineal de las variables abundancia-profundidad de las diferentes piscinas mineras	77
Ilustración 46. Curva general de la tendencia riqueza-profundidad	78
Ilustración 47. Correlación de regresión lineal riqueza-profundidad.....	79
Ilustración 48. Comportamiento de la regresión lineal de las variables riqueza-profundidad de las diferentes piscinas mineras.....	80
Ilustración 49. Curva general de la tendencia riqueza-abundancia.....	81
Ilustración 50. Correlación de regresión lineal riqueza-abundancia	82
Ilustración 51. Comportamiento de la regresión lineal de las variables riqueza-abundancia de las diferentes piscinas mineras	83
Ilustración 52. ACP espacial de la correlación de los parámetros fisico-químico de las piscinas mineras abandonadas, Primer componente (99,01%) y segundo componente (0,13%).....	86
Ilustración 53. ACP espacial de la correlación de los parámetros fisico-químico de las piscinas mineras abandonadas y los géneros fitoplanctónicos, Primer componente (79,51%) y segundo componente (5,94%).....	87

Ilustración 54. CCA espacial de la correlación de los componentes principales de los géneros identificados y los componentes principales de los parámetros físico-químicos, Primer Axis (36,1%) y Segundo Axis (28,07%)	88
Ilustración 55. Anabaena sp.	112
Ilustración 56. Cyclotella sp.	112
Ilustración 57. Ankistrodesmus sp.	112
Ilustración 58. Cymbella sp.	113
Ilustración 59. Chorococcus sp.	113
Ilustración 60. Ceratium sp.	113
Ilustración 61. Closterium sp.	114
Ilustración 62. Diploides sp.	114
Ilustración 63. Cosmarium sp.	114
Ilustración 64. Euglena sp.	115
Ilustración 65. Melosira sp.	115
Ilustración 66. Navícula sp1.	115
Ilustración 67. Navicula sp2.	116
Ilustración 68. Nitzschia sp1.	116
Ilustración 69. Oscillatoria sp.	116
Ilustración 70. Oscinodiscus sp.	117
Ilustración 71. Peridinium sp.	117
Ilustración 72. Pinnularia sp1.	117
Ilustración 73. Pinnularia sp2.	118
Ilustración 74. Scenedesmus sp.	118
Ilustración 75. Spirogyra sp.	118
Ilustración 76. Staurastrum sp.	119
Ilustración 77. Stephanodiscus sp.	119
Ilustración 78. Synedra sp.	119
Ilustración 79. Tabellaria sp.	120
Ilustración 80. Tetraedron caudatum	120
Ilustración 81. Tetraedron mínimum	120
Ilustración 82. Trachelomonas sp.	121
Ilustración 83. Ankistrodesmus densus	121
Ilustración 84. Euastrum sp.	121
Ilustración 85. Chlorogonium sp.	122
Ilustración 86. Desmidium sp.	122
Ilustración 87. Coelastrum sp.	122
Ilustración 88. Nitzschia sp2.	123
Ilustración 89. Surirella sp.	123
Ilustración 90. Micrasterias sp.	123
Ilustración 91. Sphaerosomas sp.	124
Ilustración 92. Staurodesmus sp.	124

Tema: Calidad del agua de piscinas mineras auríferas abandonadas en la parroquia Selva Alegre mediante el análisis de la comunidad fitoplanctónica.

RESUMEN

El estudio se realizó en la parroquia Selva Alegre, ubicado al norte de la provincia de Esmeraldas, pues en este territorio se encuentra localizado varias piscinas mineras abandonadas originadas por la actividad minera ilegal. Esta investigación utilizó la comunidad fitoplanctónica como principal bioi-ndicador para analizar el estado ecológico de cinco piscinas mineras en dos muestreos de mayo-noviembre del 2018. En el proceso de campo se recolectaron 90 muestras en botellas de 1L con formica y se midieron los parámetros físicos-químicos de cada piscina. En el laboratorio se decantaron las muestras con el método Utermorht en columnas de 50ml durante 24 horas, posteriormente se procedió a identificar los géneros fitoplanctónicos con el microscopio; obteniendo los descriptivos de riqueza de especies, abundancia de microalgas, índice de Shannon Weaver e índice de Simpson. Además, se analizaron dos índices de calidad de agua como Índice Compuesto e Índice Diatómico General que determinaron que los cuerpos de agua de las piscinas mineras presentan procesos de eutrofización.

Se identificaron 41 especies pertenecientes a 36 géneros fitoplanctónicos; siendo los de mayor concentración los géneros: *Trachelomonas*, *Peridinium*, *Chorococcus*, *Tetraedron*, *Diploides*, *Scedesmus*, *Anabaena*, *Cosmarium*, *Navícula*, *Coelastrum*, géneros bio-indicadores de eutrofización en los cuerpos de agua.

Palabra clave: fitoplancton, eutrofización, índice, diversidad, calidad

Topic: Water quality of abandoned gold mining pools in Selva Alegre Parish through the analysis of the phytoplankton community.

ABSTRACT

The study was carried out in Selva Alegre Parish, located to the North of the Province of Esmeraldas, since in this territory several abandoned mining pools originated by illegal mining activity are located. This research used the phytoplankton community as main bioindicator to analyze the ecological status of five mining pools in two samplings from May-November 2018. In the field process, 90 samples in 1L bottles with formica were collected and the physical-chemical parameters of each pool were measured. In the laboratory the samples were decanted with the Utermorth method in 50ml columns for 24 hours, then the phytoplanktonic genera were identified with microscope; obtaining descriptive species richness, abundance of microalgae, Shannon Weaver index and Simpson index. Furthermore, two water quality indices were analyzed such as Composite index and the General Diatomic index, which determined that the bodies of water in the mining pools present eutrophication processes.

41 species belonging to 36 phytoplankton genera were identified: being the ones with the highest concentration the genera: *Trachelomonas*, *Peridinium*, *Chlorococcus*, *Tetraedron*, *Diploides*, *Scenedesmus*, *Anabaena*, *Cosmarium*, *Navicula*, *Coelastrum*, genera bioindicators of eutrophication in water bodies.

Key words: phytoplankton, eutrophication, index, diversity, quality

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Presentación del Tema

EL agua es un elemento natural que se ha establecido en el planeta Tierra hace más de 3 000 millones de años, debido a sus características físico-biológicas es considerado como un recurso indispensable para el desarrollo de la vida de los organismos animales y vegetales, incluyendo el ser humano (Echarri, 2007).

El 71% de la superficie del planeta Tierra está conformada por agua, sin embargo, sólo una fracción pequeña de este porcentaje es considerado como apto para consumo humano. El 2.6% corresponde al agua dulce que está constituido por casquetes polares, glaciares y recursos acuíferos subterráneos, y el 97.4 % representa a los océanos, agua salada, no apta para el consumo de los organismos (Vásquez et al., 2006).

La limnología es la rama de la ecología que estudia los ecosistemas acuáticos continentales como los lagos, lagunas, ríos, charcas, marismas y estuarios; y las interacciones entre los organismos acuáticos y el medio ambiente (Delgado, 2013). Actualmente el estudio de los ecosistemas acuáticos limnológicos ha acogido gran importancia, ya que aportan beneficios al desarrollo económico, social y ambiental a la sociedad, por la gran variedad de recursos de flora y fauna que habitan en ellos y los servicios ecosistémicos que brindan a la comunidad acuática (Serra Zamora, 2016).

Sin embargo, en las últimas décadas estos ecosistemas acuáticos han sido perturbados al nivel mundial por actividades antropogénicas (industriales, pesca,

mineras, ganaderas y agrícolas), que producen grandes cantidades de contaminantes como los compuestos de nitrógeno, metales pesados, fósforo y las diversas sustancias químicas que provocan una grave alteración en la calidad del agua y en los procesos biológicos de los organismos acuáticos (Vásquez et al., 2006).

En el norte de Esmeraldas el 2.9% de la población se dedican a la extracción de oro, esta actividad consiste en excavar con maquinaria pesada profundos cortes para remover y lavar grandes volúmenes de tierra, para lo cual utilizan grandes volúmenes de agua para recuperar pequeños fragmentos de oro; generando inundaciones a los cortes excavados formando las denominadas piscinas mineras que contienen relaves o residuos mineros tóxicos (hierro, cromo, níquel), originando la contaminación de los recursos naturales que se encuentran alrededor de estos (Mosquera et al., 2009).

Esta actividad se desarrolla principalmente de manera ilegal, incumpliendo las normativas ambientales vigentes, ya que no realizan un plan adecuado de cierre de los cortes mineros abandonados transformados a piscinas, dejándolas abiertas durante años sin ningún tipo de tratamiento o recuperación de los recursos naturales afectados(CID-PUCESE, 2011).

En el año 2011 estudios realizados por entidades gubernamentales y la PUCESE registraron la presencia de metales pesados en los ríos del norte de Esmeraldas y en la biota acuática producidos por la actividad minera aurífera en proporciones máximas permisibles por el Reglamento del Régimen Especial de Pequeña Minería y Minería del Ecuador(PRAS-PUCESE, 2012).

1.2 Planteamiento del problema

La minería aurífera extractiva mecanizada se ha ejecutado desde hace décadas en norte de Esmeraldas, estos frentes mineros desde sus inicios de ejecución extraían de manera ilegal y descontrolada el oro, por lo cual en el año 2011 el norte de Esmeraldas fue decretado como una zona en estado de excepción. En el año 2012 la empresa nacional minera ENAMI EP inicio sus actividades extrayendo el metal de manera legal (PRAS-PUCESE,2012).

En julio del 2011 el análisis de fotografías aéreas estimó la existencia de 4.889 excavaciones desarrolladas por la minería extractiva mecanizada ilegal, que ocupan una superficie terrestre de 261,34 hectáreas y de las cuales 4.143 se encontraban inundadas. Estas piscinas no contaron con algún tipo de tratamiento y un plan de cierre, puesto que la inversión requerida era demasiado costosa (PRAS-PUCESE,2011).

En estas piscinas mineras abandonadas no se han realizado análisis de evaluación ecológica, por lo cual se desconoce sobre su calidad de agua y las condiciones ecológicas que mantienen o bien cómo estarían evolucionando.

Por ende, se desconoce si las mismas serian potencialmente aptas para otros usos productivos como actividades acuícolas o recreativas que pudiesen generar ingresos económicos y demandar mano de obra local. En caso de que estas piscinas generen impactos ambientales a la naturaleza se necesitará ejecutar un adecuado plan de manejo de cierre para reducir los impactos ambientales (A. García, 2015)

En función de lo expuesto se plantea las interrogantes ¿La comunidad fitoplanctónica sirve como indicador del estado ecológico de piscinas mineras abandonadas? y ¿cuál es el estado ecológico de piscinas abandonadas producto de la inundación de cortes mineros?

1.3 Justificación

Los estudios de fitoplancton en Ecuador generalmente se desarrollan en ecosistemas costeros, puesto que la comunidad fitoplanctónica es más abundante y diversa en estos ecosistemas porque en los mares existe mayor disponibilidad de dióxido de carbono, luz solar y nutrientes que son factores indispensables para el desarrollo y crecimiento de estos organismos, basándose la mayoría de estudios en su taxonomía, distribución y su relación con los parámetros fisicoquímicos (Gomez, 2005), en los ríos y ecosistemas lenticos también se realizan estudios sobre la comunidad fitoplanctónica pero estos son también escasos particularmente en la provincia de Esmeraldas.

El norte de la provincia de Esmeraldas es una zona de gran diversidad biológica, sin embargo, se encuentra perturbada principalmente por la deforestación y la minería aurífera. La actividad minera es la mayor causa de contaminación para los ríos de la zona, ya que los frentes mineros no poseen una adecuada gestión de residuos y ha provocado un desequilibrio en el ciclo biológico de los organismos que habitan en ellos (F. García, 2016). Por ende las investigaciones sobre los impactos de la actividad aurífera a los ecosistemas acuáticos resulta importante para generar propuestas de remediación que contribuyan a remover los

contaminantes y ayudarlos a retornar sus funcionalidades biológicas(Centro Regional para el Manejo de Ecosistemas Costeros, 2007).

El norte de Esmeraldas se han realizado pocos estudios de calidad de agua basados en la interpretación de comunidades fitoplanctónica en cuerpos de agua dulce, y presentan escasos registros de información de las numerosas piscinas mineras o cortes de extracción abandonados debido a que son lugares de difícil acceso lo cual dificulta la realización de estudios ecológicos en las mismas (MAE, 2017).

El presente estudio corresponde a la primera descripción de la comunidad fitoplanctónica y su rol de indicadora de calidad del agua presente en piscinas mineras abandonadas para determinar su estado o condición ecológica en la zona minera en el norte de Esmeraldas.

Por consiguiente, la realización de este estudio en una parroquia con intensa actividad minera ilegal como es Selva Alegre aportará nuevos conocimientos respecto de estos seres, constituyendo una línea base de la comunidad Fitoplanctónica desarrollada en piscinas mineras y de la utilidad que otorgaría su estudio para futuros proyectos y planes de monitoreos ecológicos de conservación que se implementen en el territorio.

1.4 DELIMITACION DE OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la calidad de agua de piscinas mineras abandonadas de la parroquia Selva Alegre mediante el análisis de ensambles fitoplanctónicas.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir parámetros fisicoquímicos de la columna de agua contenida en piscinas mineras abandonadas de la parroquia Selva Alegre
- Describir y cuantificar la comunidad fitoplanctónica desarrollada en las piscinas mediante el levantamiento de descriptivos ecológicos e índice de calidad de aguas basados en análisis fitoplanctónicas.
- Interpretar la integración de variables fisicoquímicas y descriptivos ecológicos de la comunidad Fitoplanctónica mediante el uso de análisis multivariados.

2 MARCO TEORICO

2.1 Bases teóricas

2.1.1 El Agua

El agua es un recurso natural indispensable para el sostenimiento de la vida de los organismos vivos; puesto que es utilizado para la mayoría de los procesos productivos (Kumar, 2017). Este recurso cubre más del 70% de la superficie del planeta; sin embargo, sólo una fracción pequeña de este porcentaje es considerado como apto para consumo humano. El 2.6% corresponde al agua dulce que está constituido por casquetes polares, glaciares y recursos acuíferos subterráneos, y el 97.4 % representa a los océanos, agua salada, no apta para el consumo de los organismos(Echarri, 2007).

Este recurso es importante para el desarrollo sostenible del planeta ya que tiene propiedades únicas para el funcionamiento de los ciclos biológicos tales como: regula el clima del mundo, es un reactivo para los procesos metabólicos, brinda bienestar y producción a las poblaciones mediante una adecuada gestión, reduce enfermedades y es el líquido vital para los seres vivos(Truque, 2012).

A pesar de ser un recurso con factores renovables, paulatinamente se deteriora provocando escasez del agua. Esto se debe a su enorme demanda asociada a los innumerables usos que para la que se la emplea en las actividades de producción antropogénicas (ganadería, agricultura, minería, entre otros) (Benítez, 2013).

2.1.2 La calidad del agua

La calidad de los cuerpos de agua es medida mediante parámetros físicos, químicos y biológicos. Estos parámetros proporcionan el nivel de concentración que presentan estos elementos en los recursos hídricos; permitiendo una evaluación del estado ecológico que ocurren en el ecosistema ya sea por actividades antropogénicas o naturales (ORGANIZACIÓN PARAMERICANA DE LA SALUD, 2012).

Los parámetros biológicos más utilizados en los estudios de investigación de los recursos hídricos son las comunidades fitoplanctónicas ya que son individuos muy susceptibles a los compuestos contaminantes (Truque, 2012).

2.1.2.1- Parámetro biológico - Fitoplancton

La comunidad fitoplanctónica son plantas unicelulares microscópica flotante que habita en la capa superior iluminada por el sol en la mayoría de los ambientes marinos y de agua dulce por lo general son los que proveen el color y claridad a los cuerpos de agua (Gomez, 2005), puesto que presentan clorofila que facilita la captura de la luz solar y realizar fotosíntesis para transformarla en energía química (Troccoli & Martinez, 2014). Ellos son los responsables de consumir dióxido de carbono y liberar oxígeno. La capacidad del fitoplancton para fotosintetizar (usa la energía del sol para convertir el dióxido de carbono y el agua en alimento y energía) los convierte en una fuente primaria de energía en la mayoría de los ecosistemas acuáticos, proporcionando la fuente de alimentos para organismos de orden superior como zooplancton y pequeños peces (Gómez et al., 2011).

El fitoplancton está especialmente adaptado a las profundidades, hábitats, nutrientes y condiciones químicas específicas en las que residen. La información sobre la diversidad relativa y la riqueza taxonómica de la comunidad de fitoplancton se puede utilizar como un indicador de la condición biológica de un sitio (Rivera et al., 2015).

El fitoplancton consiste en una gran variedad de algas con diferentes formas y estrategias de historia de vida para maximizar la productividad. Entre estos se encuentran géneros planctónicos como *Anabaena*, *Nodularia*, *Planktothrix*, *Aphanizomenon*, *Cylindrospermopsis*, *Trichodesmium*, que poseen vacuolas gaseosas que ayudan a flotar; o géneros bentónicos (*Lyngbya*, *Phormidium*, *Oscillatoria*, *Schizothrix*) que tienden a ocupar el sedimento, y algas neutralmente flotantes que tienen una densidad similar al agua como *Oocystis* y *Chlorella* y miembros de dinoflagelados y *Euglenophyceae* para migrar libremente en la columna de agua (Molina Santos, 2013).

- **Fitoplancton como bioindicador**

La comunidad fitoplanctónica es un componente importante de los programas de monitoreo biológico para evaluar la calidad del agua. Son elegibles para la evaluación de la calidad del agua debido a sus requerimientos de nutrientes, tasa de reproducción rápida y ciclo de vida muy corto (Gomez, 2005). El fitoplancton es un indicador importante de la condición de su entorno ya que responden inmediatamente a la composición cualitativa y cuantitativa de especies en una amplia gama de situaciones hídricas debido a alteraciones en la química del agua tales como el aumento de la contaminación del agua a partir de desechos

domésticos, industriales y afectan la composición de géneros que son capaces de tolerar estas situaciones (Vásquez et al., 2006).

La comunidad Fitoplanctónica se considera como una herramienta beneficiosa para evaluar alteraciones a largo plazo en el ecosistema, como las relacionadas con la eutrofización, la gestión del agua, alteraciones en el uso de la tierra a escala de cuenca y cambios climáticos (Gómez et al., 2011). En este sentido, las algas parecen un indicador biológico útil porque responden rápidamente a las alteraciones en las situaciones del ecosistema, lo que permite una evaluación rápida de la calidad del agua (Vásquez et al., 2006).

Los estudios que usan fitoplancton para el monitoreo de la calidad del agua han revelado que la alteración en la composición demuestra no solo las variaciones en la calidad del agua, sino también las alteraciones en los parámetros físicos y las relaciones bióticas (Vásquez et al., 2006). Afirma que las diferencias en la química del agua pueden cambiar las proporciones relativas de unos pocos taxones dominantes, pero a menudo tienen un pequeño efecto en la composición general de las especies y las tasas de crecimiento de las especies cambian taxonómicamente bajo la influencia de factores que regulan la composición de las algas y la estructura de la población, que está estrechamente regulada con la calidad del agua (Centro Regional para el Manejo de Ecosistemas Costeros, 2007).

Además, las microalgas engloban a especies que son tolerantes a una gran cantidad de materia orgánica y en su capacidad de descomponerla. Las diatomeas son las microalgas más estudiadas pues son organismos muy sensibles a los cambios ambientales, son más abundantes y las técnicas de estudio son

económicas; puesto que su estudio sólo requiere de salidas de campo y materiales de laboratorio para identificar y cuantificar los organismos para percibir el estado ecológico de la calidad de agua del área estudiada basándose en los índices de diversidad (Palmer, Compuesto y Diatómico) y parámetros físicos-químicos (Rivera et al., 2015).

2.1.2.2- Parámetro físicos-químicos

Los parámetros físicos-químicos más importantes para evaluar la calidad del agua en los recursos hídrico mediante la comunidad fitoplanctónica son:

- **Temperatura:** La temperatura influye en la abundancia de la comunidad fitoplanctónica; puesto que la comunidad fitoplanctónica presentan mayor concentración en temperaturas altas a comparación de temperaturas bajas (Yvon-durocher et al., 2015).
- **Potencial de hidrógeno:** Los cuerpos de agua que presentan un pH con valores mayores a 7 son alcalinas e inferiores a este son ácidas. Si los ríos presentan un pH de 6,5 a 8,5 significa que la comunidad fitoplanctónica se desarrolla con facilidad (Solís-Castro et al., 2018).
- **Conductividad eléctrica del agua:** Ensamblajes fitoplanctónicos son sensibles a la corriente y la turbidez; por tal motivo en los ríos tormentosos no existe demasiada abundancia de fitoplancton (Guillermo & Díaz, 2015).

- **Coloración:** Las floraciones del fitoplancton pueden causar coloración al cuerpo de agua de coloración verdosa y amarronada cuando el fitoplancton pierde nutrientes y comienza a morir(Luque Quino, 2016).

2.1.3 Minería en el norte de Esmeraldas

En los cantones San Lorenzo y Eloy Alfaro, se desarrolla la explotación minera aurífera a gran escala más importante del país, esto se debe a que esta zona presenta formaciones mineralógicas desarrolladas desde la antigüedad y por tener gran capacidad de productividad (MAE, 2017).

La actividad minera en el sector es realizada desde la antigüedad, por tal motivo a sus pobladores se los conocen como mineros artesanales. Los yacimientos mineros generalmente son explotados de manera artesanal con la técnica del lavado, esta técnica se realiza con una batea de madera, tomando arena del río y lavándola en búsqueda de pepitas de oro; es justamente por esta razón que ha llamado la atención de varios frentes mineros para su extracción (Delgado, 2013).

En el año 2011 se estimó que existe alrededor 250 frentes mineros en los cantones Eloy Alfaro y San Lorenzo; que extraían el oro con maquinaria pesada para reducir el tiempo y conseguir en mayores cantidades el metal (PRAS-PUCESE,2012). Estos frentes mineros sobreexplotaban este recurso y no desarrollan un plan de manejo de desechos mineros y no proveen equipos de seguridad industrial a sus trabajadores exponiéndolos a enfermedades que provocan los metales pesados (PRAS-PUCESE,2011). Las zonas donde se instalan los frentes mineros al norte de

Esmeraldas son: Selva Alegre, Zapatillo, Concepción, Urbina, Maldonado, San Francisco de Bogotá, La Boca, Maldonado, San Javier de Cachaví, Borbón (PRAS-CID PUCESE, 2011a).

El proceso de explotación requiere de las siguientes etapas (PRAS-CID PUCESE, 2011b):

Tabla 1. Etapas del proceso minero aurífero

ETAPAS	DETALLES
Prospección	Identificación de los lugares para extraer el oro. Estas zonas deben estar cerca de ríos, puesto que requiere grandes cantidades de agua. Aquí se extrae un cilindro testigo del suelo.
Exploración	Mediante el empleo de la batea se recoge la arenilla negra que contiene las escamas de oro, peña. Se realiza un conteo del metal extraído para determinar si posee la densidad adecuada para explotar el lugar donde se seleccionó la muestra.
Explotación	Se procede a excavar con maquinarias profundos cortes hasta acceder a la “peña” (arenilla negra con oro); el material extraído del suelo se deposita en una maquina clasificadora que por medio de bombes de aguas separa las arenillas de color negro con pequeños fragmentos de oro, puesto que es un material con mayor densidad. Estos cortes en la mayoría de casos se inundan por las grandes proporciones de agua que se utiliza.
Beneficios	Se vierte un en enlace químico de densidad diferencial con el oro, que puede ser mercurio y cianuro, para obtener fragmentos de oro.
Fundición	La amalgama se funde para que obtenga una consistencia fácil para moldear y formar lingotes comerciales
Refinación	No se ha identificado el material que utilizan para refinar el oro, pero se cree que utilizan bórax.

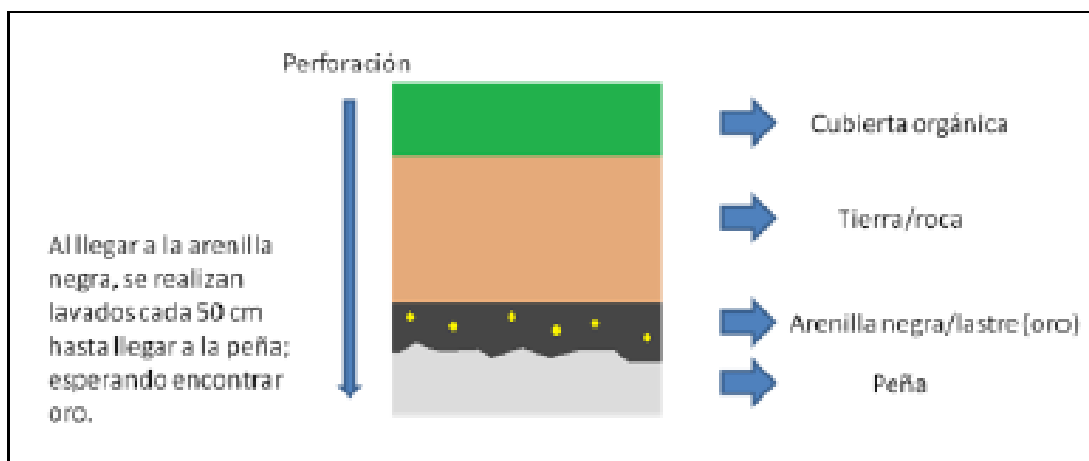


Ilustración 1. Diagrama de la prospección de oro de acuerdo a testimonios de mineros (PRAS-CID PUCESE, 2011b).

2.2 Antecedentes de estudio

En el norte de Esmeraldas se realizan faenas de extracción de minería aurífera que es considerada oficialmente “artesanal”, sin embargo en los últimos años los frentes mineros ilegales han empleado una extracción minera mecanizada para extraer de forma rápida e intensiva el oro (PRAS-CID PUCESE, 2011a). Esta actividad extractiva no cumple con la normativa ambiental, puesto que los cortes no reciben un adecuado tratamiento de cierre, ya que constantemente reciben de manera directa e indirecta descargas de metales pesados a los ríos de la cuenca hidrográfica Santiago-Cayapas (Hammond et al., 2013).

El PRAS-CID PUCESE en el año 2013, realizó un monitoreo en 25 puntos de muestreo de los ríos de la cuenca hidrográfica Santiago-Cayapas, en lo cual determinaron que el aluminio, hierro, cromo, zinc y cobre fueron los metales que sobrepasaban los límites permisibles en el contenido de agua (PRAS-CID PUCESE; MAE, 2014).

En el informe de PRAS-CID-PUCESE del año 2014, redacta que se realizaron monitoreo en siete piscinas mineras fuera de funcionamiento y en recirculación de frentes de ENAMI (San José de Cachaví, San Antonio y el campamento la Toma de ENAMI); estas piscinas presentaron bajos índices de turbidez y una moderada presencia de vida animal (peces, macroinvertebrados). Además, se registraron cinco metales pesados (Ni, Fe, Cd, Zn y Cu) pero en proporciones permisibles en los cuerpos de agua por el TULAS(Registro oficial de Ecuador, 2015).

Estos metales son perjudiciales para la comunidad acuática, puesto que altera la cadena trófica ya que las sustancias mineras tienden a acumularse en los sedimentos del suelo contaminando la flora acuática, los peces al consumir las plantas contaminadas provocan la bioacumulación en sus cuerpos y estos son transferidos a otros animales al ser depredados(MAE, 2017).

En el año 2011 docentes de la PUCESE, encontraron diversas especies de peces con deformaciones en los ríos producto de la contaminación minera(PRAS-CID PUCESE, 2011b). El aluminio es un metal tóxico que desacelera el crecimiento de los peces, provocando la pérdida de iones en la membrana branquial (PRAS-CID PUCESE; MAE, 2011).

La acumulación de los metales ha inducido la alteración de la estructura física y bioquímica del agua, provocando un color grisáceo o blancuzco en el agua, alto grado de turbidez, pH; por ende, SENAGUA estipuló que el agua de los ríos no era apta para el consumo humano. El Ministerio de Salud pública mencionada que las comunidades aledañas de los ríos contaminados presentan problemas dermatológicos, digestivos, enfermedades vaginales, mal formaciones fetales y ha

incrementado los pacientes de enfermedades cancerígenas(Asamblea Nacional del Ecuador, 2009).

2.3 Marco legal

La ley de Gestión Ambiental consolidó un notable avance en el sector minero con la Constitución de la República publicada con el Registro Oficial No. 449 de 20 de octubre del 2008, con la expedición de la Ley de Minería el 29 de enero del 2009 y con el Reglamento Ambiental para actividades Mineras en el Ecuador el 16 de noviembre del 2009.

En el Reglamento del Régimen Especial de Pequeña Minería y Minería del Ecuador describe en el Art.18 la minería artesanal como aquel trabajo que se realiza de manera individual, familiar o asociativa de acuerdo a las faenas mineras en zonas libres, y es exclusivamente su único medio de sustento económico(Asamblea Nacional, 2009).

En el **Art. 11** describe que la actividad minera ilegal será considerada como agravantes en el momento de dictar sanciones.

En el **Art. 17** prohíben el uso del mercurio en las operaciones mineras.

En el **Art 20** de la Legislación ambiental estipula que toda actividad de riesgo ambiental debe poseer una licencia Ambiental otorgada por el MAE.

En el **Art. 79** de la Ley general de Minería, explica que las aguas utilizadas en los procesos mineros deben ser devueltas a los ríos libres de contaminantes o con el límite permisible de la normativa ambiental.

En los **artículos del 9 al 17** del Reglamento Ambiental para actividades mineras en el Ecuador hacen referencias a la Licencia Ambiental. En el cual establece normas para la gestión de las fases de las actividades mineras como en sus procesos de exploración, explotación, beneficio, procesamiento, refinación, comercialización y cierre de minas.

El TULSMA en el título V Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación por Desechos Peligrosos en el Cap. I y II nos indica que los desechos peligrosos están aprobados por la autoridad ambiental competente que es el Ministerio del Ambiente que se encarga de: formular políticas sobre el manejo racional de los desechos peligrosos y especiales, minimización de la generación de estos residuos, que implique el reciclado y reutilización e incorporación de tecnologías adecuadas, además de promover la participación de los actores involucrados en la gestión de desechos peligrosos(Registro oficial de Ecuador, 2015).

Anexo 1 del TULSMA de la tabla 3, en el Acuerdo N° 97/A, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, determina los parámetros físicos y químico que deben poseer los cuerpos de agua para considerarlos estables.

Tabla 2. Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios

(Asamblea Nacional, 2009)

PARÁMETROS	Expresados como	Unidad	Criterio de calidad	
			Agua dulce	Agua marina y de estuario
Aluminio ⁽¹⁾	Al	mg/l	0,1	1,5
Amoníaco Total ⁽²⁾	NH ₃	mg/l	-	0,4
Arsénico	As	mg/l	0,05	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1	1,5
Bifenilos Policlorados	Concentración de PCBs totales	µg/l	1,0	1,0
Boro	B	mg/l	0,75	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,001	0,005
Cianuros	CN ⁻	mg/l	0,01	0,01
Cinc	Zn	mg/l	0,03	0,015
Cloro residual total	Cl ₂	mg/l	0,01	0,01
Clorofenoles ⁽³⁾		mg/l	0,05	0,05
Cobalto	Co	mg/l	0,2	0,2
Cobre	Cu	mg/l	0,005	0,005
Cromo total	Cr	mg/l	0,032	0,05
Estaño	Sn	mg/l		2,00
Fenoles monohídricos	Expresado como fenoles	mg/l	0,001	0,001
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3	0,3
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,5	0,5
Hierro	Fe	mg/l	0,3	0,3
Manganeso	Mn	mg/l	0,1	0,1
Materia flotante de origen antrópico	visible		Ausencia	Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,0002	0,0001
Níquel	Ni	mg/l	0,025	0,1
Oxígeno Disuelto	OD	% de saturación	> 80	> 60
Piretroides	Concentración de piretroides totales	mg/l	0,05	0,05

Plaguicidas organoclorados totales	Organoclorados totales	µg/l	10,0	10,0
Plaguicidas organofosforados totales	Organofosforados totales	µg/l	10,0	10,0
Plata	Ag	mg/l	0,01	0,005
Plomo	Pb	mg/l	0,001	0,001
Potencial de Hidrógeno	pH	unidades de pH	6,5 – 9	6,5 – 9,5
Selenio	Se	mg/l	0,001	0,001
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5	0,5
Nitritos	- NO ₂	mg/l	0,2	
Nitratos	NO ₃ ⁻	mg/l	13	200
DQO	DQO	mg/l	40	-
DBO5	DBO ₅	mg/l	20	-
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	max incremento de 10% de la condicion natural	-

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

El área de estudio se realizó en la parroquia Selva Alegre, perteneciente al cantón Eloy Alfaro, ubicado al norte de la provincia de Esmeraldas, puesto que en este territorio se encuentra localizado varias piscinas mineras abandonadas originadas por la actividad minera ilegal. El estudio comprende dos campañas de muestreo la primera en el mes de mayo y la segunda desarrollada en noviembre del 2018.

En la primera fase de la investigación se procedió al reconocimiento y ubicación de los puntos de muestreos o piscinas de análisis en las cuales se tomaron en cuenta la posición y altitud mediante un GPS. El universo total es de cinco piscinas mineras, en donde se evaluó la calidad del agua mediante la utilización de la comunidad fitoplanctónica como bioindicador.

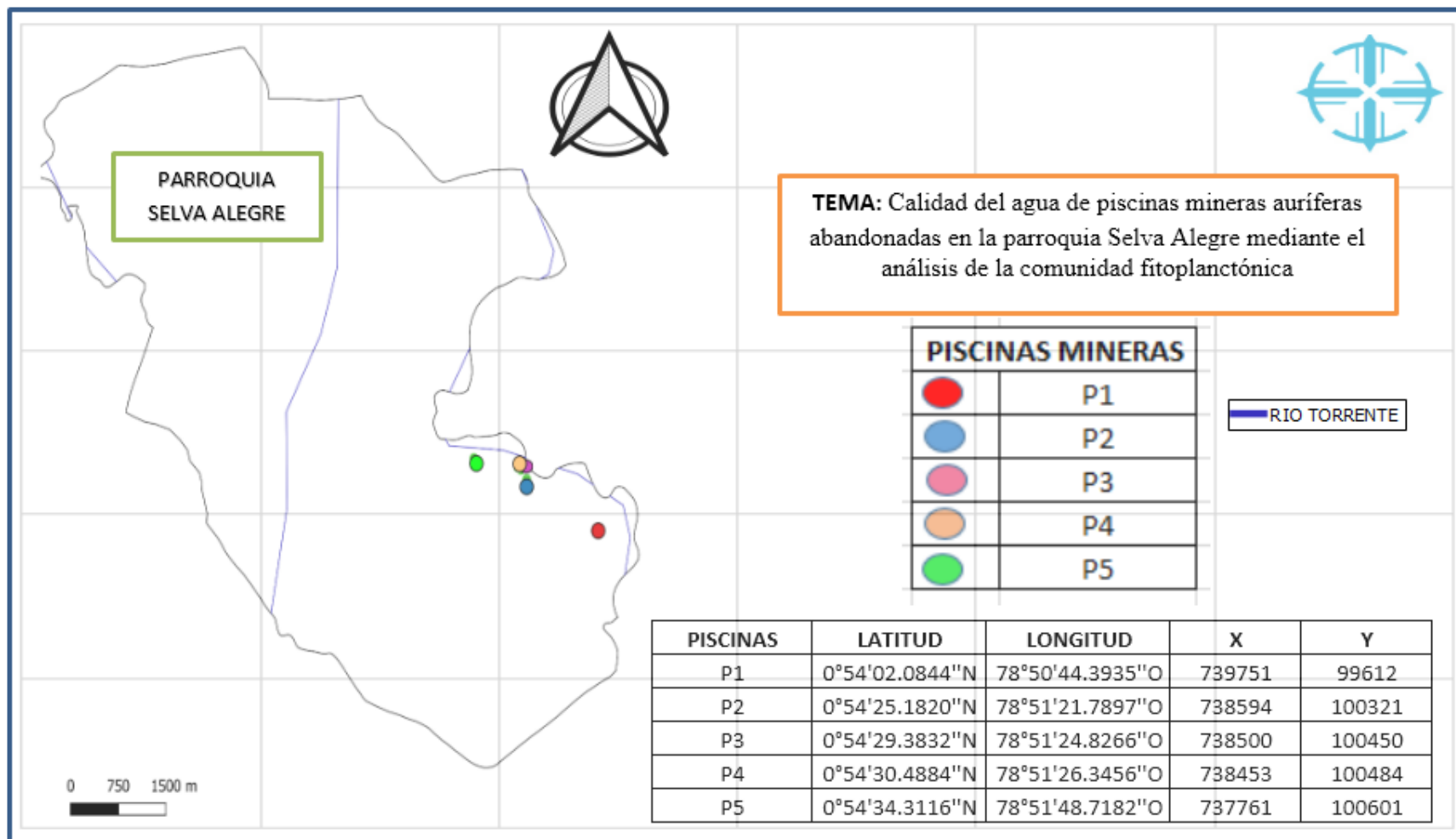


Ilustración 2. Área de estudio

3.2 Fase de campo

En cada piscina seleccionada, cinco en total, se adquirieron muestras triplicadas a 3 profundidades diferentes, superficie, media agua y próxima al fondo, con un total de 45 muestras (9 por piscina) en cada campaña de muestreo que considero estacionalidad invierno y verano de la costa ecuatoriana.

Las muestras de agua se recolectaron con una botella Van Dorn de 4,2 L y se depositaron en botellas con sello de seguridad de 1 litro, adicionándoles 3 ml de formalina al 37% como agente fijador. Las muestras se transportaron en cajas térmicas para conservar su temperatura y posteriormente fueron analizadas en el laboratorio de Gestión Ambiental de la universidad PUCESE.

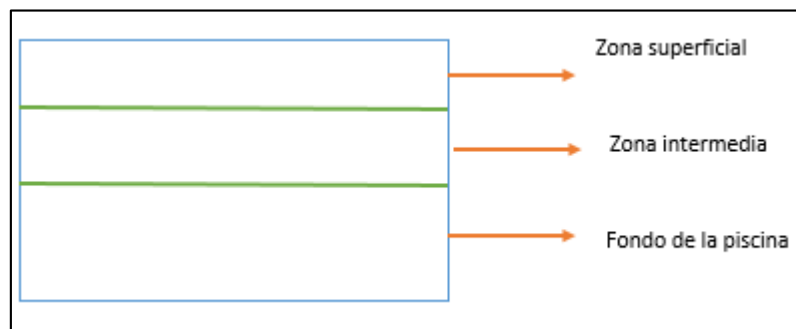


Ilustración 3. Diseño de recolección de muestra fitoplanctónica en la piscina minera

Los parámetros como Potencial Hidrógeno (pH), Conductividad, Temperatura del agua y Turbidez fueron registrados *in situ* con los sensores Milwaukee modelo Mi 905 y el Colorímetro Hach DR 900.



Ilustración 4. Recolección de muestras

3.2 Descripción parámetros físicos-químicos de la columna de agua contenida en piscinas mineras abandonadas de la parroquia Selva Alegre

En cada piscina minera se procedió a calcular el volumen represado luego de medir la longitud de sus lados y estimar la profundidad de la misma en su parte media. Cada piscina fue fotografiada y se describió su coloración y tipo de vegetación asociada, así como la presencia de peces mediante observación visual.

3.3 Cuantificación la comunidad fitoplanctónica *fitoplancton*

La cuantificación fitoplanctónica siguió el protocolo de Utermohl, que consiste en la decantación de muestras sobre una superficie observable que es revisada con un microscopio invertido. Las muestras se homogenizan agitando la botella suavemente durante dos minutos, y se depositan submuestras en un tubo de decantación de Utermohl de 50 ml, permitiendo la decantación de algas durante 24

horas, transcurrido este tiempo se analizaron con un en microscopio invertido OPTIKA. XD-3



Ilustración 5. Decantación de la comunidad fitoplanctónica

La identificación de muestras se realizó empleando claves descritas en las publicaciones “Freshwater Algae: Identification and Use as Bioindicator” (2010) de Edward G. Bellinger y David C. Sigeo, “Catálogo de microalgas y cianobacterias de agua dulce del Ecuador” (2016) de María Cristina Guamán Burneo y Nory Paola González Romero y “Una guía para cianobacterias identificación e impacto” (2018) de Mark A. Nienaber y Miriam Steinitz Kannan

3.3.1 Estimación de abundancia fitoplanctónica

Las muestras de fitoplancton se contabilizaron en toda la superficie de la cámara de decantación de Utermohl, en el cual se procederá a estimar la concentración de las microalgas presentes por mililitros de acuerdo a la siguiente fórmula:

Cuantificación de células(EPA, 1998):

$$cells/ml = \frac{C \times TA}{L \times W \times V \times S}$$

Dónde(Grace Analytical Lab, 2015):

C = recuento de células

L = longitud de la tira (mm)

W = ancho de la tira (mm)

V = volumen de la cámara (ml)

S = número de tiras contadas

TA = área de la base de decantación de Utermohl

Para la realización de conteo de la comunidad fitoplanctónica en el microscopio se realizada los siguientes pasos:

1. El microscopio debe tener un aumento en la cámara de 40x para identificar el fitoplancton de mayor tamaño para facilitar el conteo de las células y fitoplánctones más pequeños se procederá a aumentar el nivel de aumento del microscopio 600x.

2. El recuento de los organismos se lo realizará por diferentes tiras de manera horizontal y vertical. Es recomendable abarcar el mayor número de tiras para que los resultados obtenidos sean confiables; estos resultados se medirán por el número de los individuos/ml.
3. El tiempo promedio del conteo de los organismos fue de 2-3 horas de acuerdo a la densidad de los géneros presentes en cada muestra analizada. La identificación del género se basó en la clave dicotómicas de las dos publicaciones mencionadas anteriormente.

Los fitoplanctónicos identificados en la cámara del microscopio con mayor nitidez serán capturados para catalogar los géneros encontrados en el área de estudio.



Ilustración 6. *Conteo e Identificación de la comunidad fitoplanctónica*

3.3.2 Estimación de Índices fitoplanctónicas

3.3.2.1 Índice Compuesto

Este índice fue propuesto por Nyggard que consiste en analizar la calidad de los cuerpos de agua mediante la cuantificación de los fitopláctones. Este índice consiste en cuantificar el número de taxones con la siguiente formula (Dell'Uomo et al., 2004):

$$\frac{N. sp. Cyanobacteria + N. sp. Chlorococcales + N. sp. Diatomeas + N. sp. Euglenophytas}{N. sp. Desmidiaceas}$$

Los resultados con este índice se estiman así(Dell'Uomo et al., 2004):

< 1 Oligotrófico

1 – 2.5 Mesotrófico

3 – 5 Moderadamente eutrófico

20 – 43 Hipereutrófico

3.3.2.2 Índice Diatómico General

Este índice se basa en la sensibilidad (afinidad / tolerancia) del fitoplancton a los nutrientes, a la sustancia orgánica y al grado de mineralización de la masa de agua, con especial referencia a los cloruros, que pueden representar un poderoso factor de contaminación interna del agua. El índice propuesto aquí se basa, como la

mayoría de los índices diatómicos utilizados en Europa, en la fórmula matemática de Zelinka y Marvan (Dell'Uomo et al., 2004).

Este índice viene determinado por tres variables (Dell'Uomo et al., 2004):

- **Sensibilidad a la polución de cada género (S)**, con valores entre 1 (más resistente) y 5 (más sensible).
- **Amplitud ecológica (V)**, que va desde 1 (forma ubicua) hasta 3 (Forma característica).
- **Abundancia (A).**

El índice Diatómico se calcula mediante la siguiente fórmula (Dell'Uomo et al., 2004):

$$\text{IDG} = \frac{\sum_{j=1}^j A_j S_j V_j}{\sum_{j=1}^n A_j V_j}$$

A_j= Abundancia (%)

S_j= Sensibilidad a la polución (1 a 5)

V_j= Valor indicativo de la especie (1 a 3)

Con esta fórmula el valor del índice que obtenemos podrá variar entre 1 y 5, rango establecido para la clasificación de la calidad de las aguas.

Los valores de IDG van en orden decreciente de los niveles de contaminación. Para la creación de este índice los autores tomaron como referencia un número de 106 taxones.

Tabla 3. Clasificación de calidad de agua I.D.G (Dell'Uomo et al., 2004)

IDG>4.5	Calidad biológica optima
4< IDG<4.5	Calidad normal. Polución débil
3.5< IDG<4	Polución moderada. Eutrofización
3< IDG<3.5	Polución media
2< IDG<3	Desaparición de especies sensibles. Polución fuerte
1< IDG<2	Polución muy fuerte
IDG=0	La población es considerada como inexistente (polución tóxica). Por debajo de 10 individuos por mm ³

Tabla 4. Valores de referencia para géneros cosmopolitas I.D.G (Dell'Uomo et al., 2004)

TAXONES	CODIGO	SENSIBILIDAD (S)	VARIABILIDAD (V)
<i>Achnantes</i>	ACH	5	1
<i>Amphipleura</i>	AMH	5	3
<i>Amphora</i>	ARA	3	2
<i>Anomoensis</i>	ANO	5	2
<i>Asterionela</i>	AST	4	3
<i>Attbeya</i>	ATT	2	1
<i>Calonesis</i>	CAL	4	2
<i>Campylodiscus</i>	CAM	5	2
<i>Caratoneis</i>	CER	5	2
<i>Cocconesis</i>	COC	4	1
<i>Cyclotella</i>	CYC	3	1
<i>Cymetopleura</i>	CMA	4	2
<i>Cymbella</i>	CMB	5	1
<i>Denticula</i>	DEN	5	3
<i>Diatoma</i>	DIA	4	1
<i>Dinoploneis</i>	DIP	5	1

<i>Ephitemia</i>	EPI	5	2
<i>Eunotia</i>	EUN	5	1
<i>Fragilaria</i>	FRA	4	1
<i>Frustulia</i>	FRU	5	2
<i>Gomphoneia</i>	GIS	4	2
<i>Gomphonema</i>	GMA	3	2
<i>Gyrosigma</i>	DYA	4	3
<i>Hantzschia</i>	HAN	1	3
<i>Melosira</i>	MEL	3	1
<i>Meridion</i>	MER	5	1
<i>Navícula ortbostichae</i>	NOR	2	2
<i>Navícula punctatae mutica</i>	NPM	1	2

3.4 Interpretación de la integración de variables fisicoquímicos y descriptivos ecológicos de la comunidad Fitoplanctónica mediante el uso de análisis multivariado

Los datos de abundancia por especie, para cada piscina, profundidad y fecha de muestreo fueron digitalizados en una plantilla de cálculo Microsoft Excel, ingresándose en estas también los parámetros físicos- químico de calidad del agua.

Los datos de los parámetros físicos-químicos (pH, turbidez, profundidad, oxígeno, conductividad eléctrica, temperatura) fueron introducidos en el software de uso libre Past3x, para obtener las medias de los parámetros de cada piscina minera para proceder a comparar los resultados.

Para determinar los descriptivos ecológicos diversidad, riqueza, y abundancia de especies fitoplanctónicas, las estimaciones de abundancia de algas fueron

ingresadas a una tabla Excell que fue posteriormente exportada a software de uso libre Past3x, practicándose además correlaciones entre variables para determinar que variables fisicoquímicas condicionarían con mayor peso a los ensambles fitoplanctónicas.


4. RESULTADOS

4.1 Descripción de los parámetros fisicoquímicos de agua contenida en piscinas mineras abandonadas

4.1.1 Caracterización de las piscinas mineras

En la Tabla 5 y Tabla 6 describen las características morfométricas que presentaba cada piscina minera analizadas mediante la campaña Mayo-noviembre 2018.

Tabla 5. Caracterización de las piscinas mineras abandonadas

PISCINAS MINERAS ABANDONADAS	CARACTERÍSTICAS
	<p style="text-align: center;">PISCINA 1</p> <ul style="list-style-type: none">• Rodeada por exuberante vegetación que le proveía sombra al cuerpo de agua.• Suelo Arcilloso.• El agua presenta coloración verdosa.• Presentaba pequeños renacuajos.



PISCINA 2

- Exuberante vegetación que rodea la piscina.
- Suelo arcilloso
- El cuerpo de agua poseía una coloración verdosa
- Presencia de macrófitos



PISCINA 3

- Rodeada de exuberante vegetación que le proveía sombra
- El cuerpo de agua poseía una coloración verdosa con tonos café.
- Presencia de macrófitos.
- Suelo arcilloso.
- Presencia de renacuajos



PISCINA 4

- Rodeada por exuberante vegetación que le proveía sombra al cuerpo de agua.
- Suelo Arcilloso.
- El agua presenta coloración verdosa.
- Presentaba pequeños renacuajos.
- Presencia de macrófitos.



PISCINA 5

- Rodeada de exuberante vegetación que le proveía sombra
- El cuerpo de agua poseía una coloración verdosa clara
- Presencia de macrófitos.
- Suelo arcilloso.

Tabla 6. Valores promedio morfométricas de las piscinas mineras

	ANCHO	LARGO	PROFUNDIDAD	VOLUMEN
PISCINA 1	23m	28m	5m	3220 m ³
PISCINA 2	25m	30m	3m	2250 m ³
PISCINA 3	50m	40m	7m	14000 m ³
PISCINA 4	40m	40m	5,70m	9120 m ³
PISCINA 5	30m	50m	2,5m	3750 m ³

4.1.2 Precipitación

La precipitación registrada en la parroquia Selva Alegre durante la campaña del muestreo fueron en el mes de mayo de 612,9 mm y en el mes de noviembre de 143,4 mm.(INAMHI,2018)

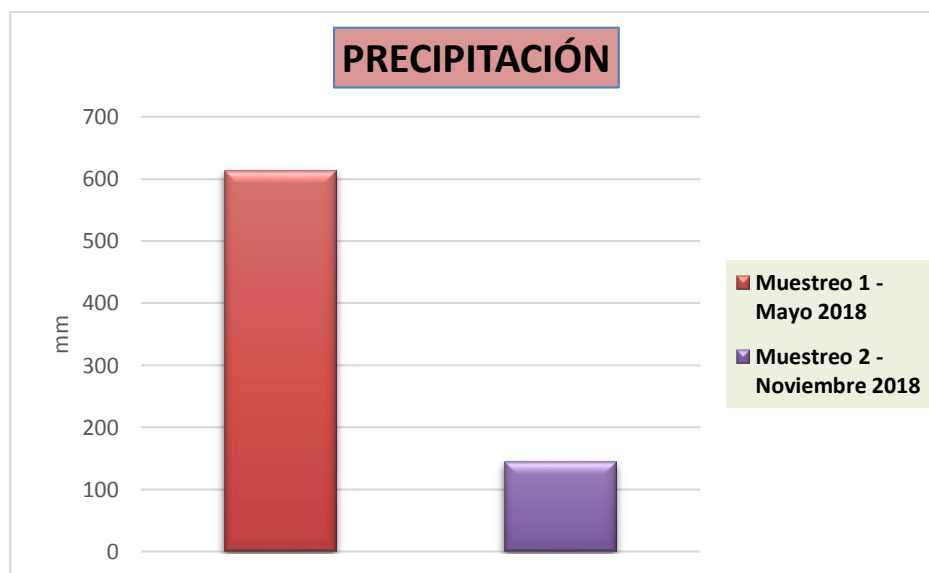


Ilustración 7. Nivel Pluviométrico San Lorenzo 2018- Estación INAMHI

4.1.3 Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que las piscinas mineras presentaron niveles un poco más bajos de temperatura en el segundo muestreo realizado en el mes de noviembre entre 25°C a 27°C; a comparación del primer muestreo realizado en el mes de mayo que registraron valores mayores hasta 28°C. La piscina 2 presentó el valor más alto de temperatura con 28,6°C y la piscina 4 el menor valor con 25°C.

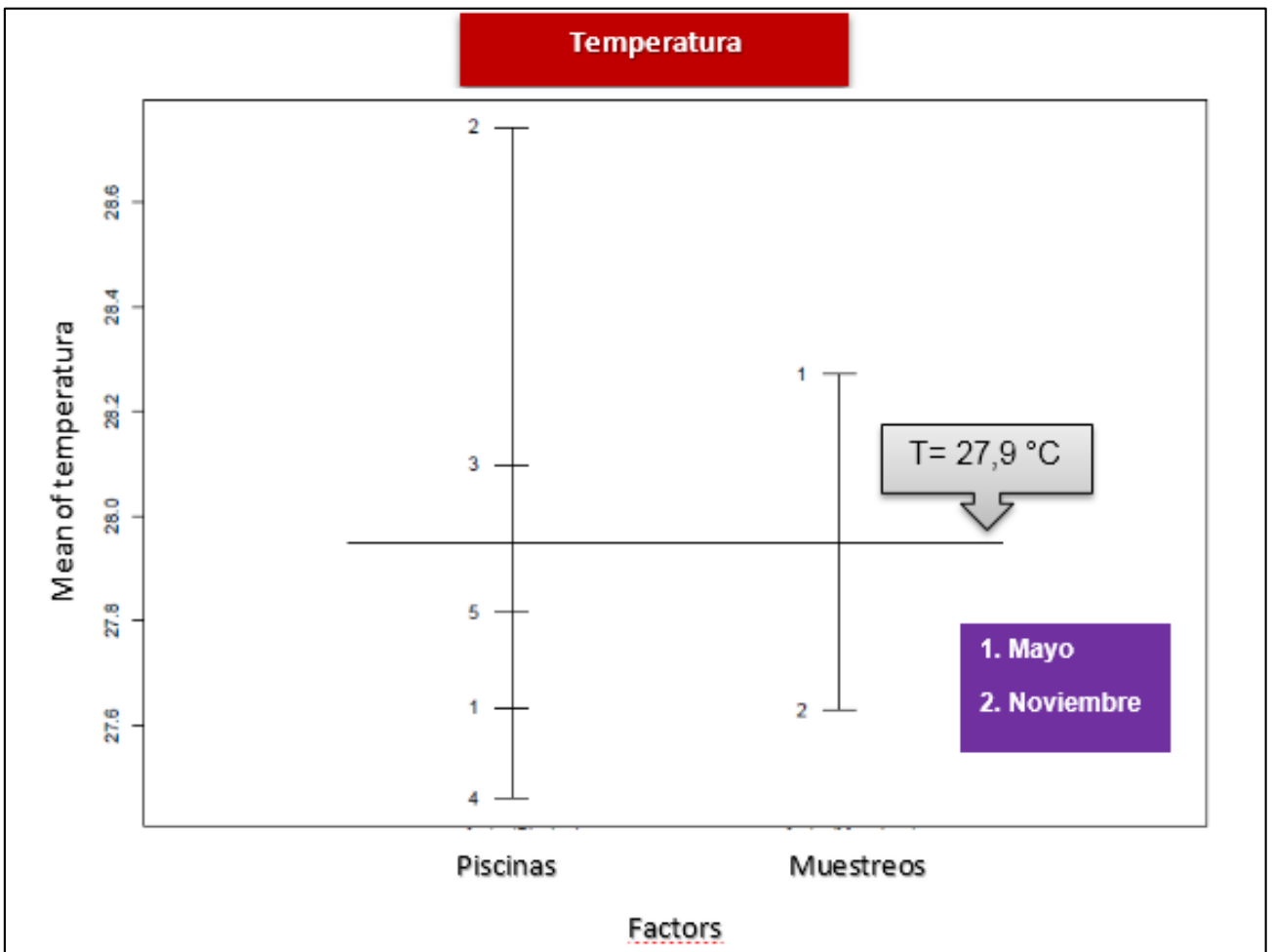


Ilustración 8. Temperatura de las piscinas mineras

4.1.4 pH del agua

Los valores más altos de pH se registraron en el mes de mayo que fueron superiores a 7; mientras que los valores mínimos de pH se registraron en el mes de noviembre con valores inferiores hasta 6,2. La piscina minera 1 y 2 (pH >7) y las piscinas 4 y 5 (pH >6,8) presentaron valores de pH similares.

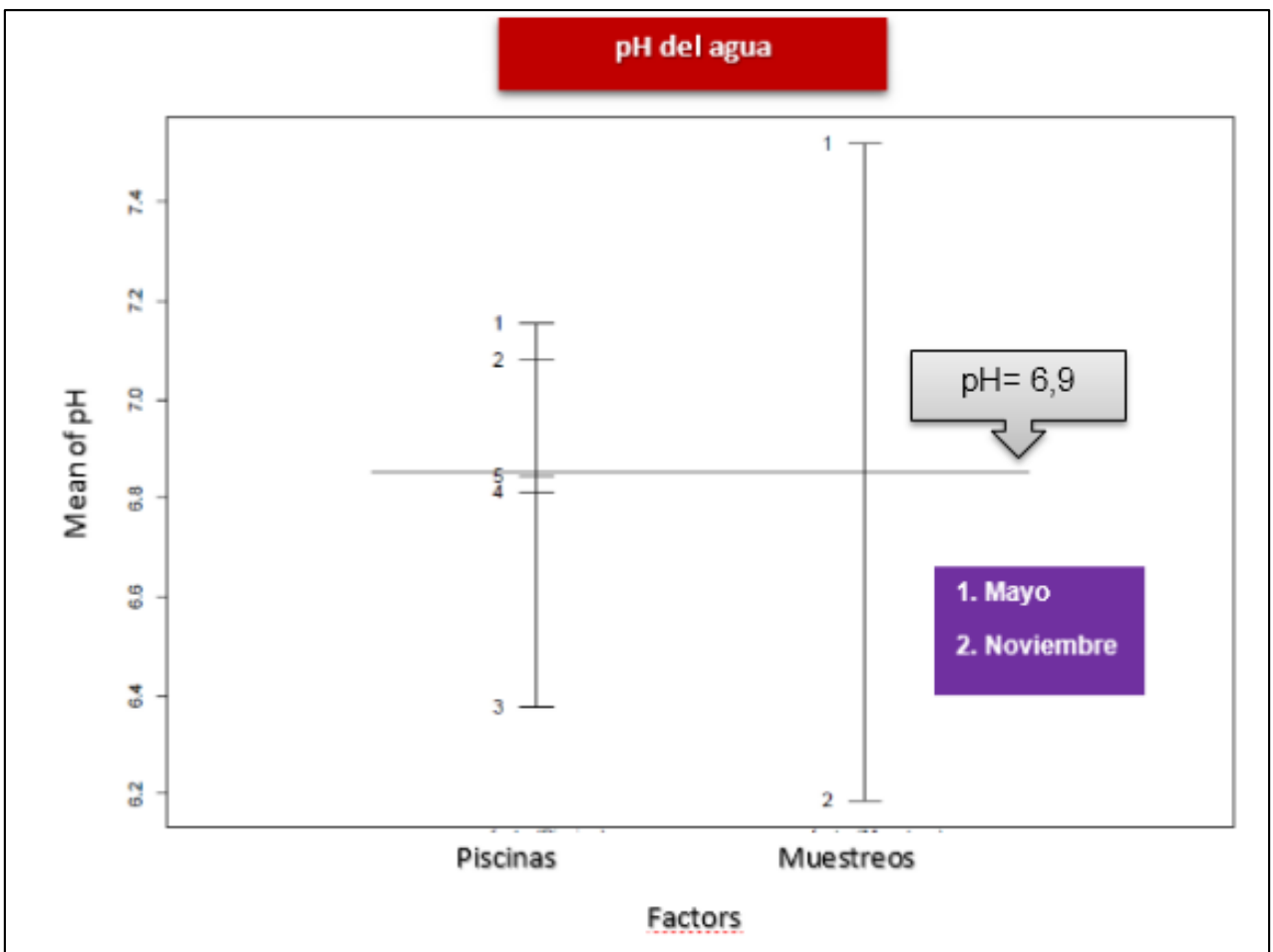


Ilustración 9. Distribución del pH en las piscinas mineras

4.1.5 Conductividad eléctrica

Los registros de conductividad eléctrica del agua analizados en el mes de noviembre presentaron índices más bajos con valores inferiores a $20 \mu\text{S}/\text{cm}$; a comparación del estudio realizado en el mes de mayo que poseen valores superiores a $60 \mu\text{S}/\text{cm}$. La piscina 2 presentó la conductividad eléctrica más alta con $80 \mu\text{S}/\text{cm}$ y la piscina 3 la conductividad eléctrica más baja con $20 \mu\text{S}/\text{cm}$.

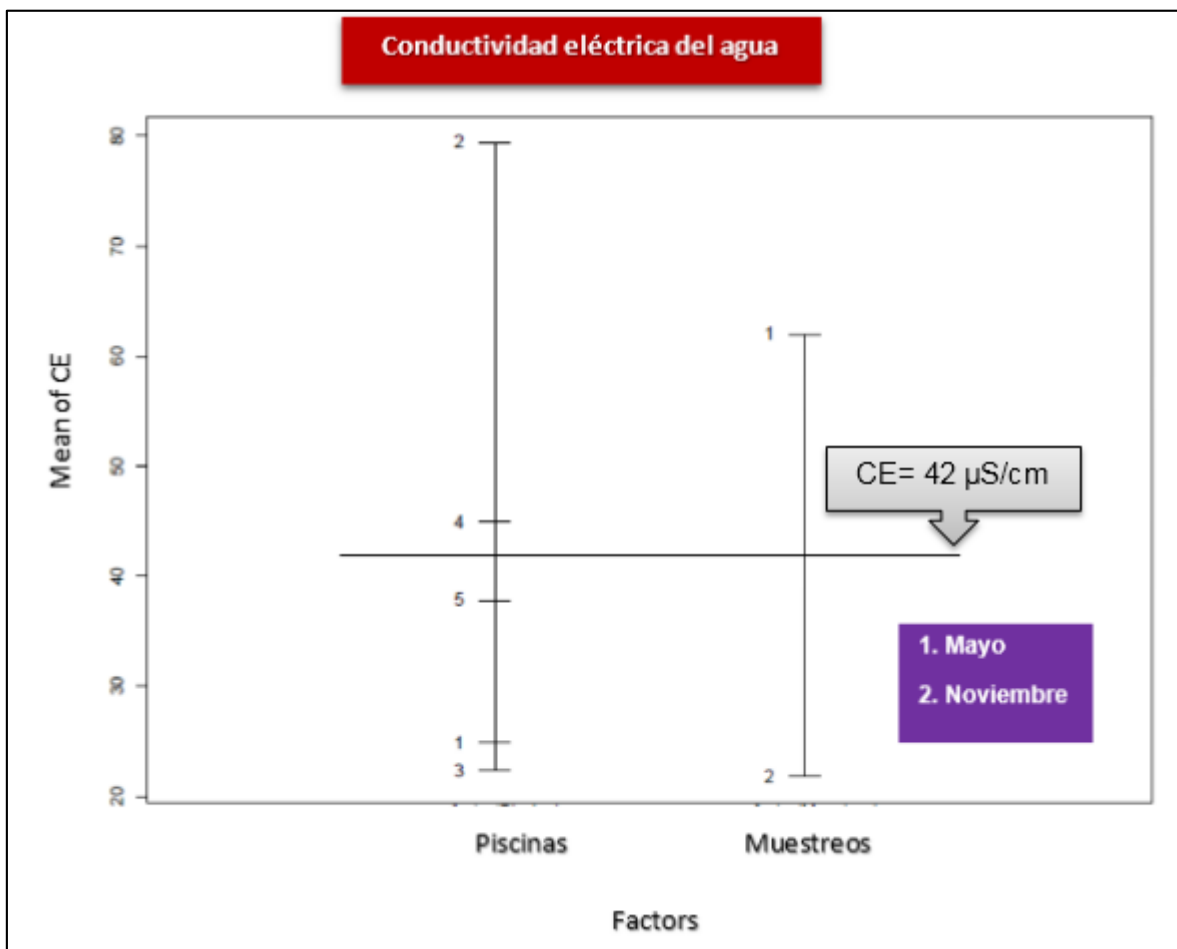


Ilustración 10. Distribución de la conductividad en las piscinas mineras

4.1.6 Turbidez

Como se puede apreciar en la **Ilustración 11** los registros de turbidez más altos corresponden al muestreo realizado en noviembre con 12 FAU; mientras los registros de turbidez analizados en mayo son más bajos con valores inferiores a 6 FAU. La piscina 5 presentó la turbidez más alta con 15 FAU y la piscina 1 la turbidez más baja con 3 FAU.

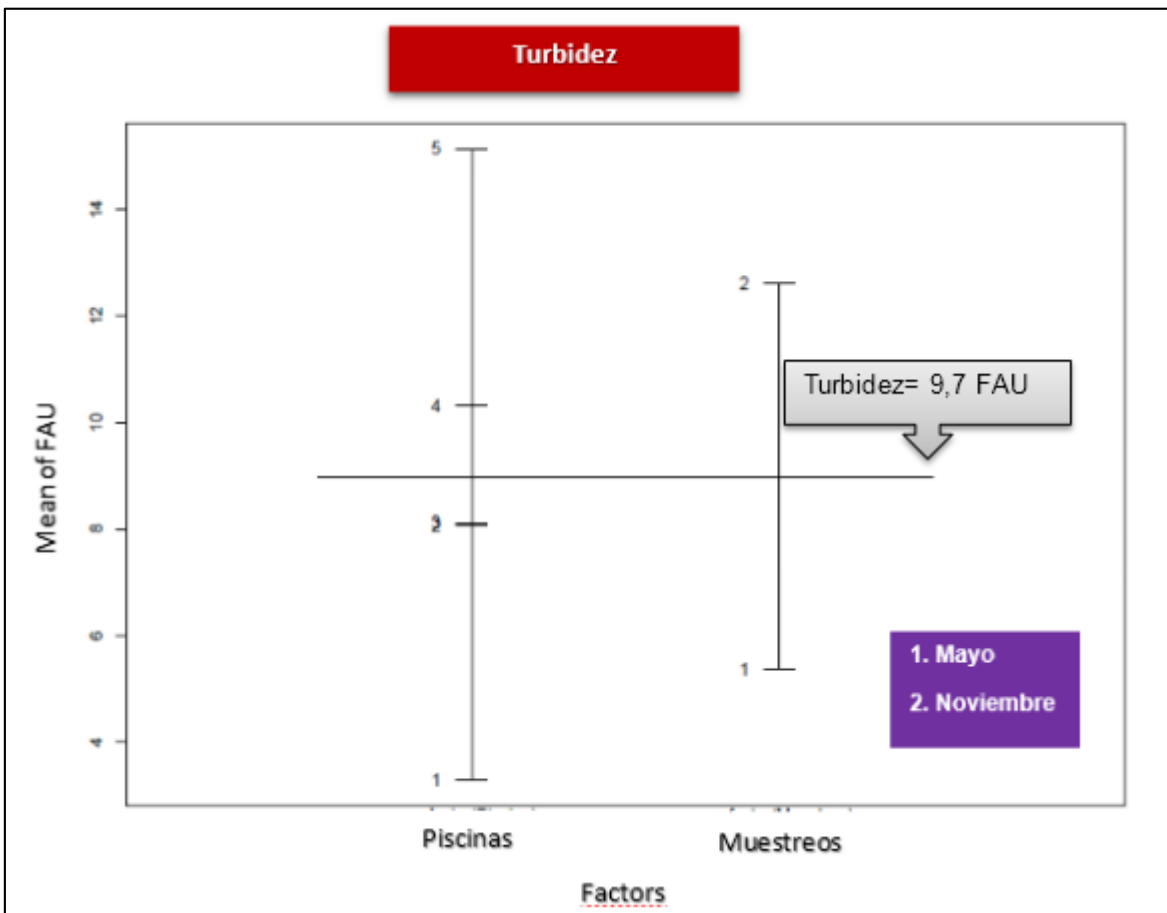


Ilustración 11. Distribución de la Turbidez en las piscinas mineras

4.2 Cuantificación la comunidad fitoplanctónica desarrollada en las piscinas mediante el levantamiento de descriptivos ecológicos e índice de calidad basados en fitoplancton

En las 5 piscinas mineras analizadas se encontraron 41 especies fitoplanctónicas pertenecientes a 36 géneros fitoplanctónicas de los Phylum: Bacillariophyta, Cyanophyta, Chlorophyta, Charophyta, Dinophyta. Euglenophyta. Ochrophyta.

Bacillariophyta fue el phylum con el mayor número de géneros con un total de 12 pertenecientes a cuatro clases: Bacillariophyceae (*Diploides sp.*, *Navícula sp.*, *Pinnularia sp.*, *Nitzschia sp.*, *Cymbella sp.*, *Diatomea sp.*, *Surirella sp.*), Fragilariophyceae (*Synedra sp.*, *Tabellaria sp.*), Mediophyceae (*Stephanodiscus sp.*) y Coscinodiscophyceae (*Oscinodiscus sp.*, *Melosira sp.*) Los phylum con menor riqueza es Ochrophyta (*Cyclotella sp.*). (Tabla 7)

En las piscinas 1 y 2 los phyllums con mayor número de individuos son el Bacillariophyta, Cyanophyta y Chlorophyta; en las piscinas 3 y 4 predominan los phyllums Bacillariophyta, Chlorophyta y Euglenophyta y la piscina 5 son los Bacillariophyta, Chlorophyta y Dinophyta. (Ilustración 12)

Tabla 7. Géneros Fitoplanctónicos identificados

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Diploneidaceae	<i>Diploides</i>
			Naviculaceae	<i>Navícula</i>
			Pinnulareaceae	<i>Pinnularia</i>
		Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>
		Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella</i>
		Tabellariales	Tabellariaceae	<i>Diatomea</i>
	Fragilariophyceae	Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>
		Fragilariales	Fragiliareaceae	<i>Synedra</i>
		Tabellariaceae	Tabellariaceae	<i>Tabellaria</i>
	Mediophyceae	Stephanodiscales	Stephanodiscaceae	<i>Stephanodiscus</i>
	Coscinodiscophyceae	Coscinodiscales	Coscinodiscaceae	<i>Oscinodiscus</i>
Melosilares		Melosiraceae	<i>Melosira</i>	
Cyanophyta	Cyanophyceae	Nostocales	Nostocaceae	<i>Anabaena</i>
		Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chorococcus</i>
		Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>
Chlorophyta	Chlorophyceae	Sphaeropleales	Chlorophyceae	<i>Scedesmus</i>
			Hydrodictyaceae	<i>Tetraedron</i>
			Selenastraceae	<i>Coelastrum</i>
		Chlamydomonadales	Chlamydomonadaceae	<i>Ankistrodesmus</i>
	Zygnematales	Desmidiaceae	<i>Chlorogonium</i>	
	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	<i>Closterium</i>
		Desmidiales	Desmidiaceae	<i>Cosmarium</i>
		Zygnematales	Zygnemataceae	<i>Spirogyra</i>
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	<i>Desmidium</i>
				<i>Micrasterias</i>
				<i>Sphaerosozomas</i>
				<i>Staurodesmus</i>
				<i>Euastrum</i>
				<i>Staurastrum</i>
Dinophyta	Dinophyceae	Peridinales	Peridiniaceae	<i>Peridinium</i>
		Gonyaulacales	Ceratiaceae	<i>Ceratium</i>
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Euglena</i>
				<i>Trachelomonas</i>
Ochrophyta	Bacillariophyceae	Thalassiosirales	Stephanodiscaceae	<i>Cyclotella</i>

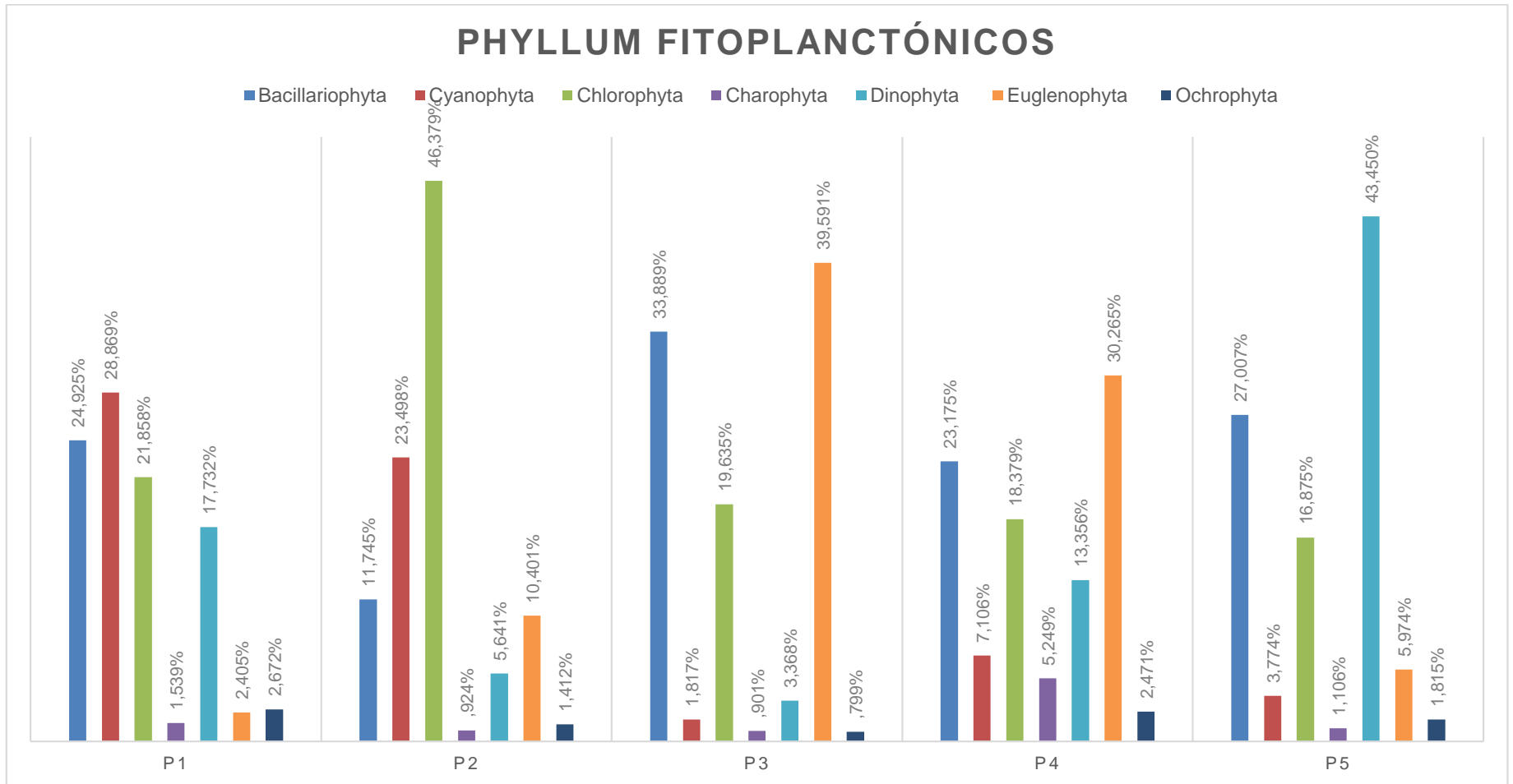


Ilustración 12. Porcentaje del número de individuos de los phyllums fitoplanctónicos contabilizados en las piscinas mineras

En el área de laboratorio se identificaron 41 géneros fitoplanctónicas con un total de 36 699 individuos contabilizados inicialmente en 4500 ml de agua. Los géneros fitoplanctónicos más predominantes en las piscinas mineras fueron: *Trachelomonas* sp. 1457,67 cel/ml, *Peridinium* sp. 1231,74 cel/ml, *Chorococcus* sp. 943,72 cel/ml, *Tetraedron* sp. 774,19 cel/ml, *Diploides* sp. 915,13 cel/ml, *Scenedesmus* sp. 760,48 cel/ml, *Anabaena* sp. 660,73 cel/ml, *Cosmarium* sp. 653,85 cel/ml, *Navícula* sp. 506,58 cel/ml, *Coelastrum* sp. 409,86 cel/ml (Ilustración 13).

En la Tabla 11 (Ver Anexo) se expone los valores de la distribución, densidad total, abundancia y riqueza de los géneros fitoplanctónicas analizados en las tres diferentes profundidades (Superficie, Medio y Fondo) de las cinco piscinas mineras ubicadas en la parroquia Selva Alegres durante la campaña de los meses de mayo-noviembre. En la Tabla 12 (Ver Anexo) se encuentra las fotos de los géneros identificados.

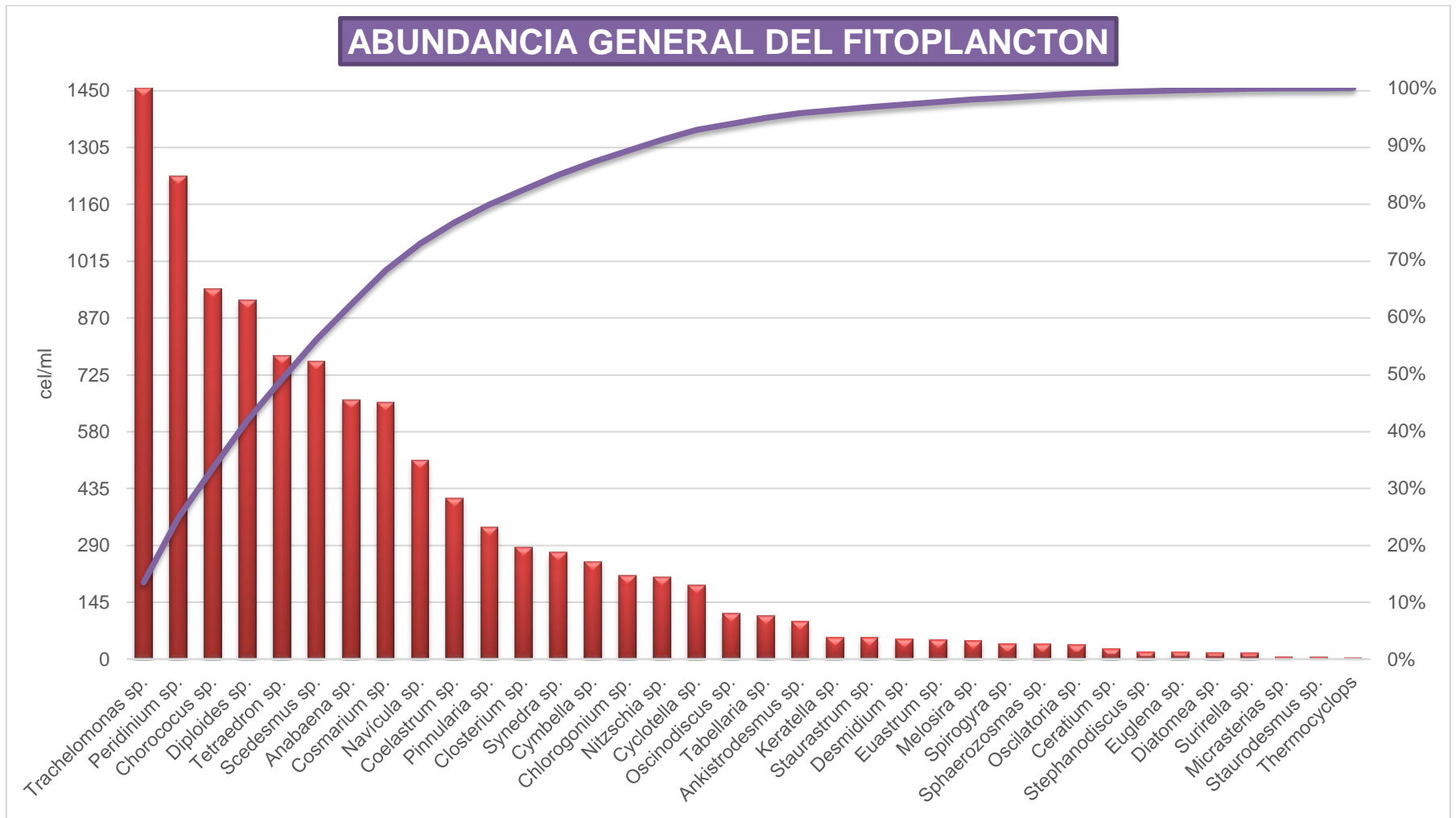


Ilustración 13. Abundancia general de géneros fitoplanctónicos contabilizadas considerando todas las muestras analizadas durante el estudio

4.2.1 ABUNDANCIA

En los muestreos realizado en el mes de noviembre (b) las piscinas mineras presentaron mayores poblaciones fitoplanctónicas con una abundancia media mayor a 500 cel/ml; a comparación del mes de mayo (a) que presentó una abundancia promedio de 300 cel/ml. La piscina 3 presentó una mayor abundancia media superior a 550 cel/ml y las piscinas 1,4 y 5 presentaron aglomeraciones de fitoplancton menores a 300 cel/ml.

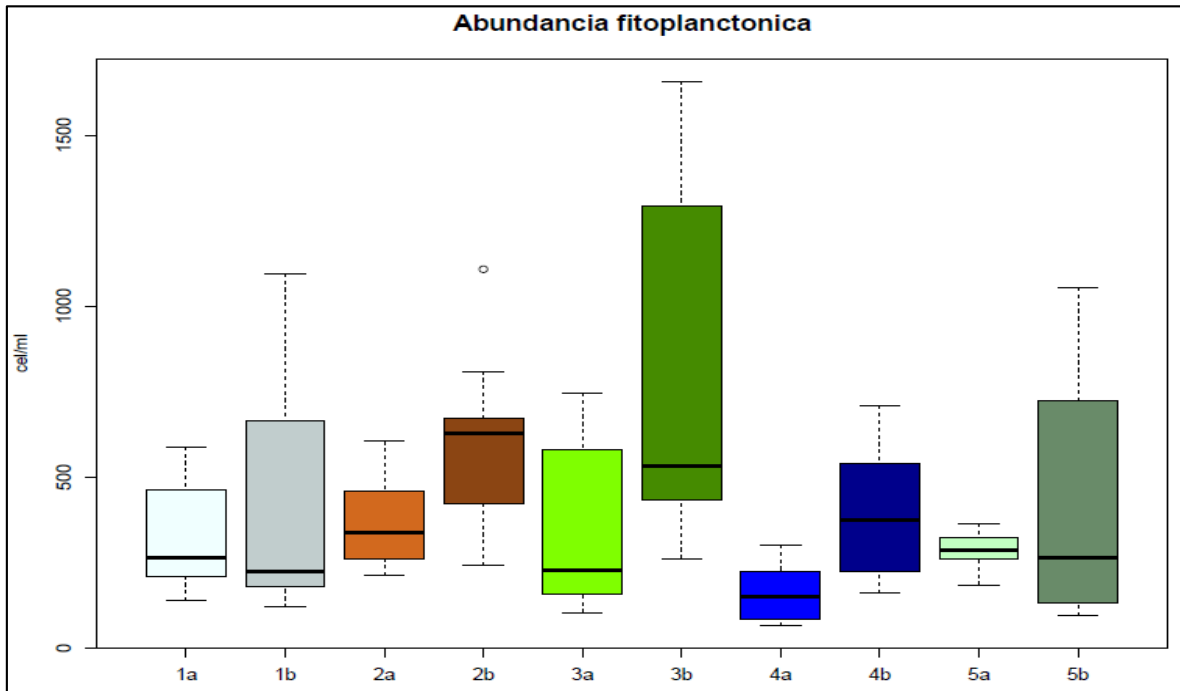


Ilustración 14. Abundancia media de los muestreos de Mayo (a) y Noviembre (b)

4.2.2 RIQUEZA

En el muestreo realizado en el mes de mayo (a) se identificó mayor número de géneros fitoplanctónicos en las piscinas mineras con una riqueza media 22 géneros y el mes de noviembre (b) presentó una riqueza promedio a 18 géneros. Las piscinas 2a y 3a obtuvieron el mayor número géneros fitoplanctónicos identificas con 26 en total en cada piscina. La piscina 5 presentaron menos géneros fitoplanctónicos.

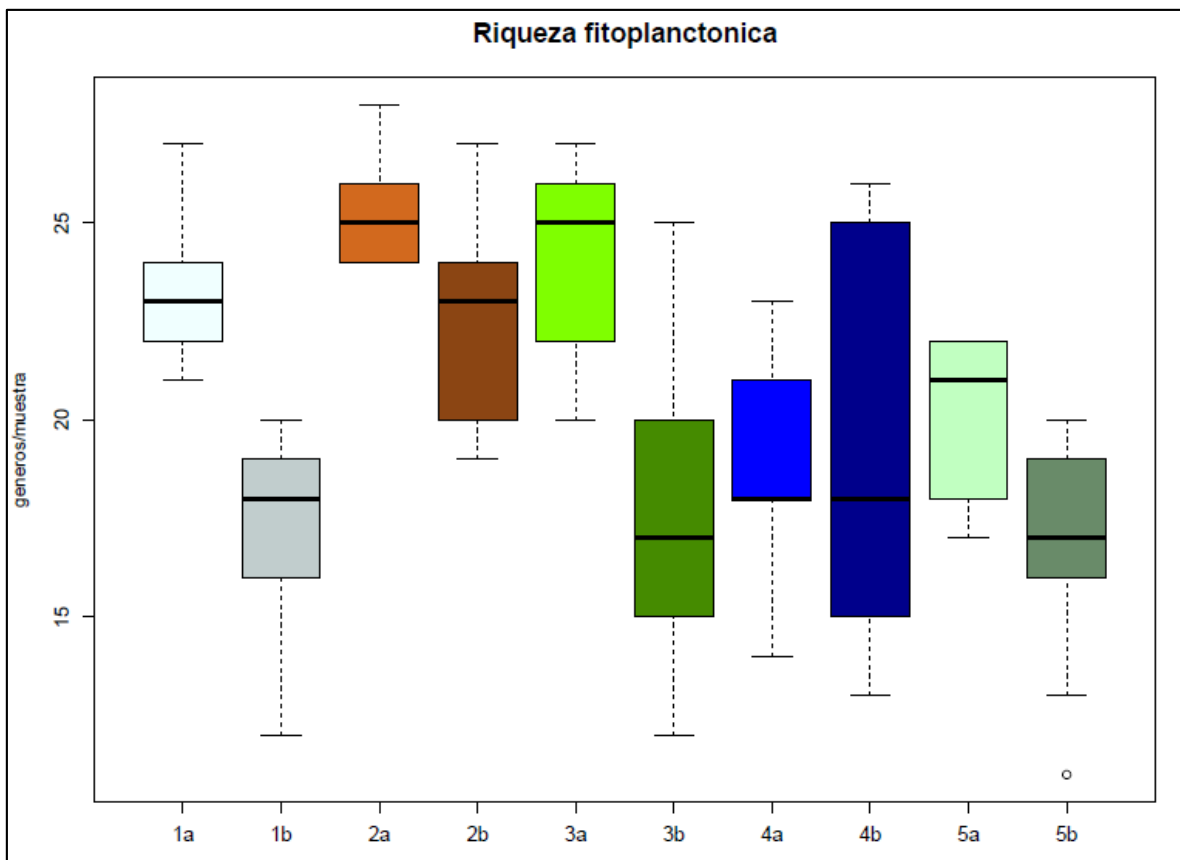


Ilustración 15. Riqueza media de los muestreos de Mayo (a) y Noviembre (b).

4.2.3 INDICES DE DIVERSIDAD

4.2.2.1 INDICE DE SHANNON – WEAVER

En el estudio del índice de Shannon se pudo observar que los muestreos realizados en el mes de noviembre en las tres diferentes profundidades de las piscinas mineras presentaron valores inferiores de a 2H' a excepción de los puntos 1F, 4S 5F.

Sin embargo, los muestreos realizados en la temporada del mes mayo presentaron índices mayores a 2H', esto quiere decir que se encontraron mayor diversidad de especies durante este mes.

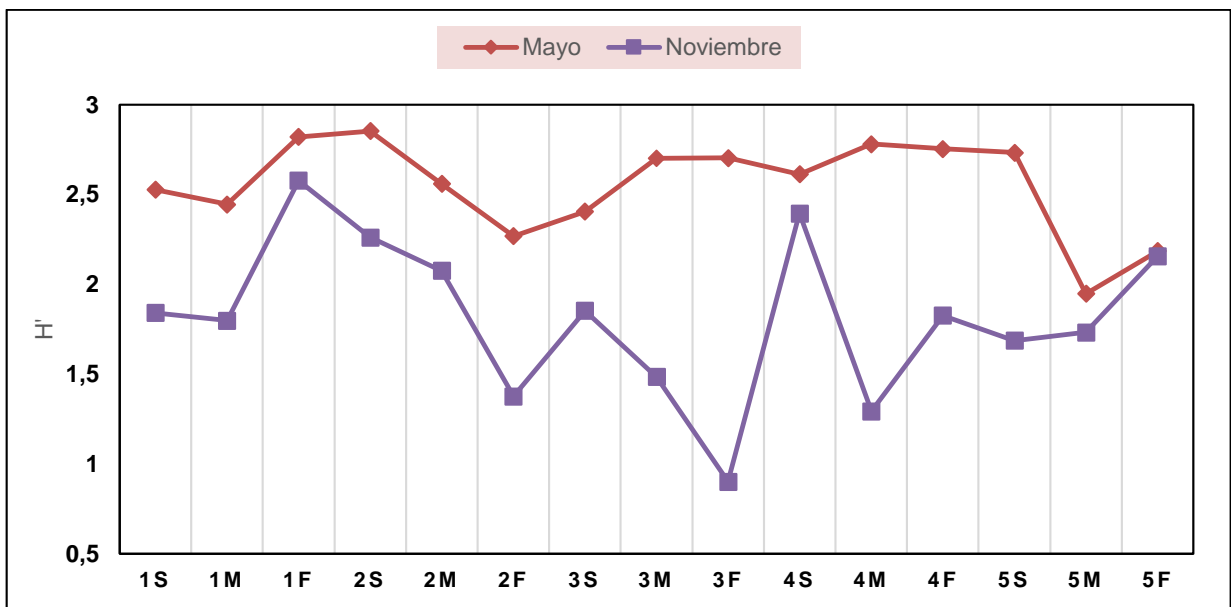


Ilustración 16. Índice de Shannon en cada piscina minera

4.2.2.2 ÍNDICE DE SIMPSON

Existe mayor dominancia de géneros de fitoplancton en las muestras realizadas en el mes de mayo y en las 3 profundidades de piscinas 1 y el fondo de la piscina 5 del muestreo del mes de noviembre. Esto indica que a pesar de que en el primer muestreo se encontraron mayor número de géneros, estos géneros poseen menor aglomeraciones de números de individuos, a diferencia del muestreo del mes de mayo que a pesar que la diferencia del índice no es grande los individuos se encuentran mejor repartidos en cada género.

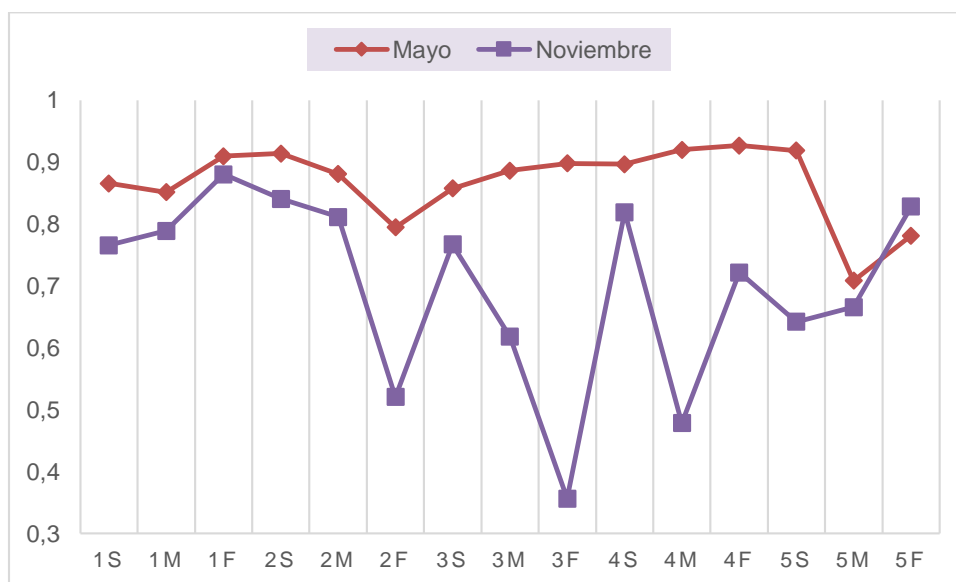


Ilustración 17. Índice de Simpson en cada piscina minera

4.2.2.3 ÍNDICE COMPUESTO DE NYGAARD

El índice compuesto de Nygaard, 1949, es empleado para estudiar el nivel de eutrofización de los cuerpos de agua con valores de -1 (oligotrófico) a

73(hipereutrífico). En el estudio realizado en las piscinas mineras de la campaña Mayo-noviembre presentaron valores intermedios de 3 a 5, lo que indica que la comunidad fitoplanctónica es moderadamente eutrífica.

Tabla 8. Índice compuesto de Nygaard en cada piscina minera

Piscinas	Muestreo- Mayo		Muestreo-Noviembre	
	Valores	Parámetros de IC	Valores	Parámetros de IC
1	4,333	<i>Moderadamente eutrífico</i>	3,666	<i>Moderadamente eutrífico</i>
2	5,055	<i>Moderadamente eutrífico</i>	4,166	<i>Moderadamente eutrífico</i>
3	4,555	<i>Moderadamente eutrífico</i>	3,333	<i>Moderadamente eutrífico</i>
4	3,388	<i>Moderadamente eutrífico</i>	4,111	<i>Moderadamente eutrífico</i>
5	3,888	<i>Moderadamente eutrífico</i>	3,277	<i>Moderadamente eutrífico</i>

4.2.2.4 ÍNDICE DIATÓMICO GENERAL

El índice Diatómico general se basa en estudiar la sensibilidad (afinidad / tolerancia) del fitoplancton a los nutrientes y sustancias orgánicas. En ambos muestreos las piscinas mineras presentaron valores menores a 4 lo que indica que existe una polución moderada. La piscina 2 en ambos muestreos presentó valores mayores a 4 lo que indica que existe una polución débil. (Ilustración 17) (Tabla 9)

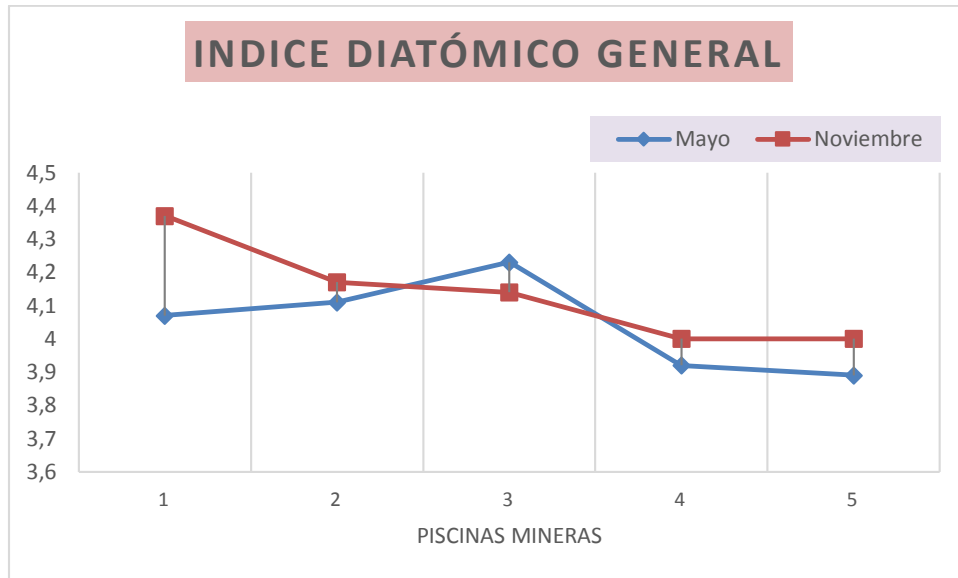


Ilustración 18. Índice Diatómico General en cada piscina minera

Tabla 9. Clasificación de calidad de agua I.D.G de las piscinas mineras

Piscinas	Mayo	Calidad IDG	Noviembre	Calidad IDG
1	3,33	Polución media	3,67	Polución moderada. Eutrofización
2	3,9	Polución moderada. Eutrofización	3,57	Polución moderada. Eutrofización
3	3,55	Polución moderada. Eutrofización	3,8	Polución moderada. Eutrofización
4	3,39	Polución media	3,11	Polución media
5	3,89	Polución moderada. Eutrofización	3,28	Polución media

4.2.3 Interpretación de la integración de variables fisicoquímicas y descriptivos ecológicos de la comunidad Fitoplanctónica de piscinas mediante el uso de análisis multivariados.

4.2.3.1 Interpretación de la integración de las variables Abundancias medias del fitoplancton y la Temperatura en las piscinas mineras

En el gráfico podemos observar que en la curva de tendencia general de la abundancia-temperatura existe un punto de inflexión un poco más allá de 28,2°C en el parámetro de temperatura; es decir que las abundancias medias del fitoplancton de las piscinas mineras disminuyen en temperaturas de 25 a 28,2°C, pero aumenta después del 28,2°C.

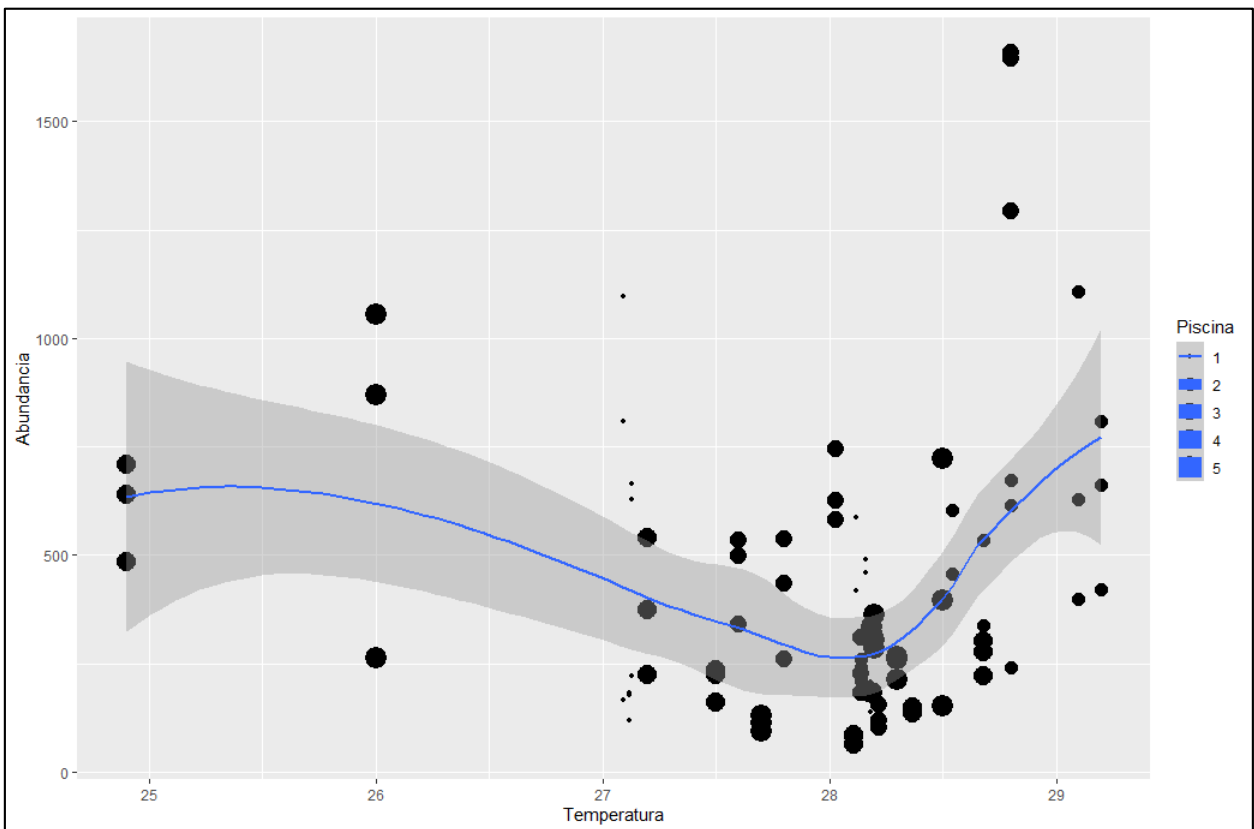


Ilustración 19. Curva de tendencia de la abundancia-temperatura

Sin embargo, en la ilustración general de la correlación de regresión lineal abundancia-temperatura posee un coeficiente de -0.002009514 , lo que indica que no existe relación alguna entre la temperatura y la abundancia en las piscinas mineras.

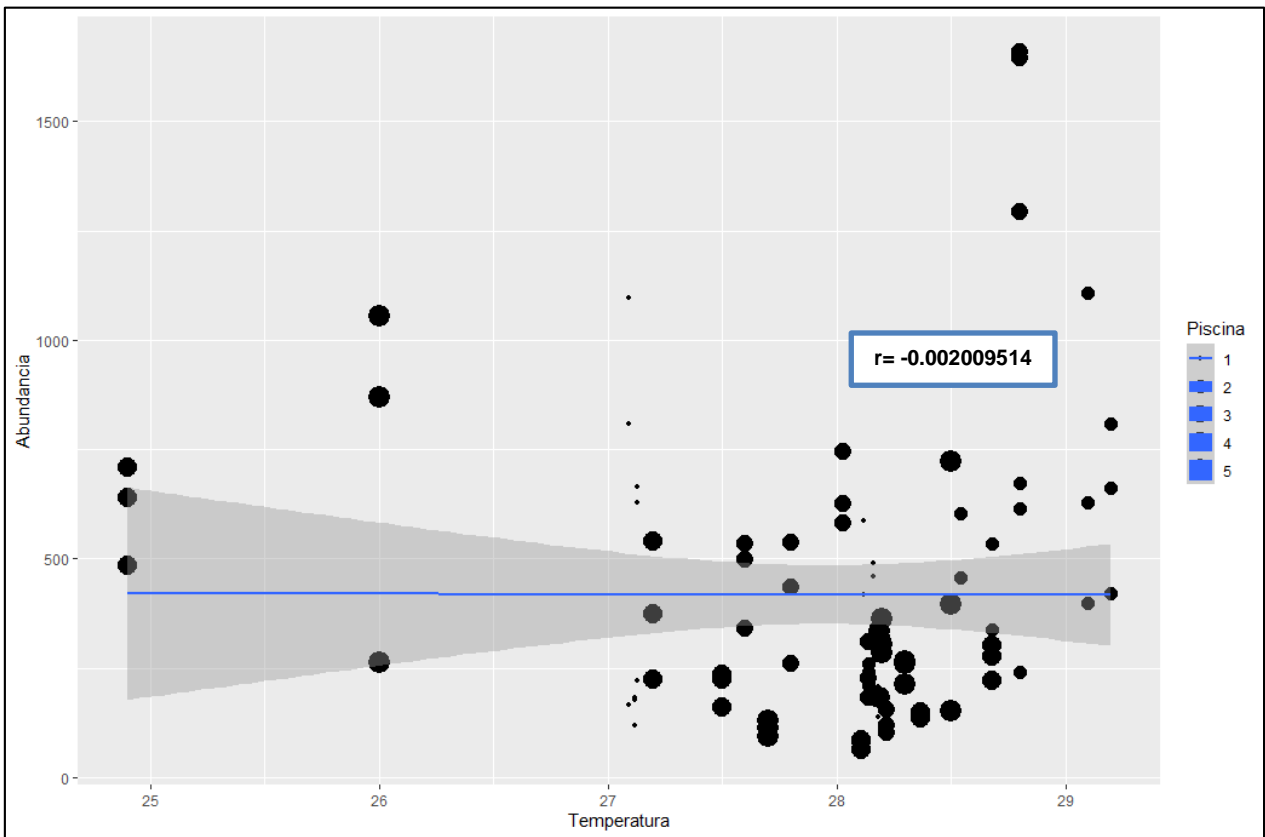


Ilustración 20. Correlación de regresión lineal abundancia-temperatura

El resultado de la correlación lineal lo podemos atribuir en la siguiente ilustración; puesto cada piscina es diferente respecto al comportamiento lineal de las variables abundancia-temperatura. En las piscinas 1,4 y 5 ocurre una disminución de la abundancia del fitoplancton cuando aumenta la temperatura; sin embargo, las piscinas 2 y 3 aumenta la abundancia del fitoplancton cuando aumenta la temperatura.

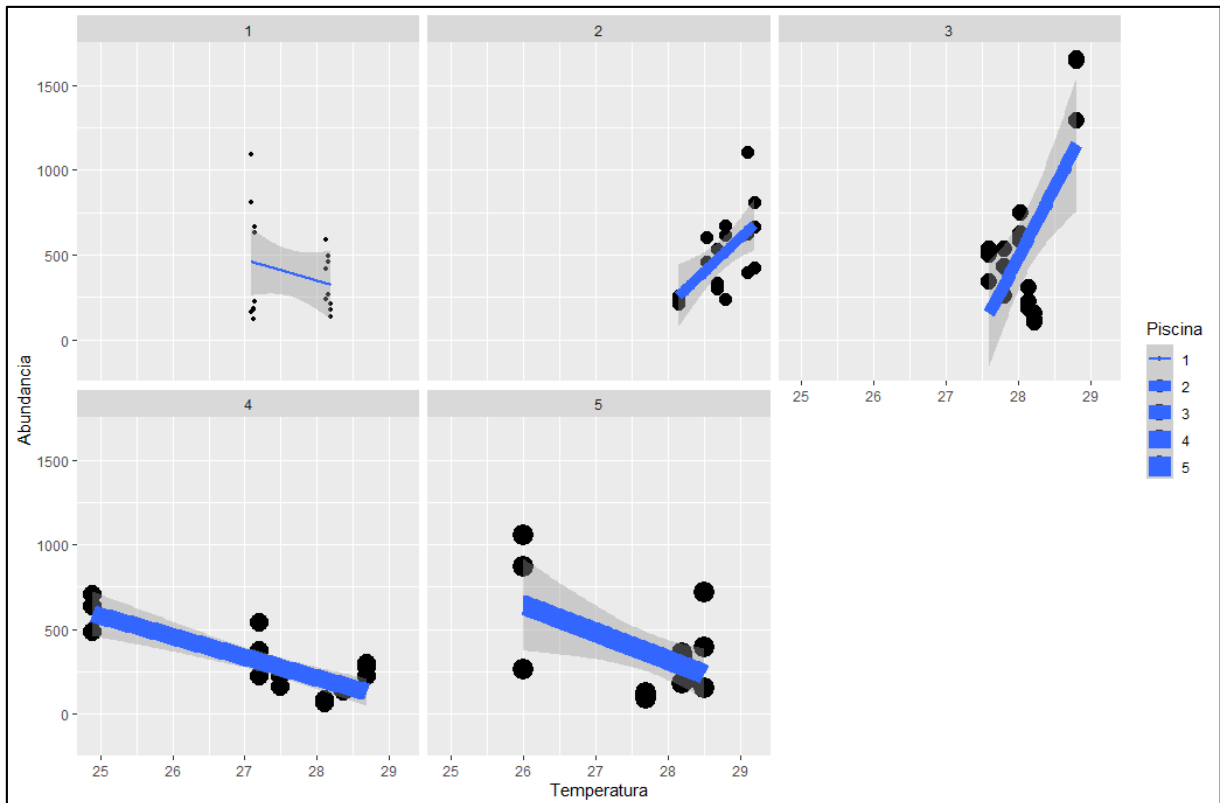


Ilustración 21. Comportamiento de regresión lineal de las variables abundancia-temperatura de las diferentes piscinas mineras

4.2.3.2 Interpretación de la integración de las variables Riqueza fitoplanctónica y Temperatura en las piscinas mineras

La curva de tendencia general de la riqueza-temperatura en conjunto con la piscina mineras presenta 2 puntos de inflexión en 27,6°C y 28,2°C; lo que indica que los dos puntos del parámetro de temperatura presenta un aumento de riqueza media del fitoplancton. Y que de 25°C a 27,6°C la riqueza media disminuye.

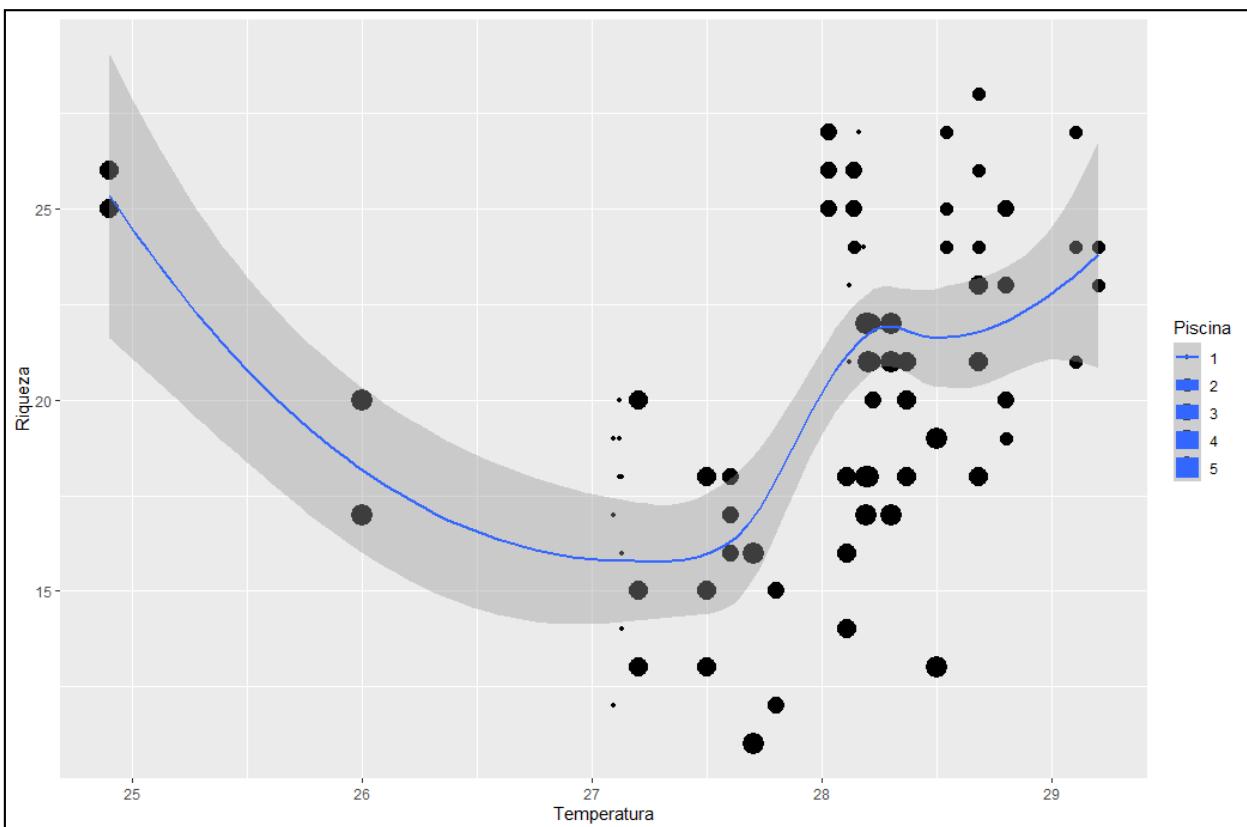


Ilustración 22. Curva de tendencia general de la riqueza-temperatura

Pero, en la ilustración general de la correlación de regresión lineal riqueza-temperatura posee un coeficiente positivo de 0.2216741, lo que indica que existe una relación débil entre la temperatura y la riqueza en las piscinas mineras.

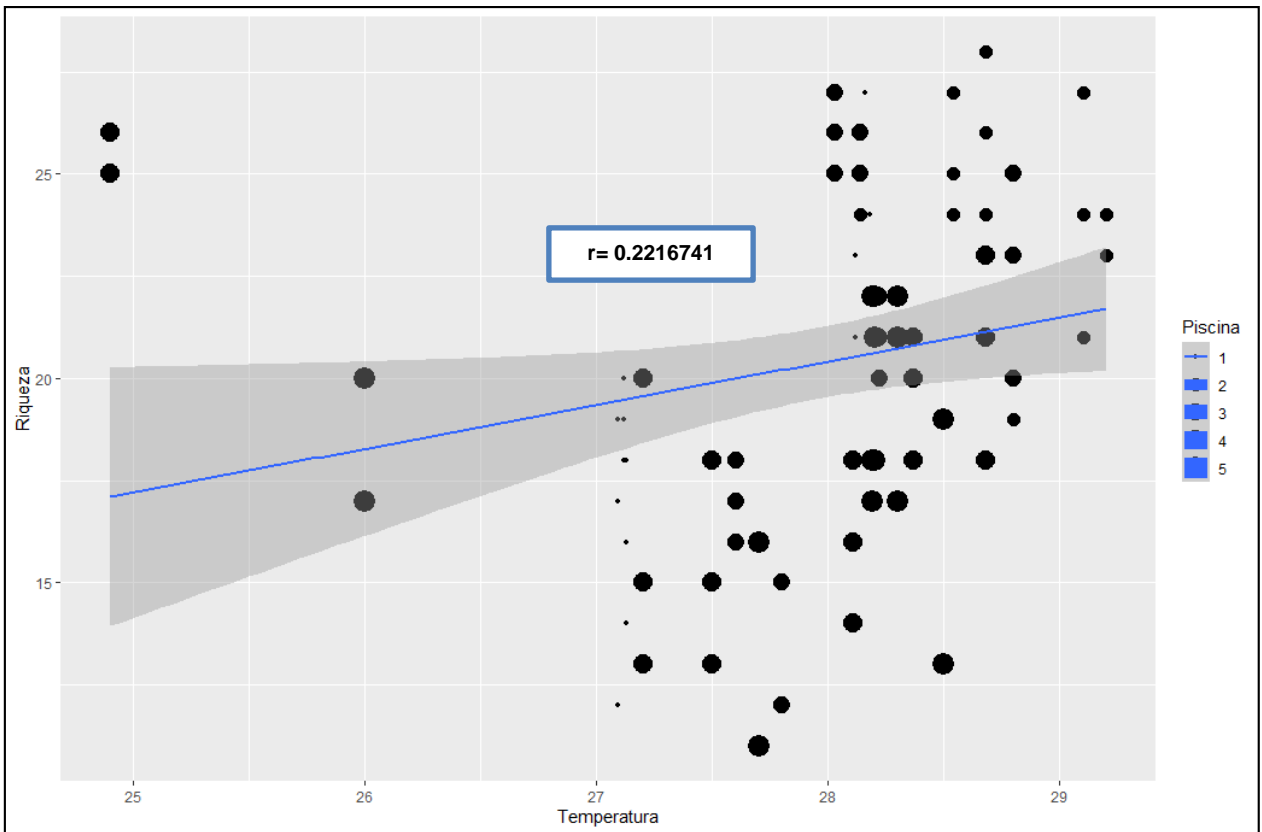


Ilustración 23. Correlación de regresión lineal riqueza-temperatura

El resultado de la correlación lineal lo podemos atribuir en la siguiente ilustración; puesto cada piscina es diferente respecto al comportamiento de regresión lineal de las variables riqueza-temperatura. En las piscinas 2,4 ocurre una disminución de la riqueza del fitoplancton cuando aumenta la temperatura; sin embargo, las piscinas 1 y 3 aumenta la riqueza del fitoplancton cuando aumenta la temperatura. La piscina 5 la riqueza media permanece estable.

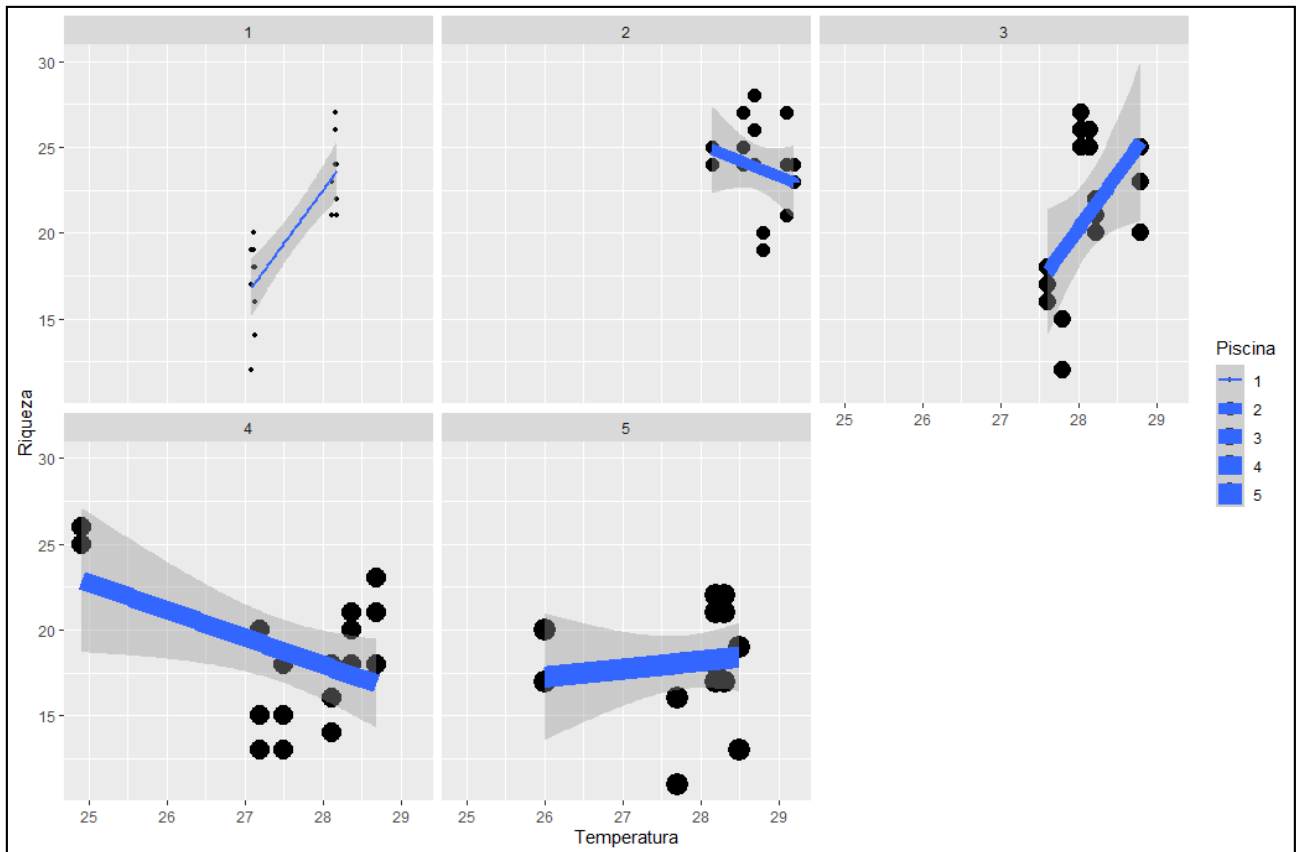


Ilustración 24. Comportamiento de regresión lineal de las variables riqueza-temperatura de las diferentes piscinas mineras

4.2.3.3 Interpretación de la integración de las variables Abundancia fitoplanctónica y pH en las piscinas mineras.

En la ilustración podemos observar que la tendencia general de la curva abundancia-pH la abundancia fitoplanctónica disminuye cuando el pH aumenta o los cuerpos de agua presenta más alcalinidad. Es decir que las piscinas acidas presentan mayor abundancia fitoplanctónica.

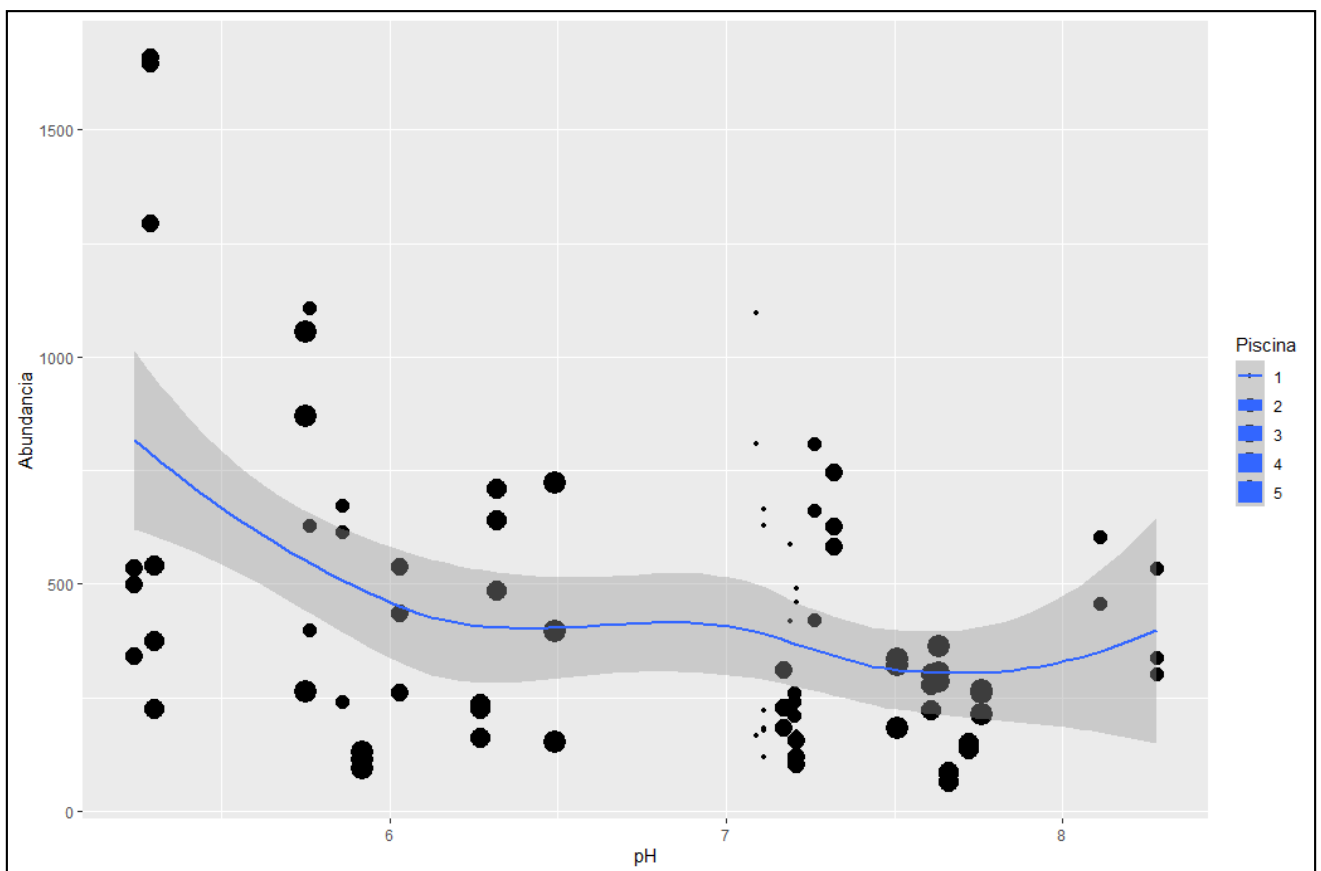


Ilustración 25. Curva de la tendencia general de la abundancia-pH

En cuanto, en la ilustración general de la correlación de regresión lineal abundancia-pH posee un coeficiente negativo de -0.3908346 , lo que indica que existe una relación débil entre la abundancia y la riqueza en las piscinas mineras. Es decir que las piscinas acidas presentan mayor abundancia fitoplanctónica.

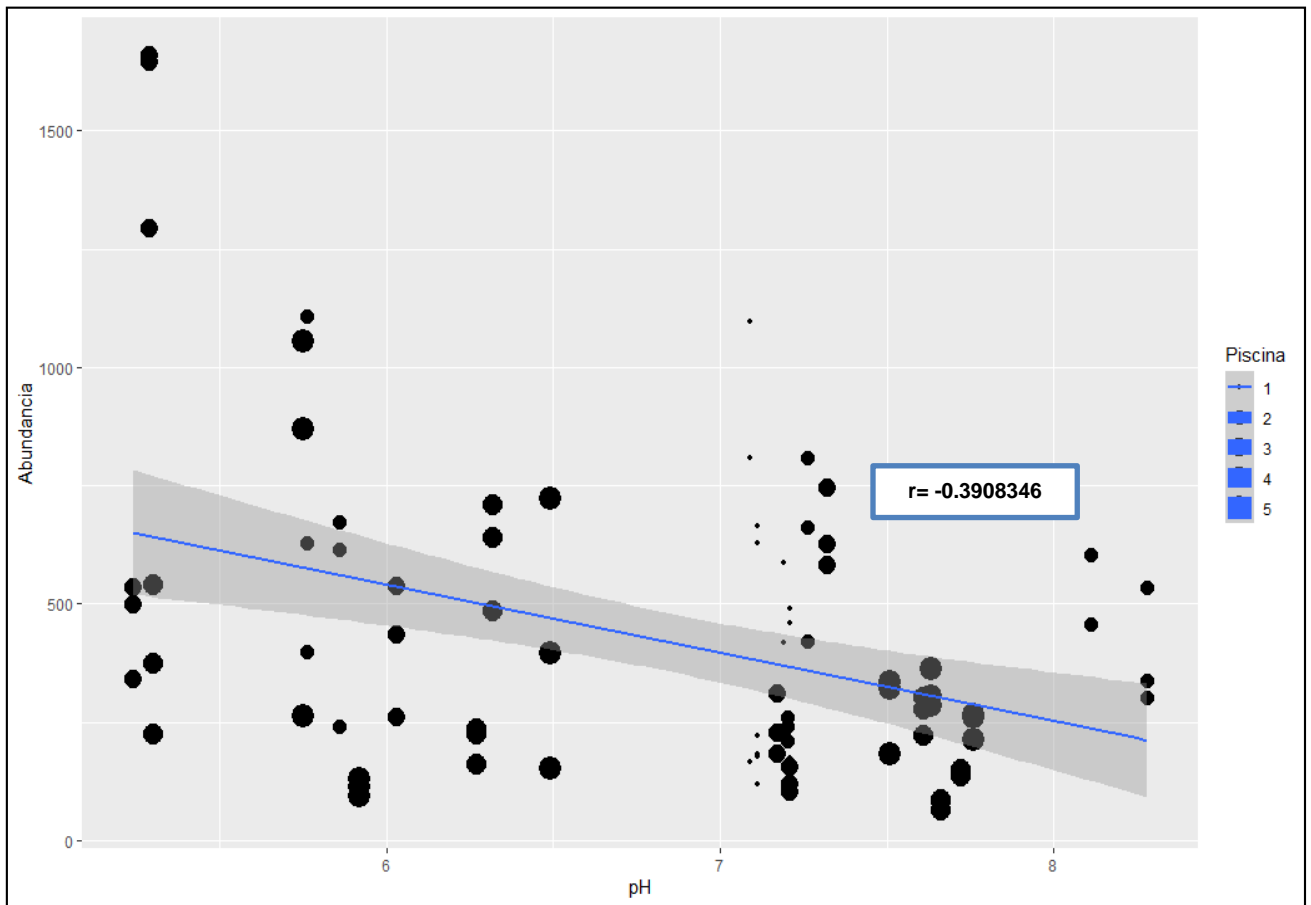


Ilustración 26. Correlación de regresión lineal abundancia-pH

El pH es la primera variable que coincide el mismo resultado en todas las piscinas mineras. Lo que muestra que la abundancia fitoplanctónica disminuye cuando el pH aumenta en los cuerpos de agua. El pH de la piscina 1 sólo varía de 7,1 a 7,3 por ende, los puntos de los muestreos no presentan mayor dispersión.

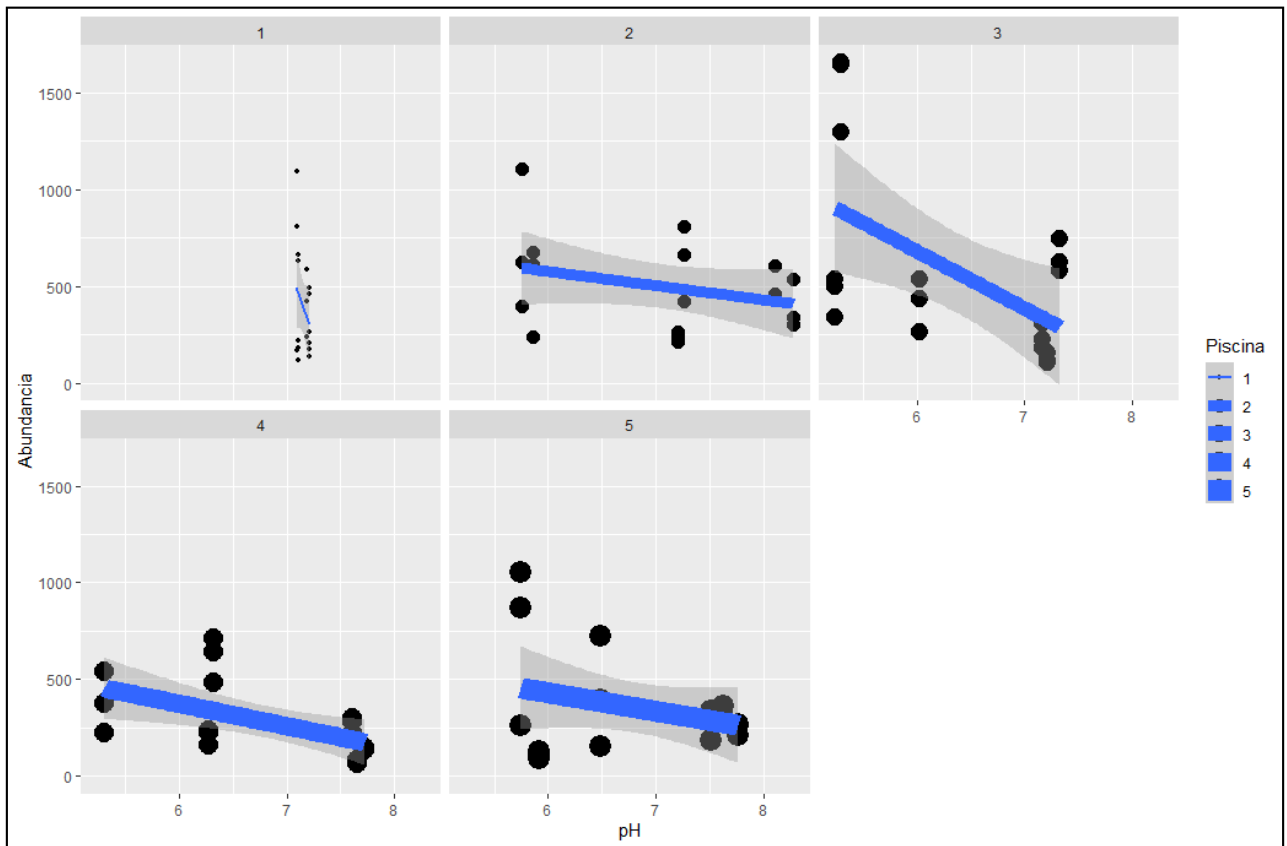


Ilustración 27. Comportamiento de regresión lineal de las variables abundancia-pH de las diferentes piscinas mineras

4.2.3.4 Interpretación de la integración de las variables Riqueza fitoplanctónica y pH en las piscinas mineras.

La tendencia de la curva riqueza-pH en conjunto con la piscina mineras presenta 2 puntos de inflexión en 6,2 y 7,2; lo que indica que en los dos puntos del parámetro de pH presenta un aumento de abundancia media del fitoplancton. Es decir que la riqueza fitoplanctónica aumenta cuando aumenta el pH.

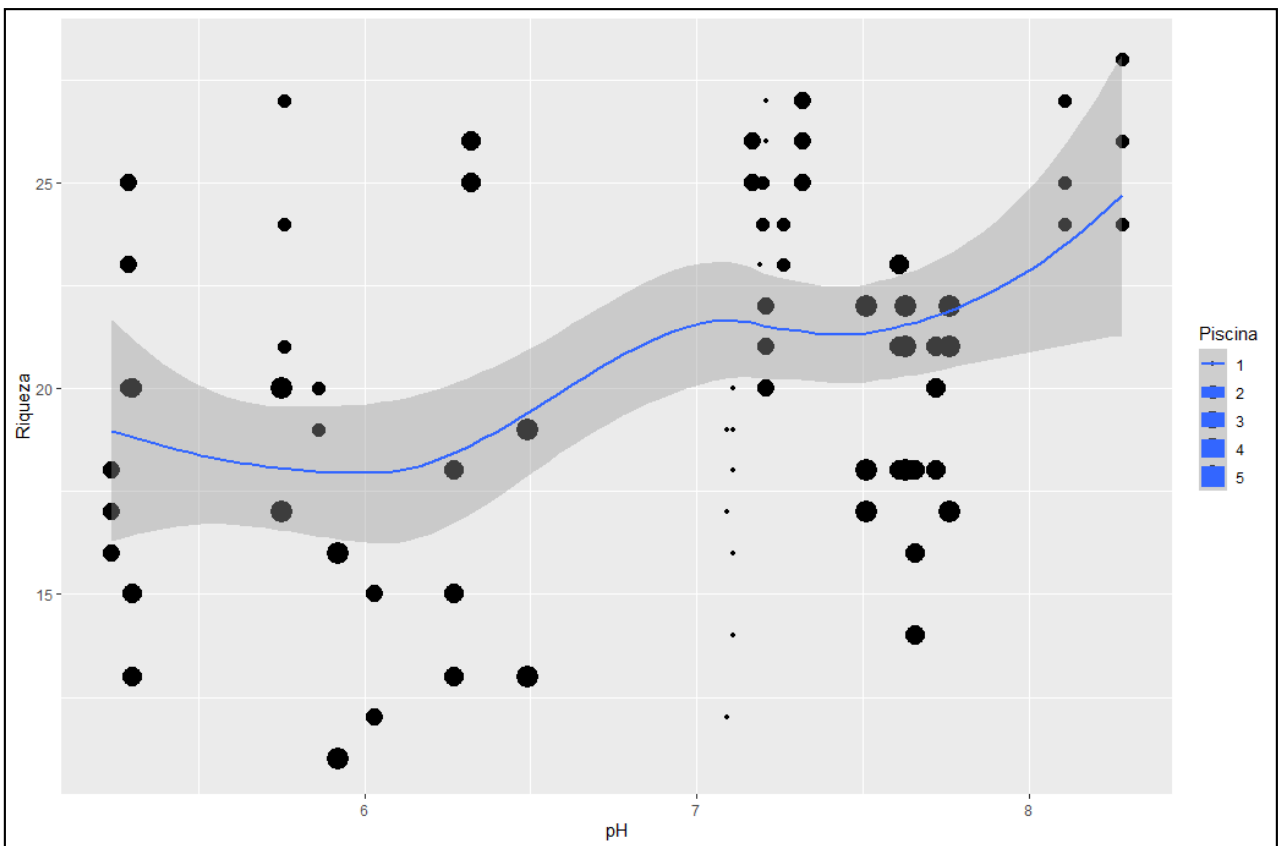


Ilustración 28. Curva de la tendencia general de la riqueza-pH

En cuanto, en la ilustración general de la correlación de regresión lineal riqueza-pH posee un coeficiente positivo de 0.3569823, lo que indica que existe una relación débil entre el pH y la riqueza en las piscinas mineras. Es decir que las piscinas más alcalinas presentan mayor abundancia fitoplanctónica.

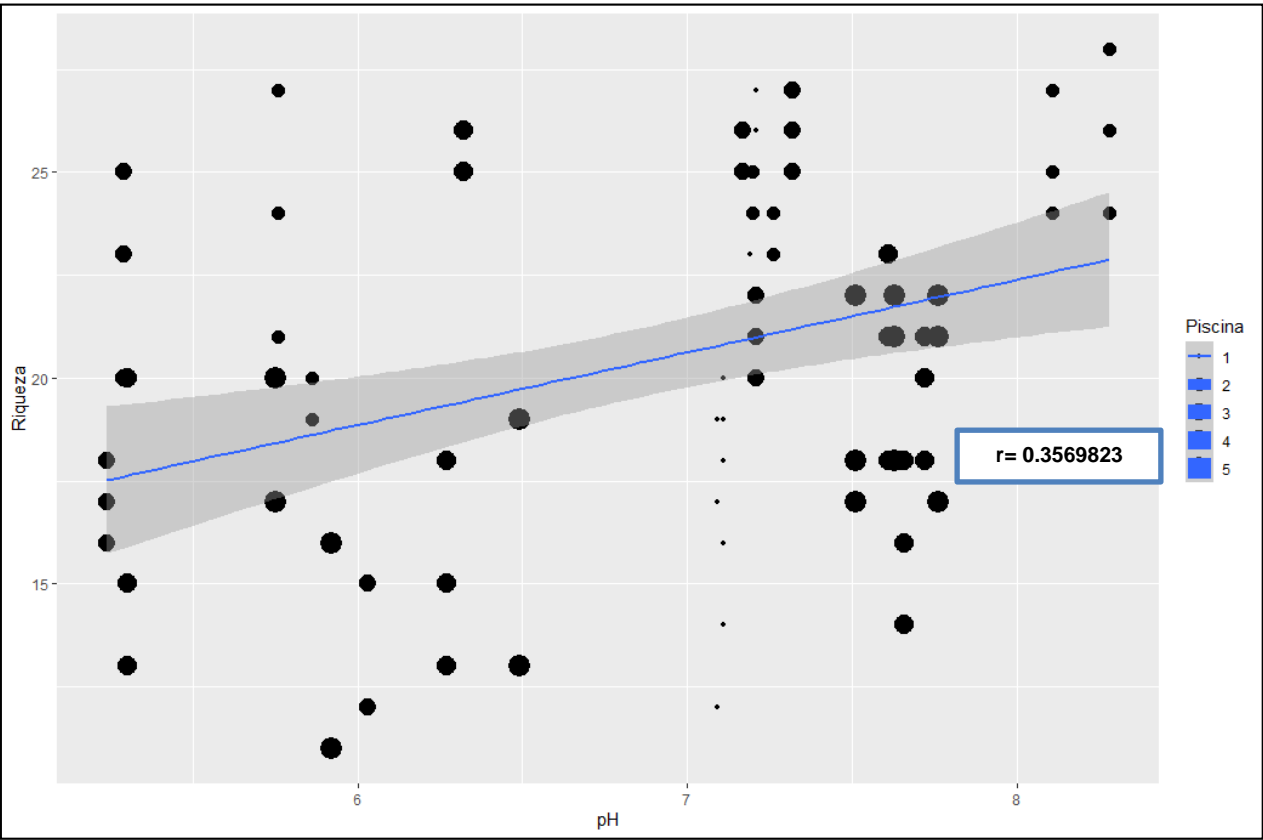
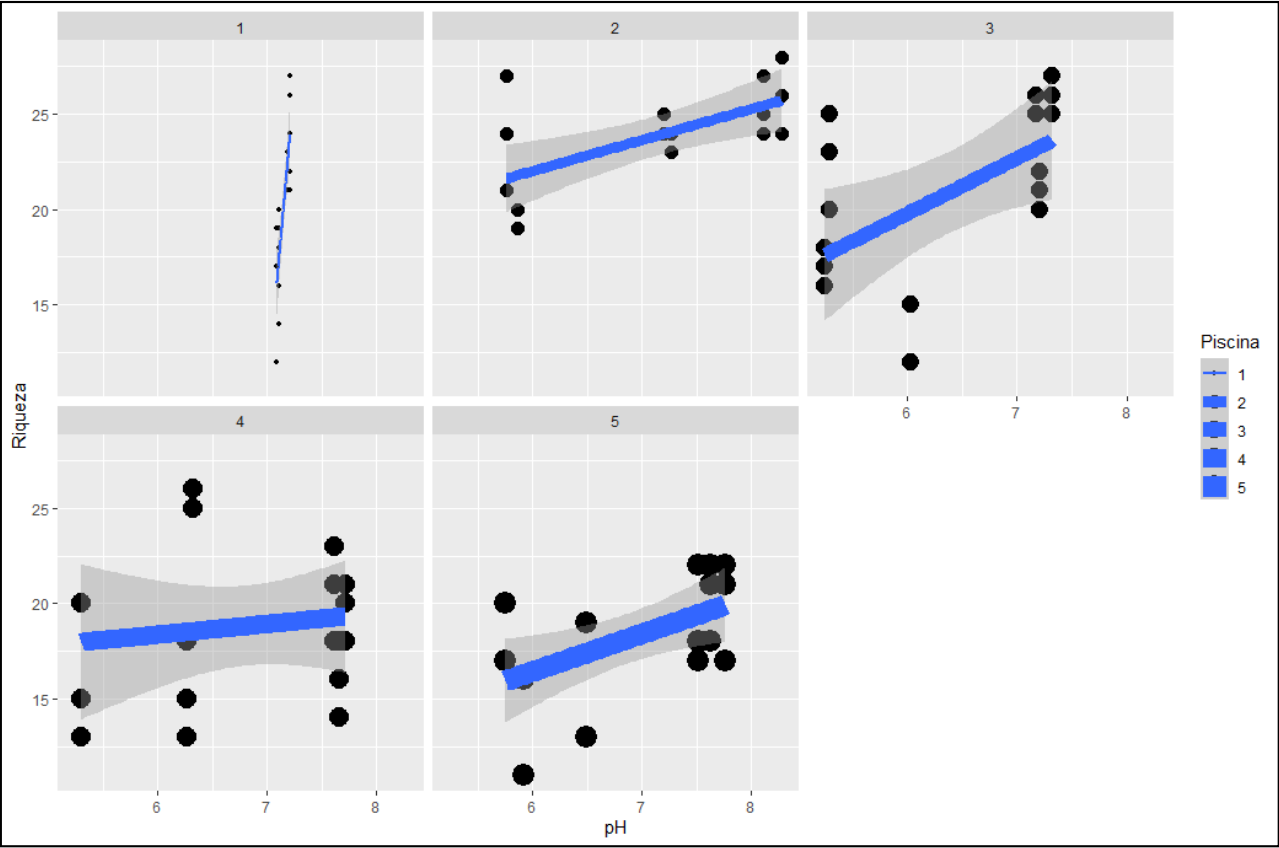


Ilustración 29. Correlación de regresión lineal riqueza-pH

El pH coincide el mismo resultado en todas las piscinas mineras en el comportamiento lineal riqueza-pH. Lo que indica que la riqueza fitoplanctónica aumenta cuando el pH aumenta en los cuerpos de agua.



4.2.3.5 Interpretación de la integración de los variables Abundancia fitoplanctónica y la Conductividad eléctrica del agua.

En la ilustración podemos observar que la tendencia general de la curva abundancia-conductividad eléctrica, la abundancia fitoplanctónica disminuye cuando la CE aumenta en los cuerpos de agua.

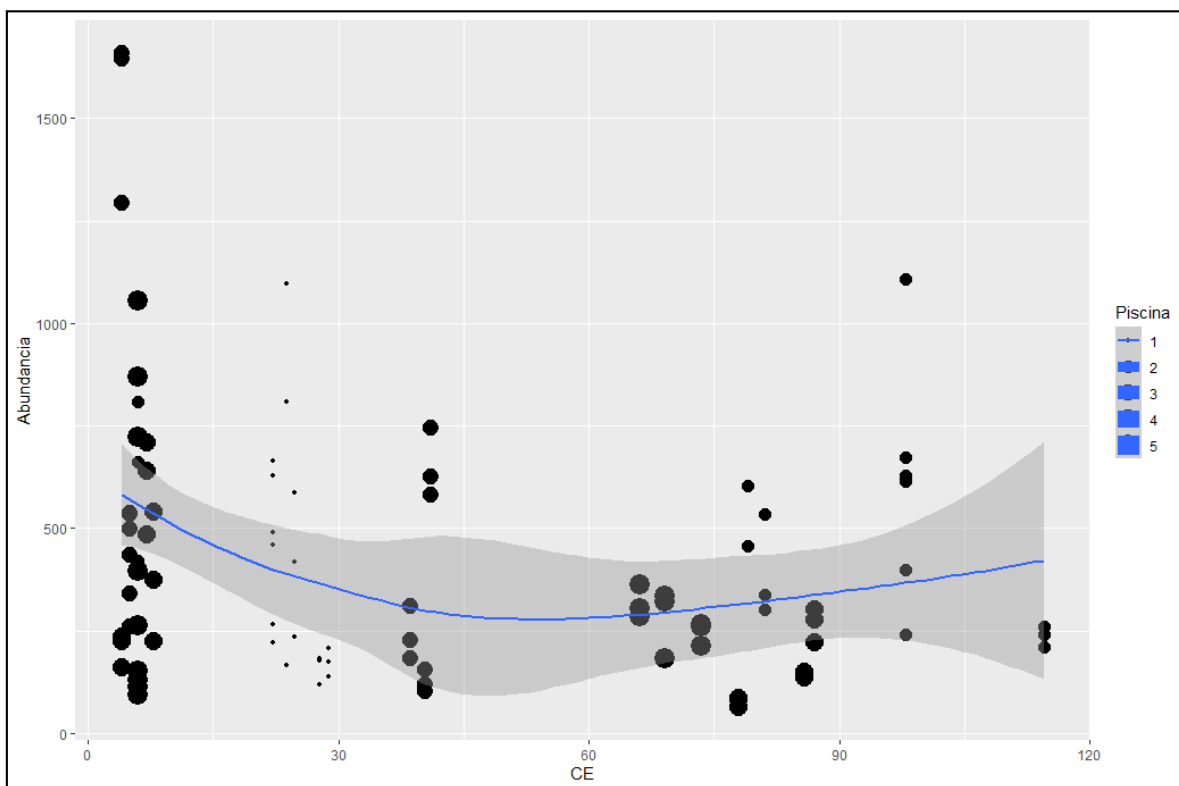


Ilustración 31. Curva general de la tendencia de la abundancia-conductividad eléctrica

En cuanto, en la ilustración general de la correlación de regresión lineal abundancia-CE posee un coeficiente negativo de -0.2384717 , lo que indica que existe una relación débil entre la abundancia y la conductividad eléctrica en las piscinas mineras. La abundancia disminuye al aumentar la CE.

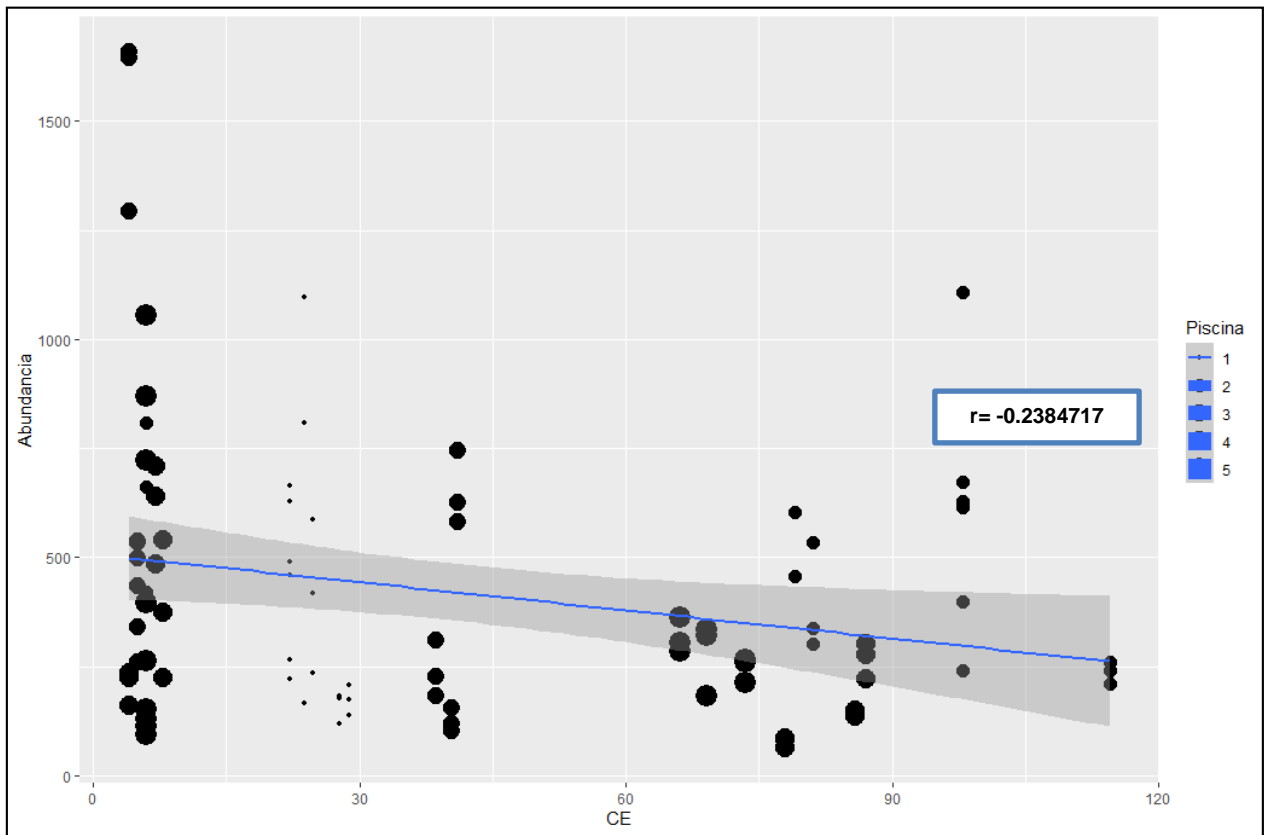


Ilustración 32. Correlación de regresión lineal abundancia- conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es otra variable que coincide el mismo resultado en todas las piscinas mineras. Lo que muestra que la abundancia fitoplanctónica disminuye cuando la CE aumenta en los cuerpos de agua per en diferentes intensidades.

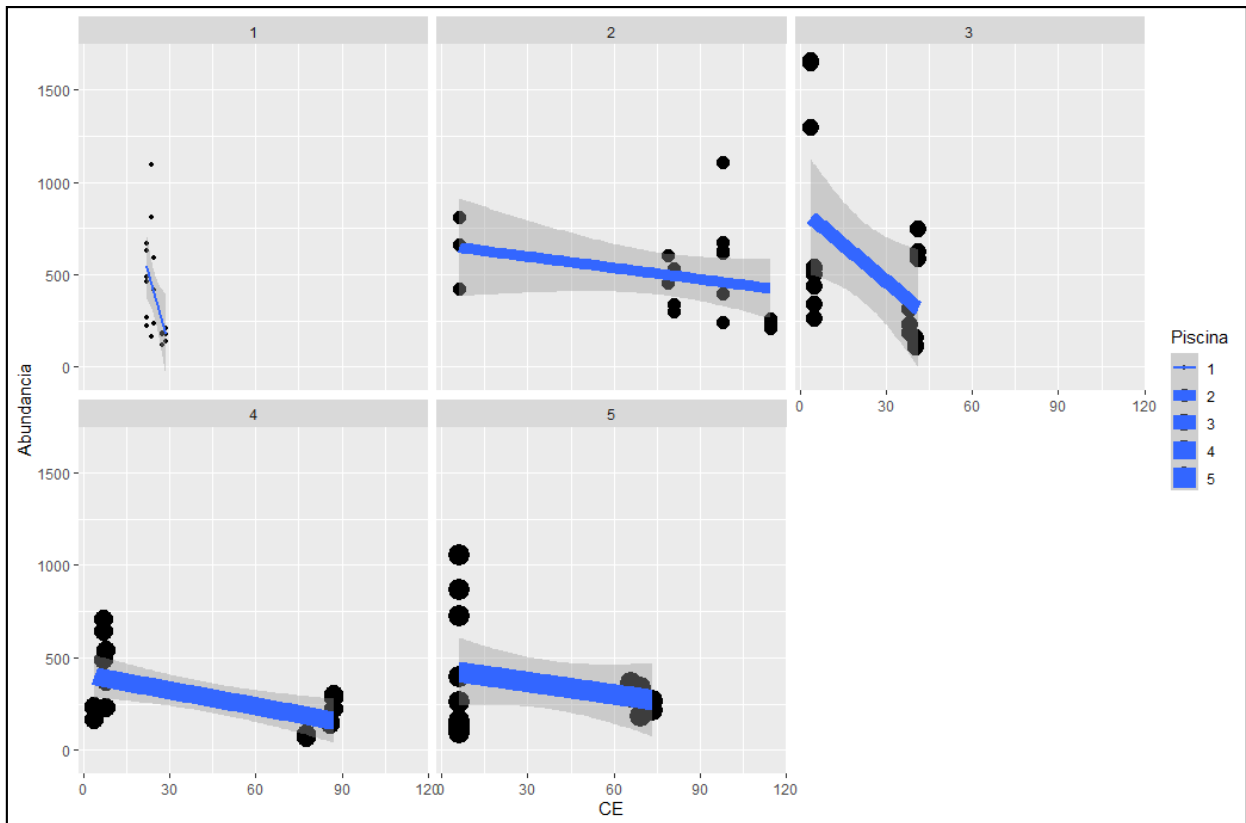


Ilustración 33. Comportamiento de la regresión lineal de las variables abundancia-conductividad eléctrica de las diferentes piscinas mineras

4.2.3.6 Interpretación de la integración de las variables Riqueza fitoplanctónica y la Conductividad eléctrica del agua.

La tendencia de la curva riqueza-conductividad eléctrica en conjunto con la piscina mineras presenta 2 puntos de inflexión en 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$; lo que indica que 5 a 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ la riqueza media del fitoplancton aumenta, 40 a 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ disminuye y de 60 a 110 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aumenta.

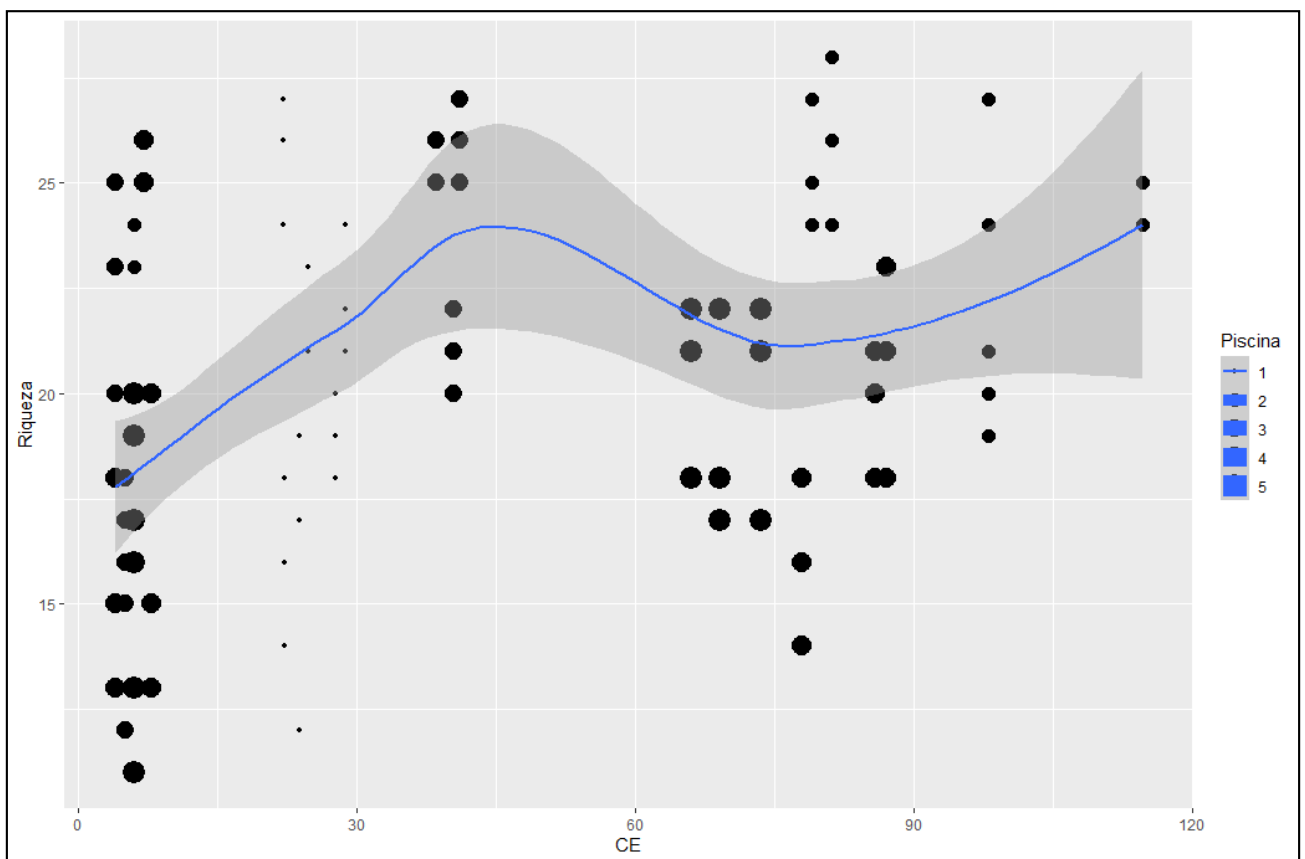


Ilustración 34. Curva general de la tendencia de la curva riqueza-conductividad eléctrica

En cuanto, en la ilustración general de la correlación de regresión lineal riqueza-conductividad eléctrica posee un coeficiente positivo de 0.3212214, lo que indica que existe una relación débil entre la CE y la riqueza en las piscinas mineras. La riqueza del fitoplancton aumenta cuando el CE aumenta.

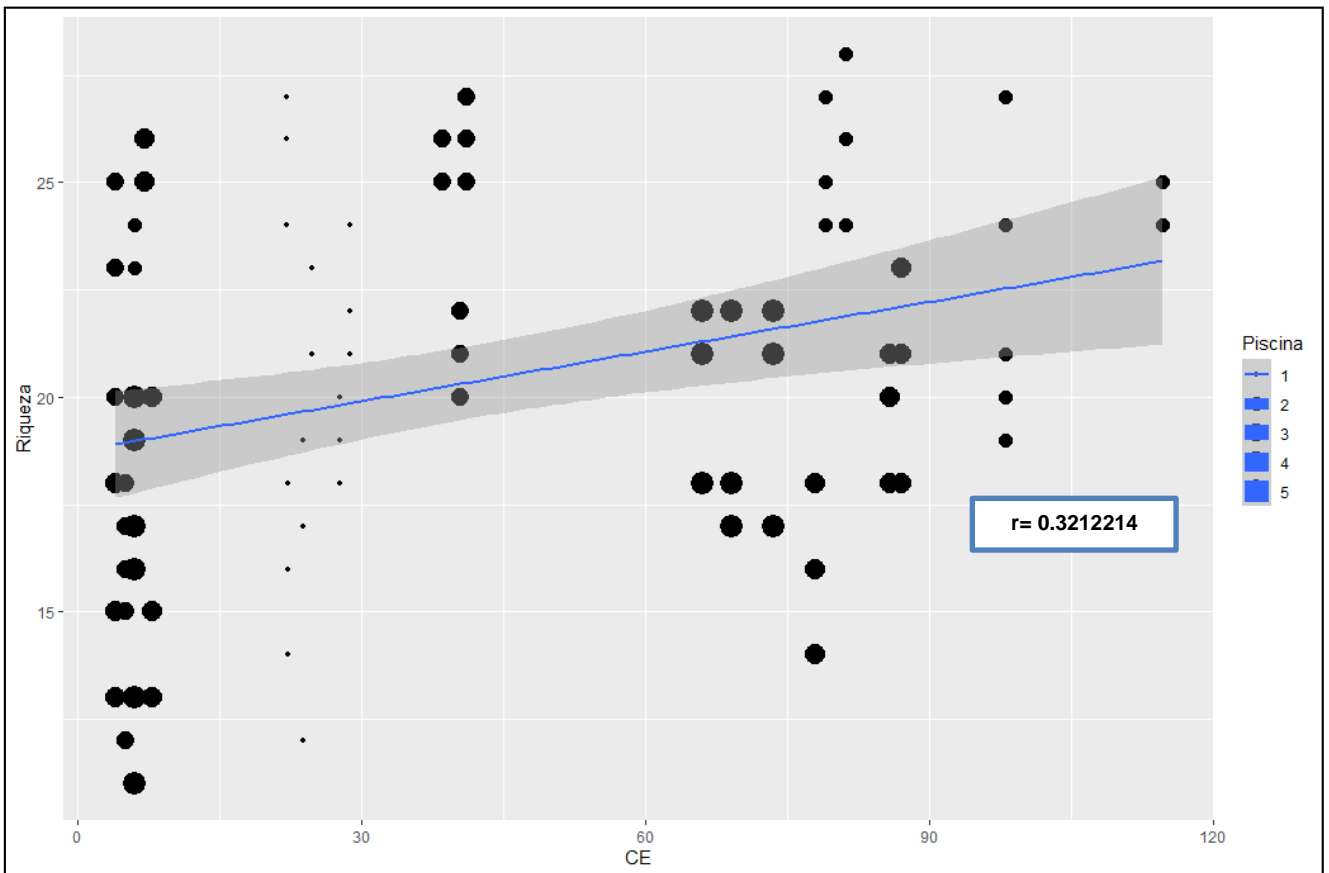


Ilustración 35. Correlación de regresión lineal riqueza-conductividad eléctrica

El resultado de la correlación lineal lo podemos atribuir en la siguiente ilustración; puesto cada piscina es diferente respecto al comportamiento de los valores riqueza-conductividad eléctrica. En las piscinas 1,3 y 5 ocurre un aumento en la riqueza fitoplanctónica cuando aumenta la CE; sin embargo, las piscinas 2 y 4 la riqueza del fitoplancton no existe tanta diferencia cuando aumenta la CE.

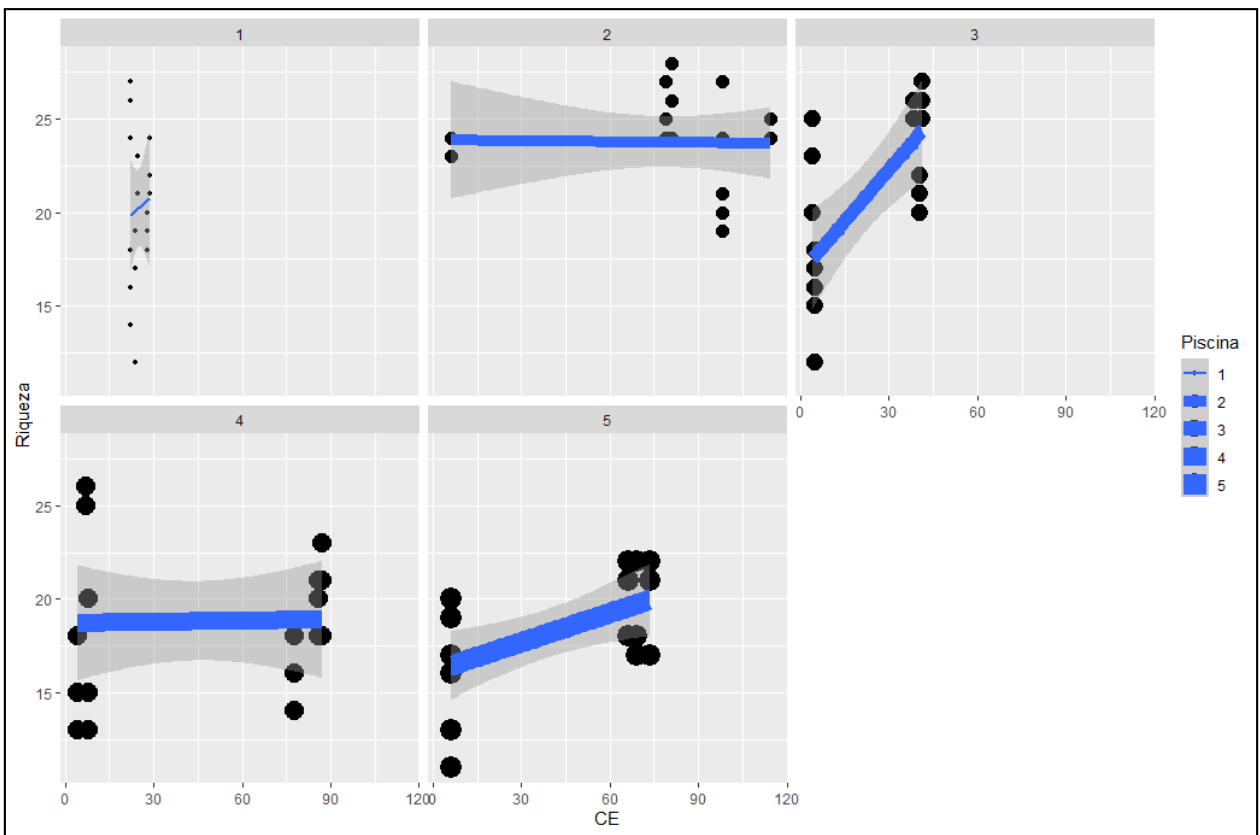


Ilustración 36. Comportamiento de la regresión lineal de las variables riqueza-conductividad eléctrica de las diferentes piscinas mineras

4.2.3.7 Interpretación de la integración de las variables Abundancia fitoplanctónica y Oxígeno disuelto.

Durante los dos muestreos el sensor de oxígeno falló por lo cual no logramos obtener datos de la piscina 1. La tendencia de la curva abundancia-oxígeno disuelto en conjunto con la piscina mineras presenta 2 puntos de inflexión en 3,6 mg/l 4,4 mg/l; lo que indica que 1,9 a 3,6 mg/l la abundancia media del fitoplancton aumenta, 3,6 a 4,4 mg/l disminuye y de 4,4 a 5,5 mg/l aumenta.

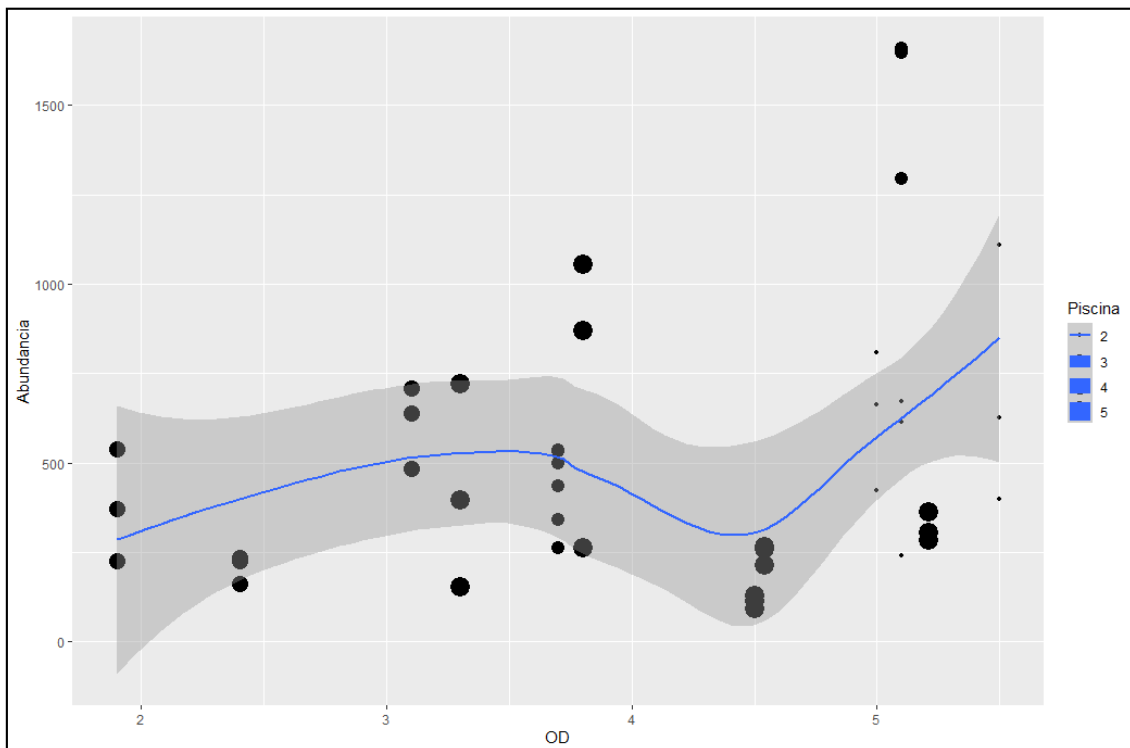


Ilustración 37. Curva general de la tendencia abundancia-oxígeno disuelto

La ilustración general de la correlación de regresión lineal abundancia-oxígeno disuelto posee un coeficiente positivo de 0.3032214, lo que indica que existe una relación débil entre el oxígeno disuelto y la abundancia en las piscinas mineras. La abundancia del fitoplancton aumenta cuando el OD aumenta.

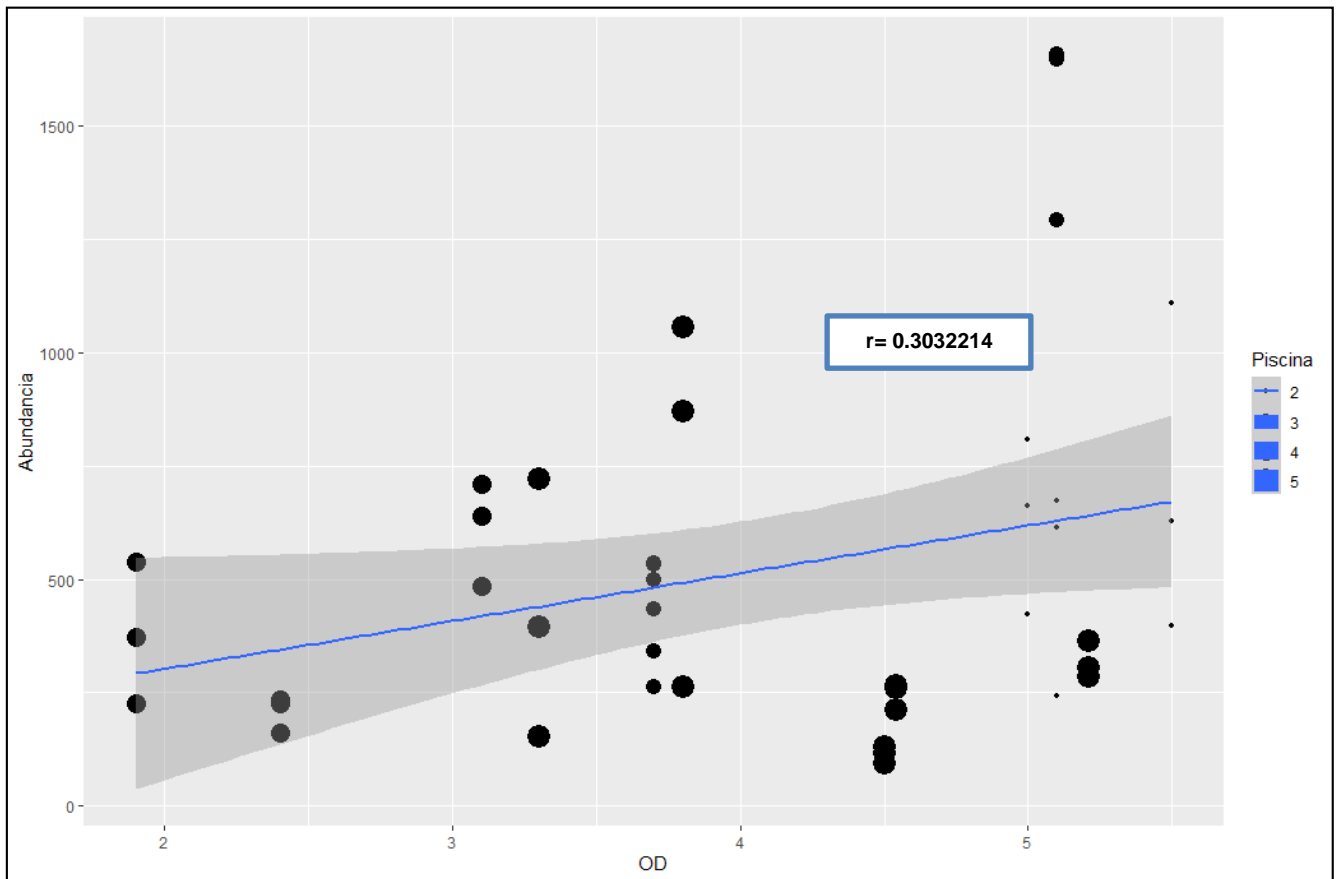


Ilustración 38. Correlación de regresión lineal abundancia-oxígeno disuelto

En la siguiente ilustración se observa que las piscinas 2,3 y 4 muestran una tendencia de aumento de la abundancia fitoplanctónica al aumentar el oxígeno; mientras que piscina 5 muestra todo lo contrario.

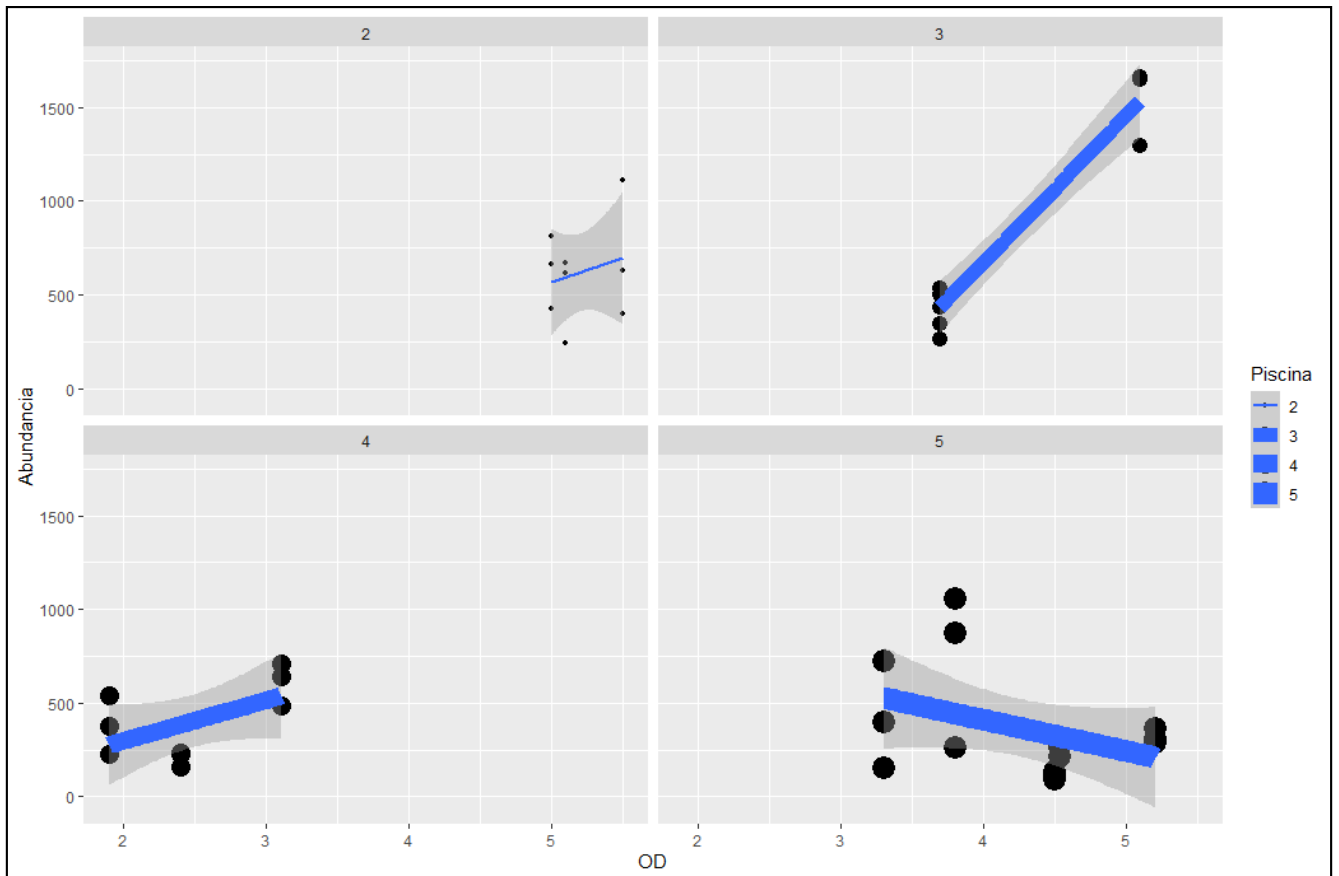


Ilustración 39. Comportamiento de la regresión lineal de los variables abundancia-oxígeno disuelto de las diferentes piscinas mineras

4.2.3.8 Interpretación de la integración de las variables Riqueza fitoplanctónica y Oxígeno disuelto.

La tendencia de la curva riqueza-oxígeno disuelto en conjunto con la piscina mineras presenta 2 puntos de inflexión en 3,6 mg/l 4,4 mg/l; lo que indica que 1,9 a 3,6 mg/l la riqueza media del fitoplancton aumenta, 3,6 a 4,4 mg/l disminuye y de 4,4 a 5,5 mg/l aumenta.

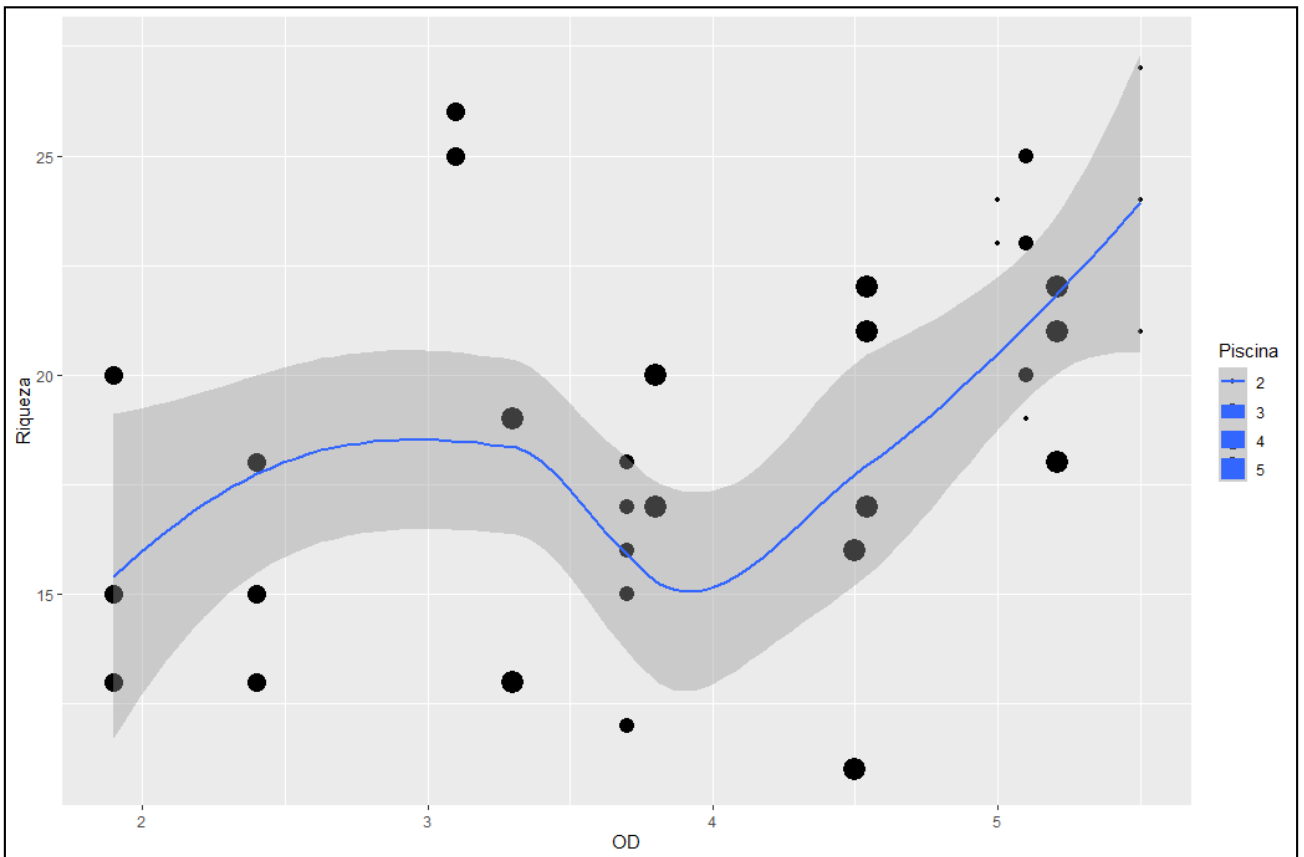


Ilustración 40. Curva general de la tendencia de la riqueza-oxígeno disuelto

La ilustración general de la correlación de regresión lineal riqueza-oxígeno disuelto posee un coeficiente positivo de 0.4276713, lo que indica que existe una relación débil entre el oxígeno disuelto y la riqueza en las piscinas mineras. La riqueza del fitoplancton aumenta cuando el OD aumenta.

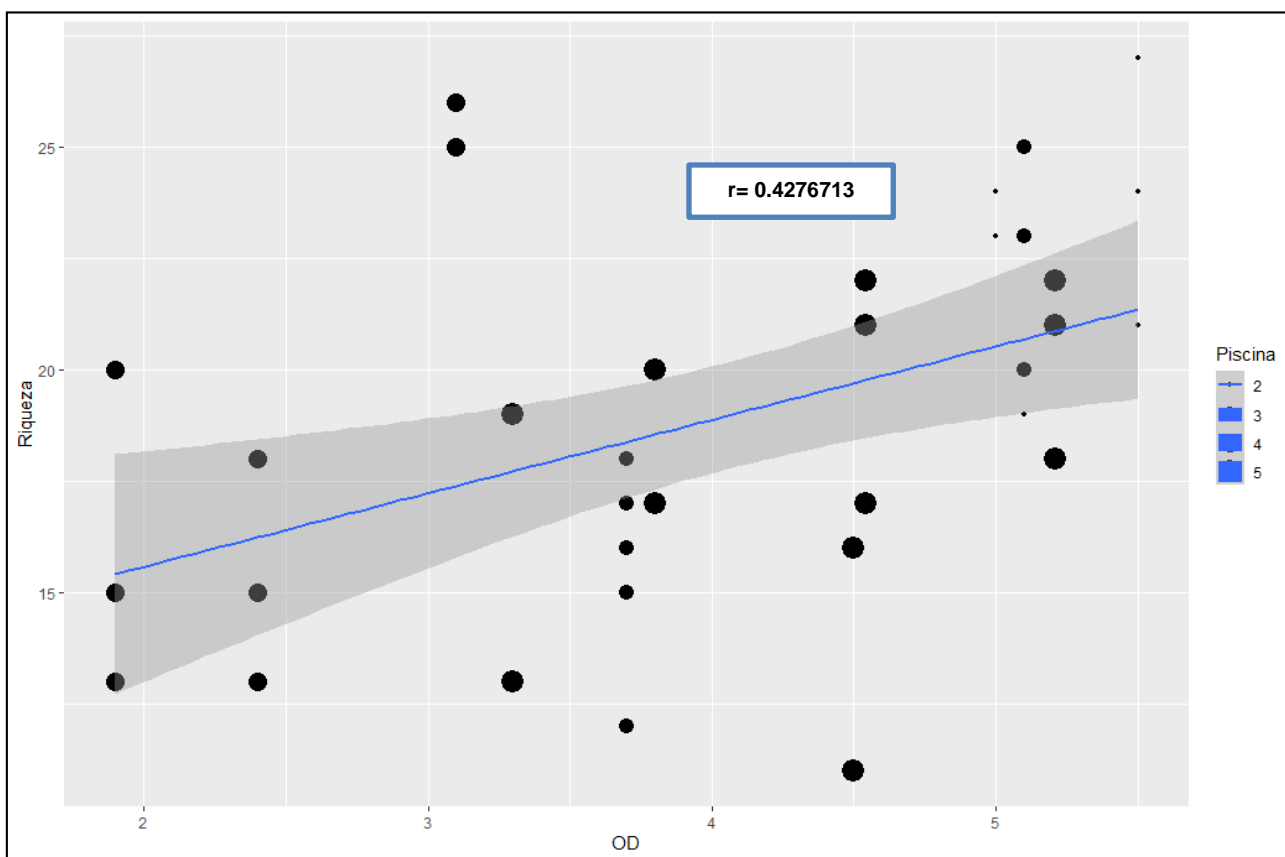


Ilustración 41. Correlación de regresión lineal riqueza-oxígeno disuelto

En la siguiente ilustración se observa que todas las piscinas mineras abandonadas muestran una tendencia de aumento de la riqueza fitoplanctónica al aumentar el oxígeno.

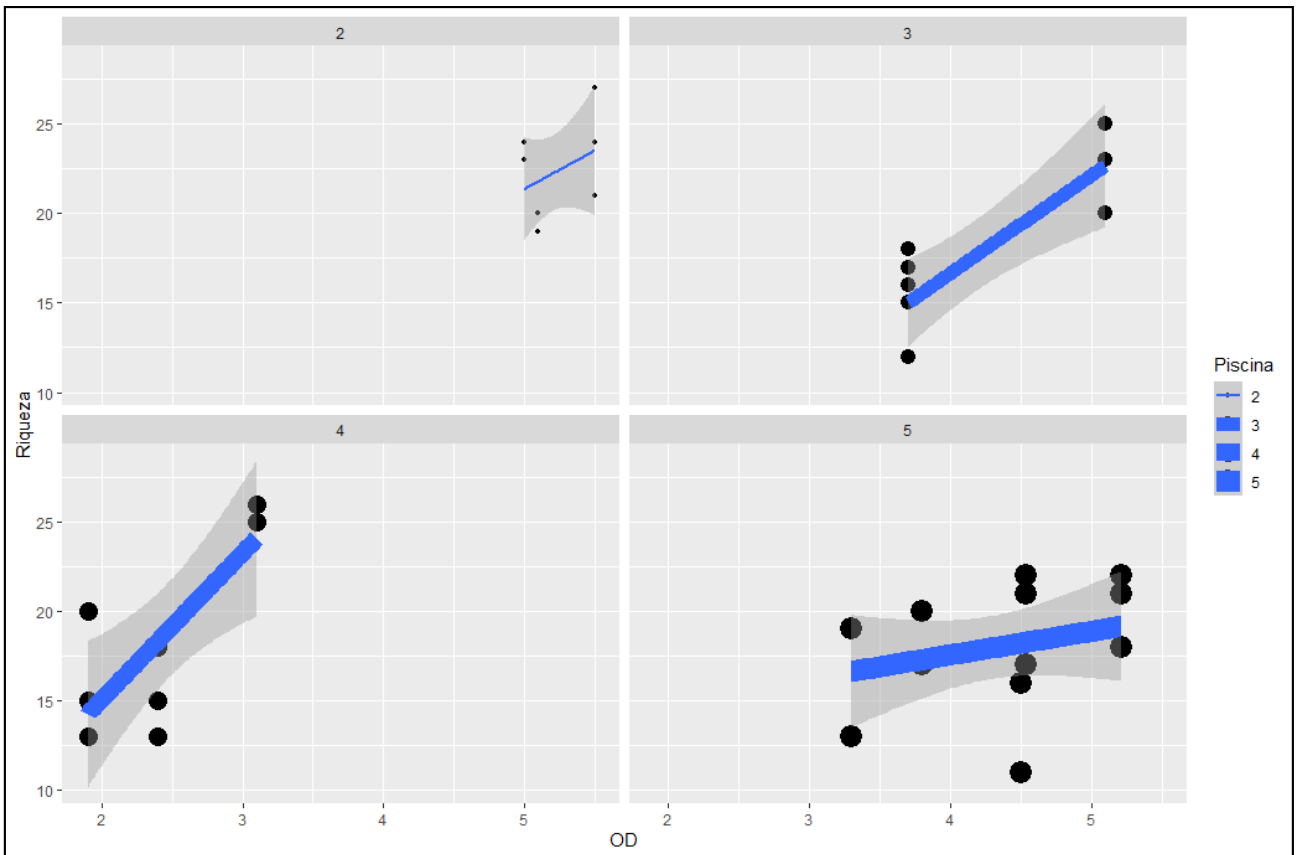


Ilustración 42. Comportamiento de la regresión lineal de las variables riqueza-oxígeno disuelto en las diferentes piscinas mineras

4.2.3.9 Interpretación de la integración de las variables Abundancia fitoplanctónica y Profundidad.

En la ilustración podemos observar que la tendencia general de la curva abundancia-profundidad, la abundancia fitoplanctónica disminuye cuando la profundidad aumenta en los cuerpos de agua.

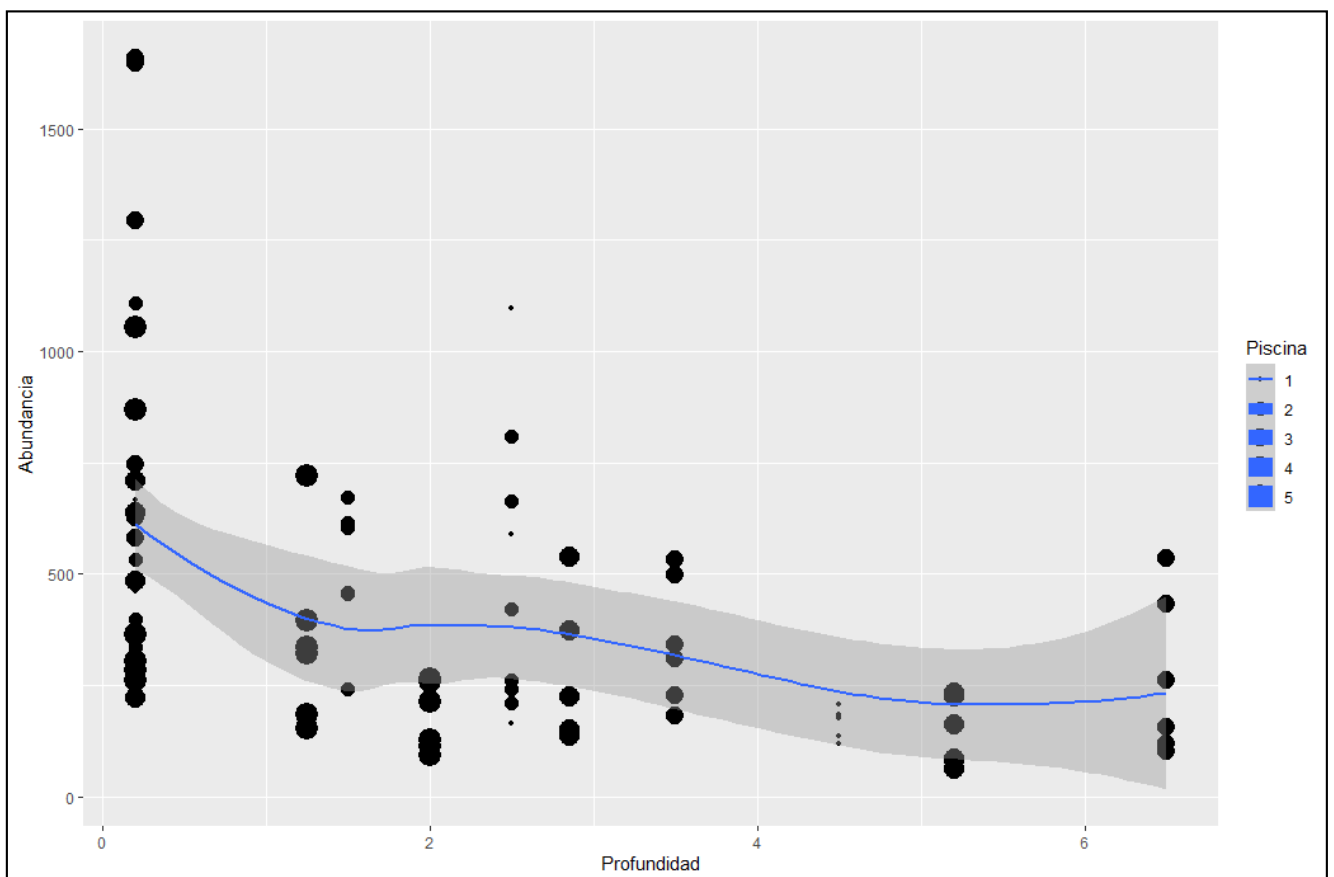


Ilustración 43. Curva general de la tendencia de la abundancia-profundidad

La ilustración general de la correlación de regresión lineal abundancia-profundidad posee un coeficiente negativo de -0.4442056 , lo que indica que existe una relación débil entre la abundancia y las profundidades de las piscinas mineras. Es decir que las microalgas disminuyen al aumentar la profundidad.

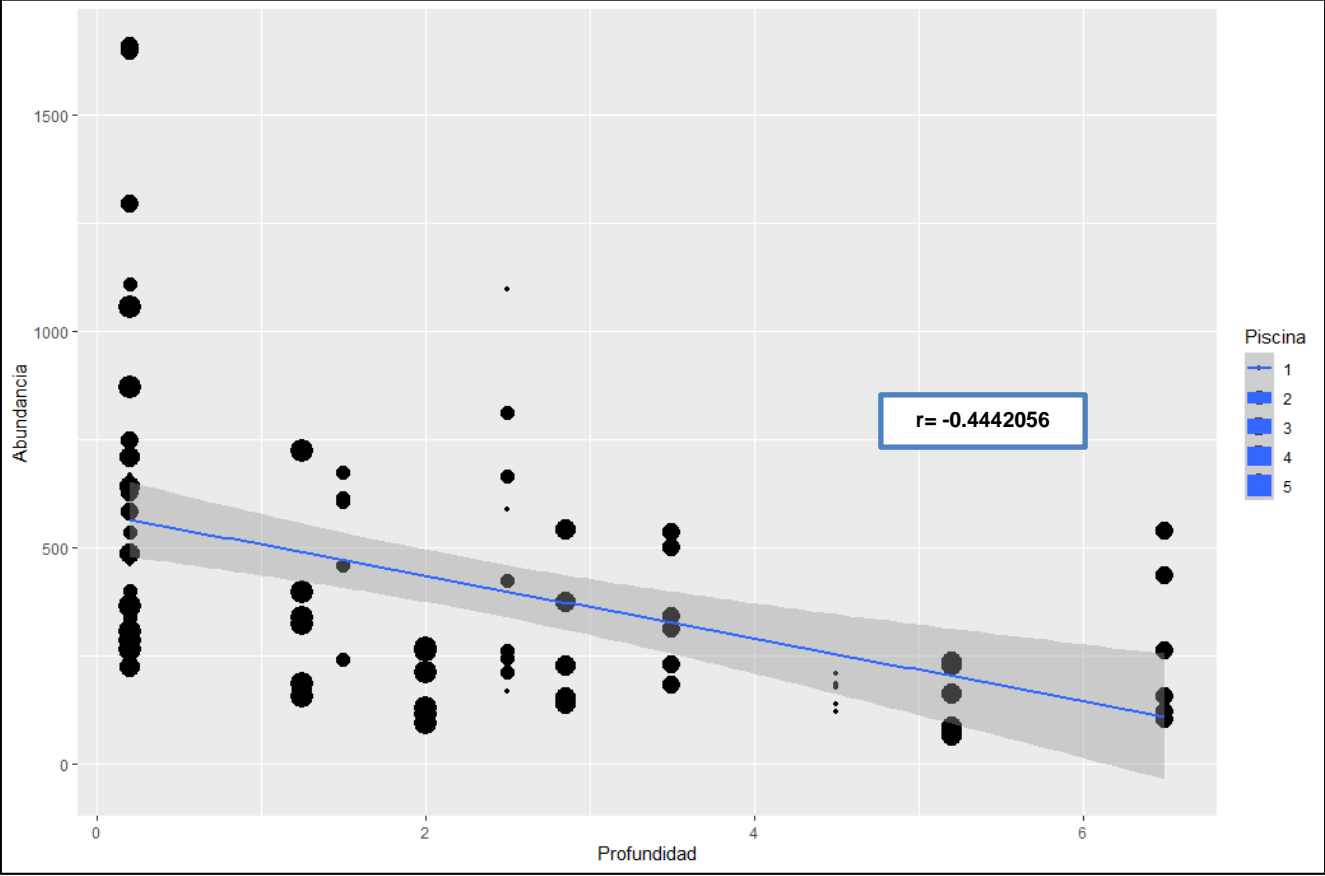


Ilustración 44. Correlación de regresión lineal abundancia-profundidad

En la siguiente ilustración se observa que todas las piscinas mineras abandonadas muestran una tendencia de disminución de la abundancia fitoplanctónica al aumentar la profundidad.

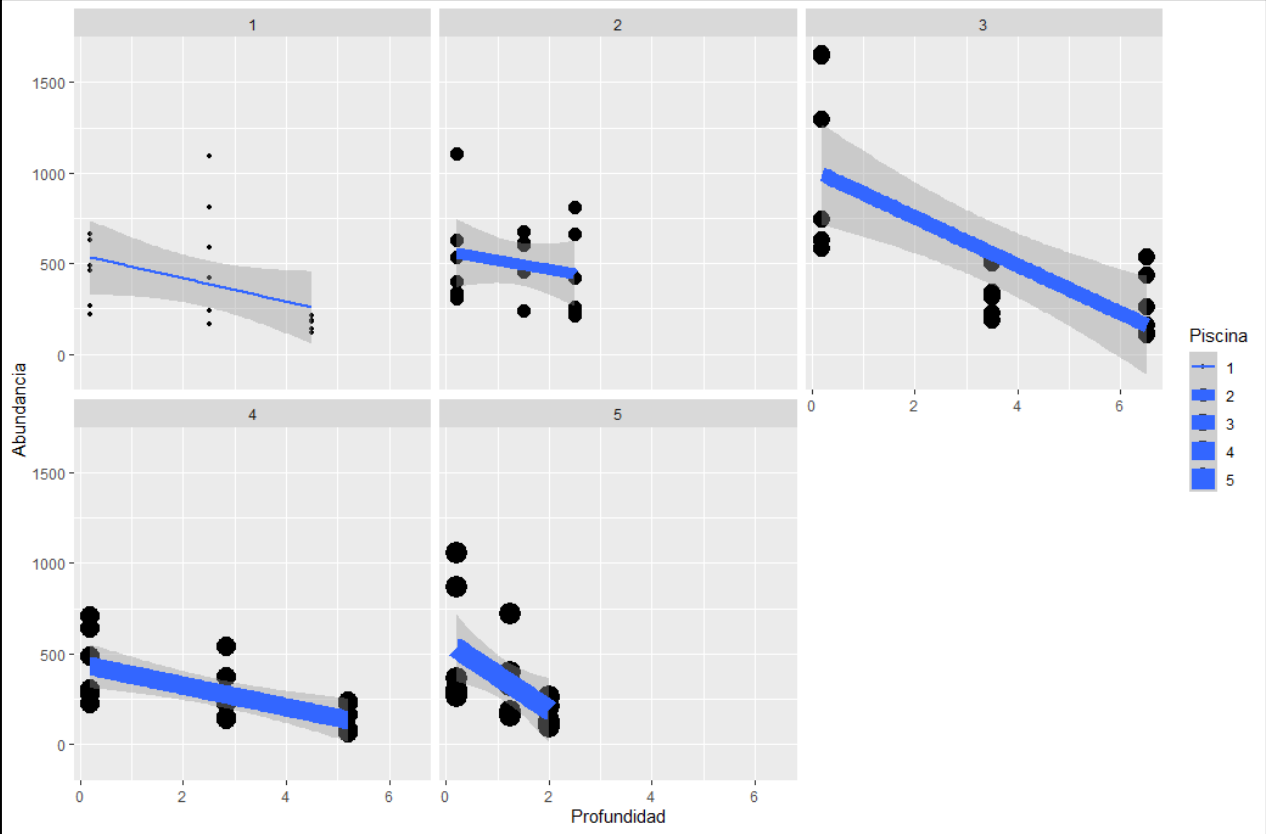


Ilustración 45. Comportamiento de la regresión lineal de las variables abundancia-profundidad de las diferentes piscinas mineras

4.2.3.10 Interpretación de la integración de las variables riqueza fitoplanctónica y profundidad.

En la ilustración podemos observar que la tendencia general de la curva riqueza-profundidad, la diversidad fitoplanctónica disminuye cuando la profundidad aumenta en los cuerpos de agua.

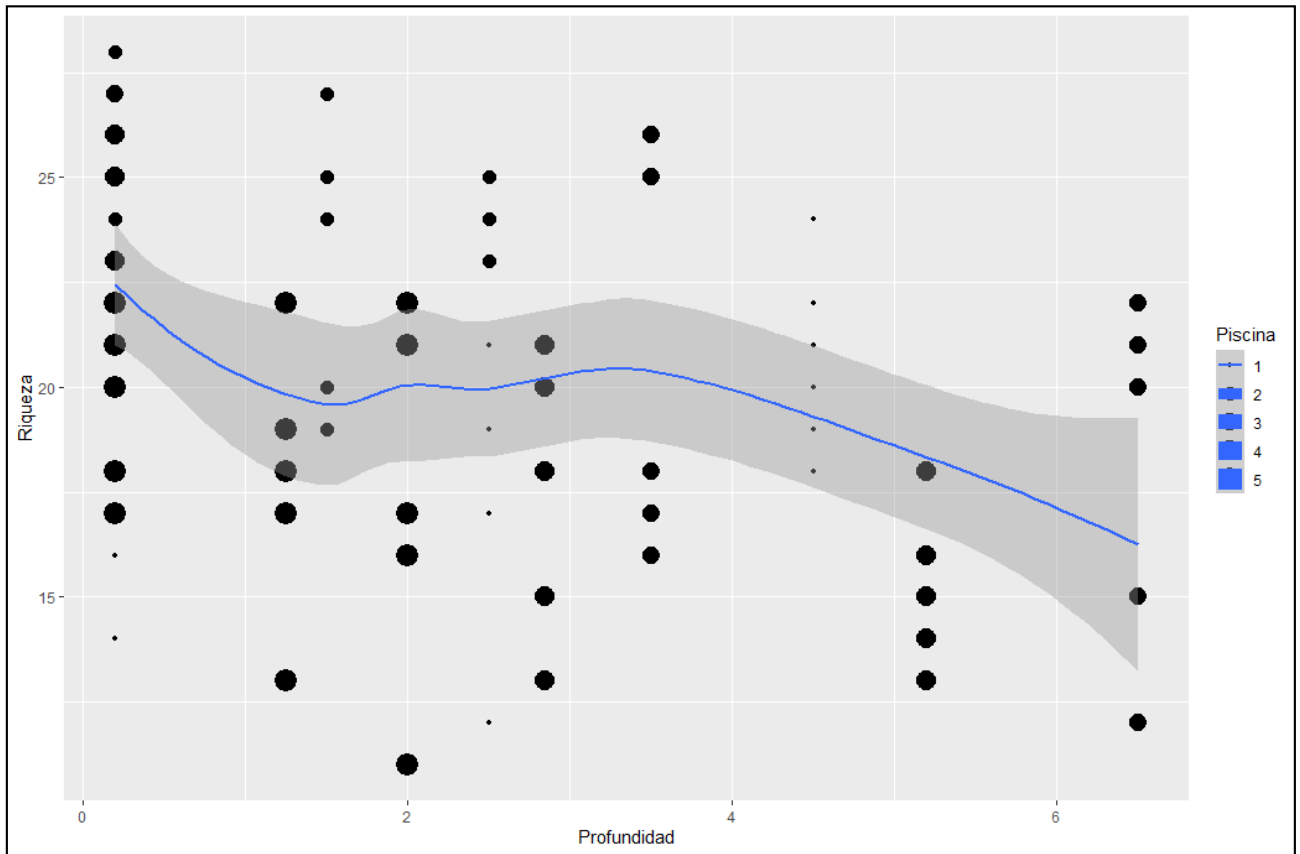


Ilustración 46. Curva general de la tendencia riqueza-profundidad

La ilustración general de la correlación de regresión lineal riqueza-profundidad posee un coeficiente negativo de -0.3830842, lo que indica que existe una relación débil entre la riqueza y las profundidades de las piscinas mineras. Es decir que la diversidad de las microalgas disminuye al aumentar la profundidad.

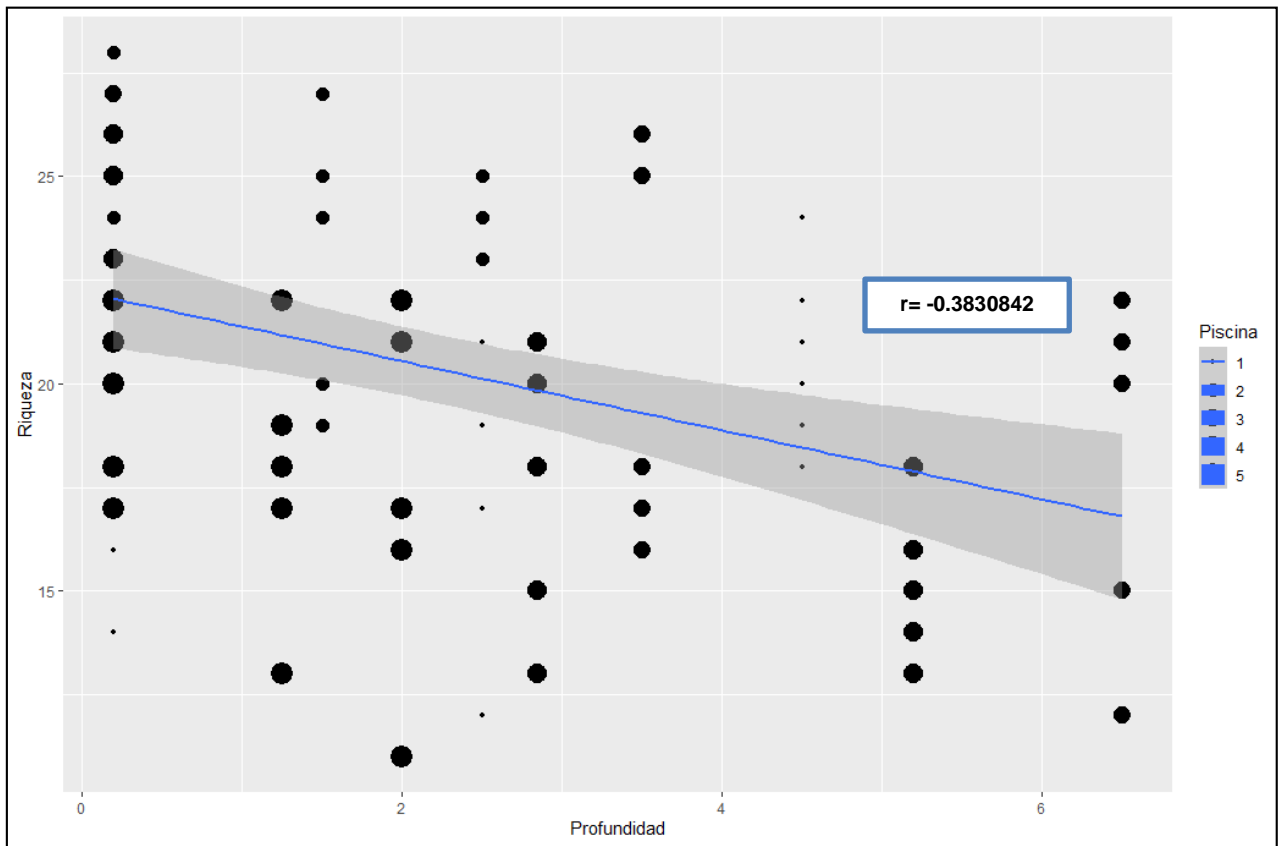


Ilustración 47. Correlación de regresión lineal riqueza-profundidad

En la siguiente ilustración se observa que las piscinas (2,3,4 y 5) mineras abandonadas muestran una tendencia de disminución de la riqueza fitoplanctónica al aumentar la profundidad. A excepción de la piscina 1 que la diversidad fitoplanctónica se mantiene estable.

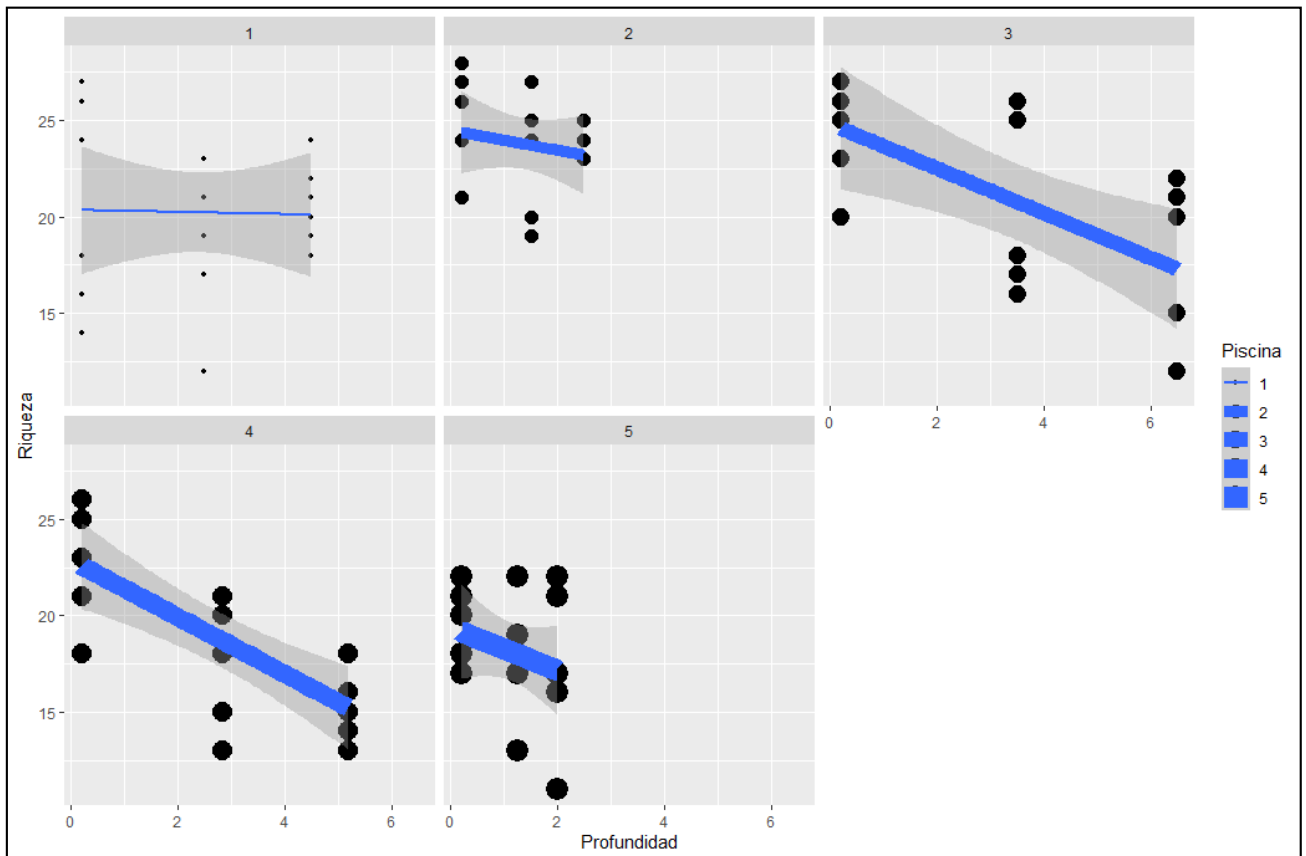


Ilustración 48. Comportamiento de la regresión lineal de las variables riqueza-profundidad de las diferentes piscinas mineras

4.2.3.11 Interpretación de la integración de las variables abundancia fitoplanctónica y riqueza

En la ilustración podemos observar que la tendencia general de la curva abundancia-riqueza, la diversidad fitoplanctónica aumenta cuando la abundancia aumenta en los cuerpos de agua.

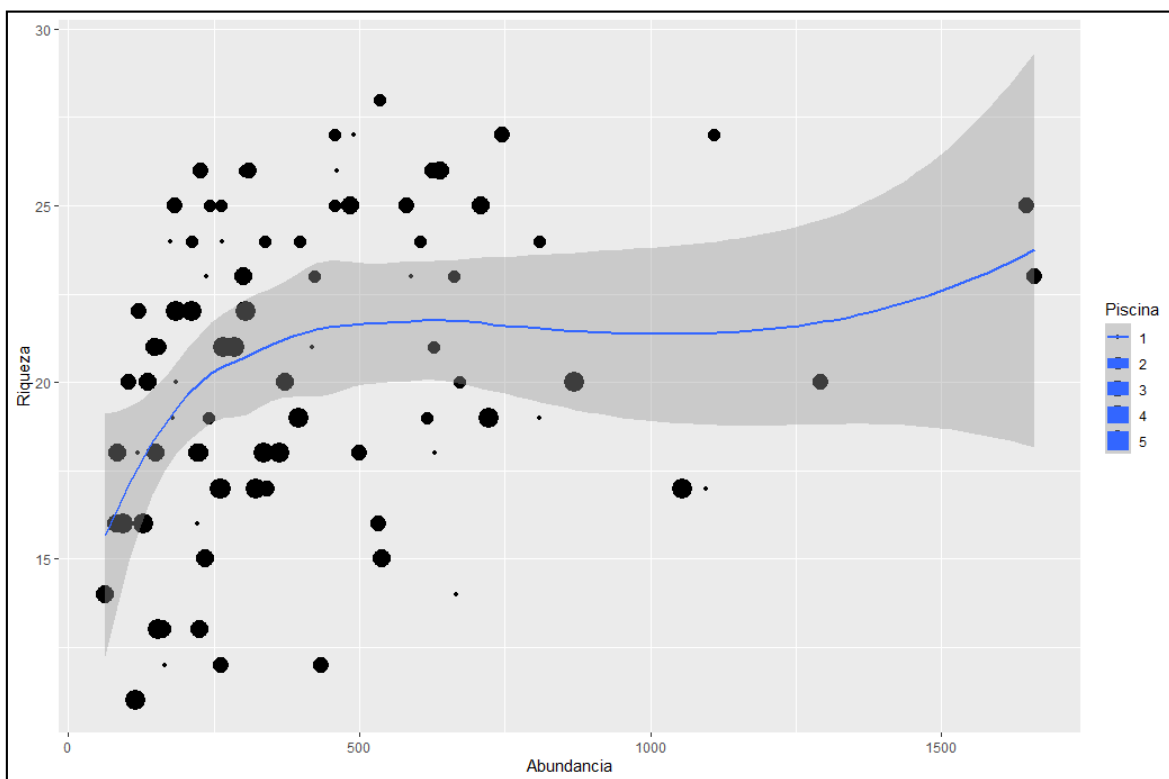


Ilustración 49. Curva general de la tendencia riqueza-abundancia

La ilustración general de la correlación de regresión lineal abundancia-riqueza posee un coeficiente positivo de 0.253285, lo que indica que existe una relación débil entre la riqueza y la abundancia fitoplanctónicas en las piscinas mineras. Es decir que la diversidad de las microalgas aumenta al incrementar la abundancia.

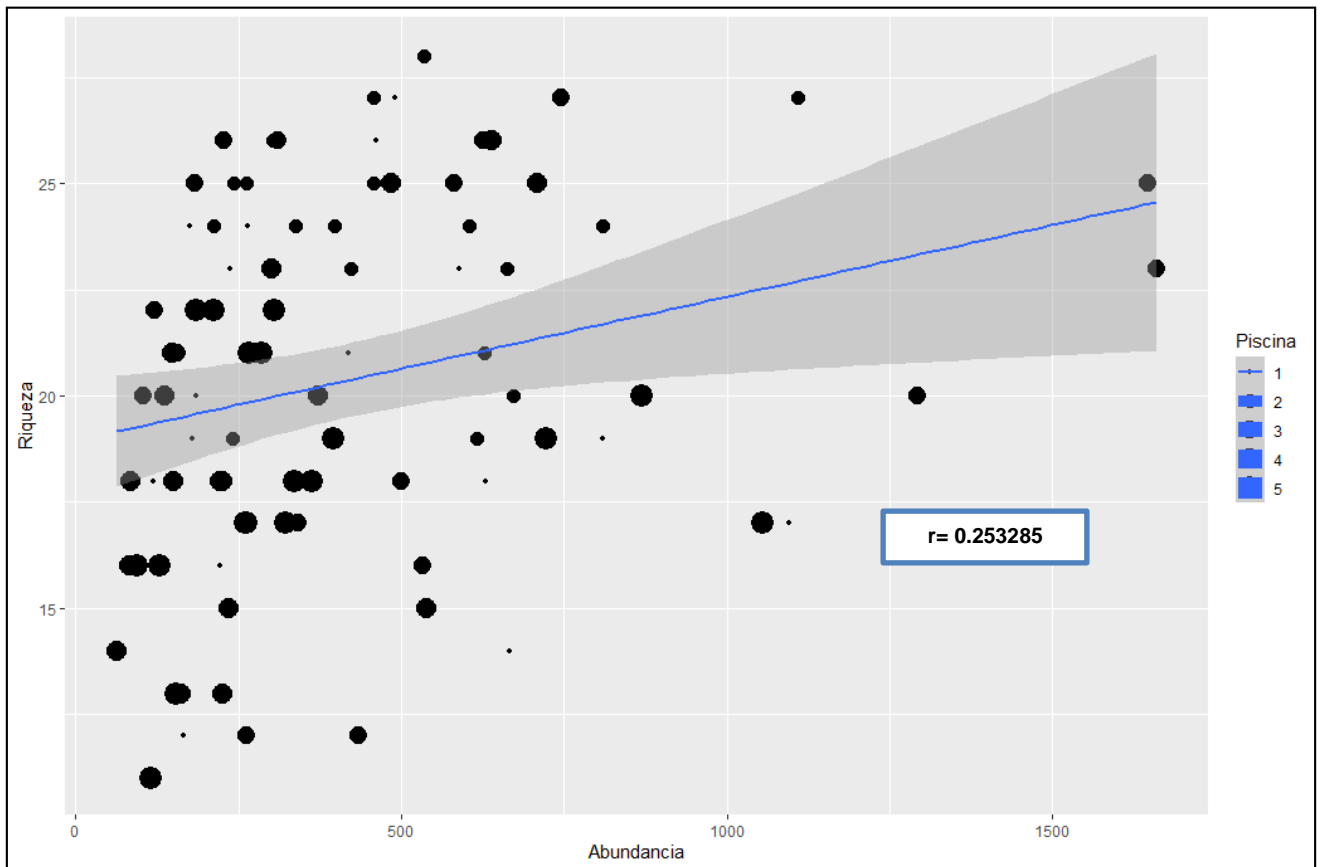


Ilustración 50. Correlación de regresión lineal riqueza-abundancia

El resultado de la correlación lineal lo podemos atribuir en la siguiente ilustración; puesto cada piscina es diferente respecto al comportamiento de la regresión lineal de las variables riqueza-abundancia. En las piscinas 3,4 y 5 ocurre un aumento en la riqueza fitoplanctónica cuando aumenta la abundancia; sin embargo, la piscina 1 ocurre todo lo contrario y la piscina 2 la riqueza del fitoplancton no existe tanta diferencia cuando aumenta la abundancia.

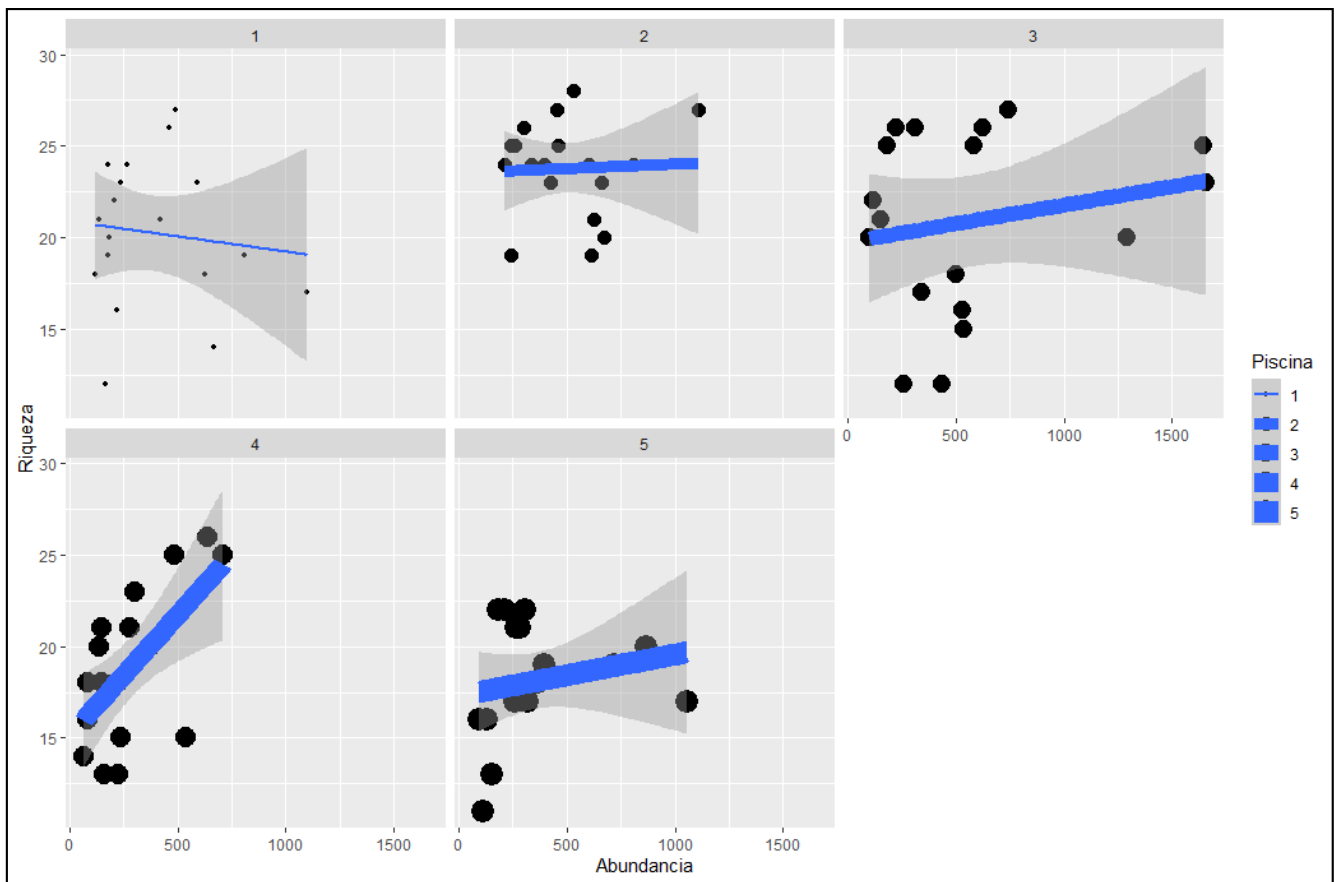


Ilustración 51. Comportamiento de la regresión lineal de las variables riqueza-abundancia de las diferentes piscinas mineras

4.2.3.12 Análisis de Componentes Principales

En la Tabla 10 se observa los códigos de colores empleados en las figuras sobre los componentes principales de acuerdo a la ubicación las de las piscinas mineras abandonadas.

Tabla 10. Leyenda de los componentes principales

PISCINAS MINERAS	MUESTREO 1	CÓDIGO COLOR	MUESTREO 2	CÓDIGO COLOR
Piscina 1	1a	Verde	1b	Amarillo
Piscina 2	2a	Azul	2b	Azul
Piscina 3	3a	Rojo	3b	Rojo
Piscina 4	4a	Oro	4b	Verde
Piscina 5	5a	Magenta	5b	Magenta

En la Ilustración 52. sobre el análisis de los componentes principales de los parámetros físico-químicos a nivel temporal observa los niveles registrados de temperatura y conductividad eléctrica que se encuentran en las piscinas (3a,3b, 5a,5b) ya que registran los valores más bajos de ambos parámetros. Estas agrupaciones se encuentran en el componente 1(99,01%). En el componente 2 (0,13%) agrupa las piscinas por muestreo (1b,2b,4b, 4a) determinada por la riqueza o diversidad de géneros siendo estas piscinas con el menor índice de diversidad.

En la Ilustración 53. sobre el análisis de los componentes principales de los parámetros físico-químicos a nivel temporal y los principales géneros identificados observa que los niveles más altos de CE se encuentran las piscinas 3 (a,b), 2 (a,b) y 4b, lo cual presentó género fitoplancton con alta abundancia *Trachelomonas sp.*,

Diploides sp., *Tetraedron sp.*, *Scedesmus sp.* estas agrupaciones se encuentran en el componente 1(79,51%). En el componente 2 (5,94%) se agrupan las piscinas 1 y 5 estas también engloban género con mayor abundancia como *Peridium sp.*, *Coelastrum sp.*, y *Anabaena sp.*

En la Ilustración 54. sobre el análisis de correlación canónica de los componentes principales de los géneros identificados y los componentes principales de los parámetros físico-químicos a nivel temporal. En el componente 1(36,1%) la piscina 2 (2a,2b) presentó los niveles más alto de conductividad eléctrica y temperatura, por lo cual exhibió géneros fitoplanctónicos con alta abundancia registrada en el estudio como *Anabaena sp.*, *Peridium sp.*, *Pinnularia sp.*, y *Tetraedrom sp.* En este componente también registró que la piscina 1 (1a, 1b) posee los niveles más altos de ph en el estudio, pero este presentó géneros con menor abundancia como *Ankistredesmus sp.*, *Keratella*, *Staurastrum*. En el componente 2 (28,07%) agrupa 2 piscinas 3(3a,3b) y 4(4a,4b) estas piscinas registran los niveles más altos de turbidez por en ende exhibió géneros fitoplanctónicos con alta abundancia como *Trachelomonas sp.*, *Navícula sp.* y *Cosmarium sp.*

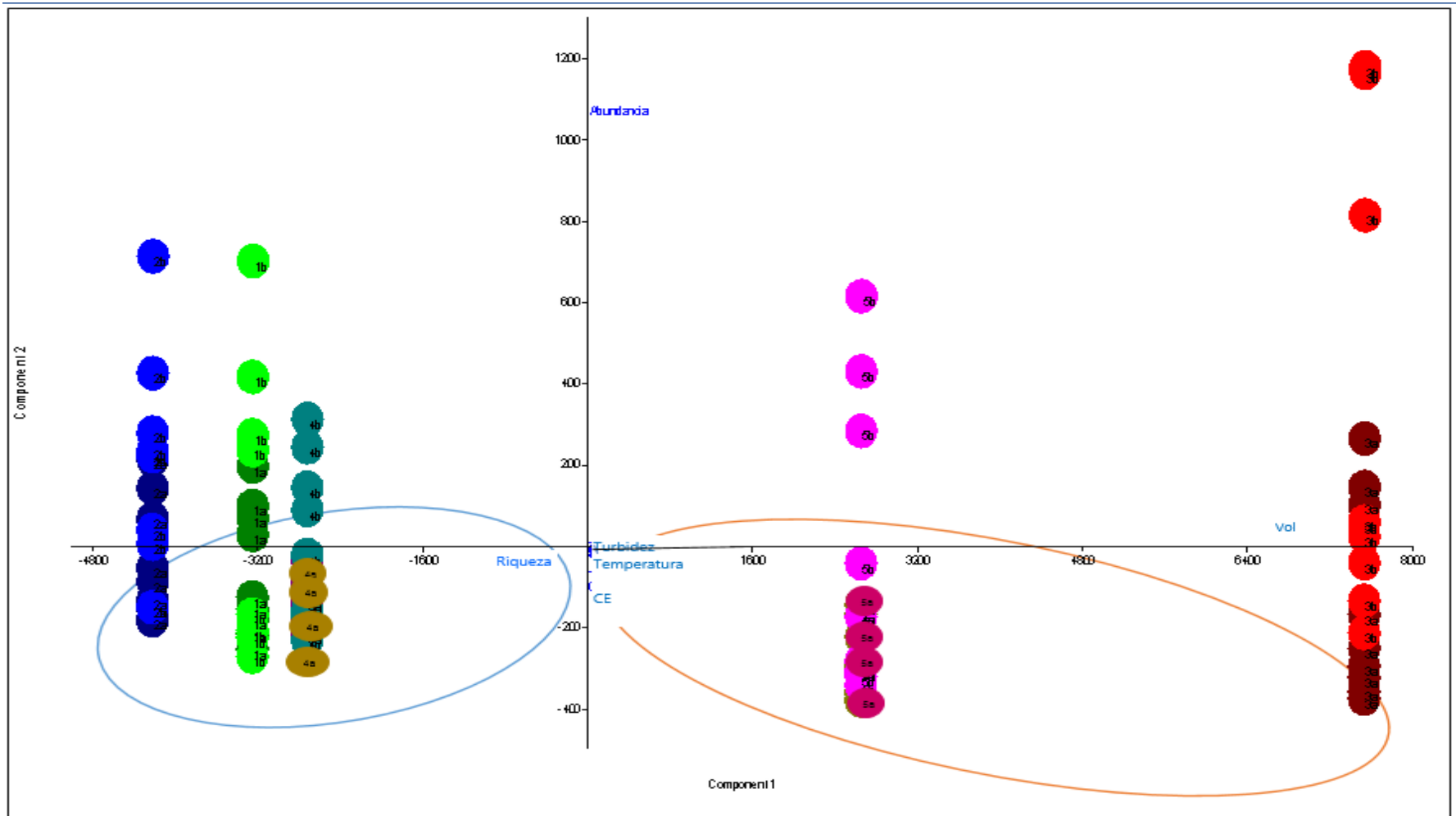


Ilustración 52. ACP espacial de la correlación de los parámetros físico-químico de las piscinas mineras abandonadas, Primer componente (99,01%) y segundo componente (0,13%)

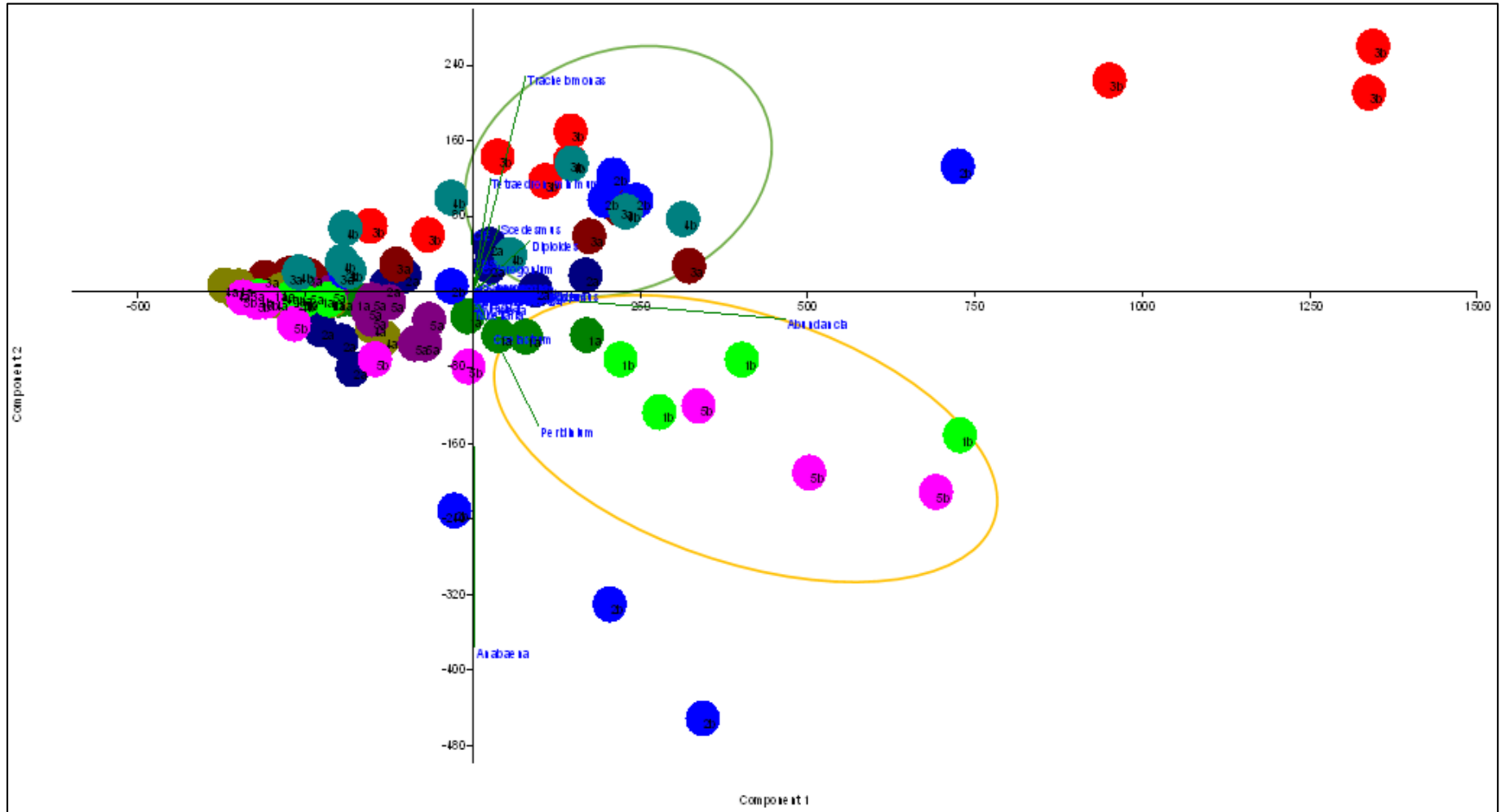


Ilustración 53. ACP espacial de la correlación de los parámetros físico-químico de las piscinas mineras abandonadas y los géneros fitoplanctónicos, Primer componente (79,51%) y segundo componente (5,94%)

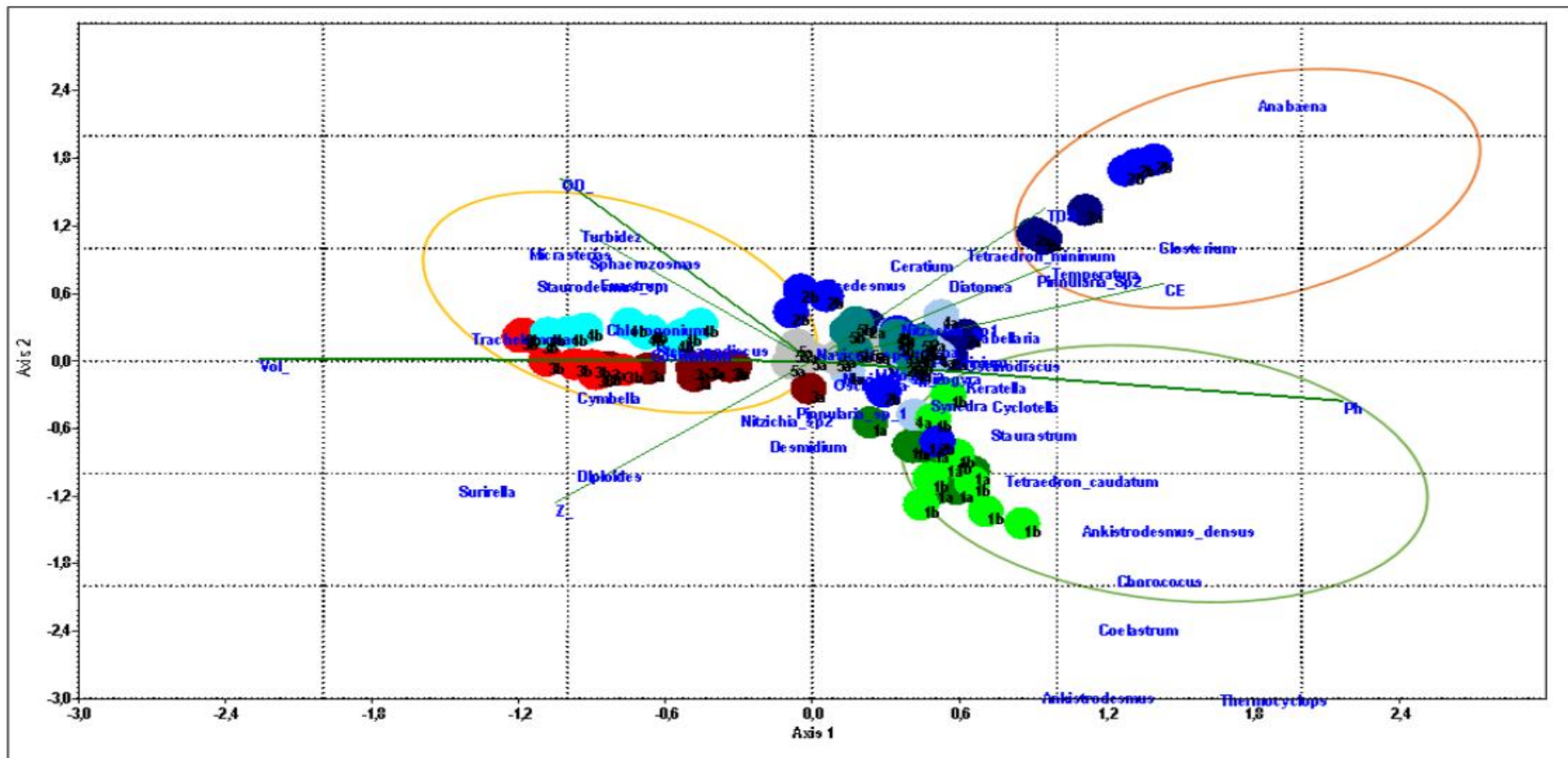


Ilustración 54. CCA espacial de la correlación de los componentes principales de los géneros identificados y los componentes principales de los parámetros físico-químicos, Primer Axis (36,1%) y Segundo Axis (28,07%)

5. DISCUSIÓN

Los seres fitoplanctónicas son organismos importantes en los procesos ecológicos de los cuerpos de agua dulce; puesto que es el productor principal de la cadena trófica, responsable de la presencia de oxígeno en la atmósfera y principal receptor de energía de los ecosistemas acuáticos (Molina Santos, 2013). Estos microorganismos se distribuyen por la columna del cuerpo agua de acuerdo a la sensibilidad que estos poseen a los factores de temperatura, incidencia de luz, competencia, procesos hidráulicos y disponibilidad de nutrientes (Alejandra & Sánchez, 2003).

En cuanto a estas características ha sido ampliamente utilizado como indicador del estado trófico de los ecosistemas acuáticos, ya que son adecuados para monitorear los parámetros físicos-químicos relacionados con contaminantes orgánicos, mineralización del agua y estados de eutrofización (Muñoz-lópez et al., 2017). Por este motivo en este estudio se ha empleado a la comunidad fitoplanctónica para evaluar la calidad de agua de las piscinas mineras abandonadas de la parroquia Selva Alegre.

En la observación de la caracterización de las piscinas mineras se pudo apreciar que las piscinas mineras abandonadas presentaban similares características, respecto a que gozaban de exuberante vegetación, excelente incidencia de luz, suelo arcilloso, y su cuerpo de agua poseía coloración verdosa. Según (Guillermo & Díaz, 2015) las concentraciones de sustancias disueltas de la turbiedad en el agua pueden inducir una floración fitoplanctónica provocando cambios de coloración en el agua; sin embargo, estos también se las puede atribuir a otros factores como

altas concentraciones de partículas de arcilla y poca incidencia de luz. Sin embargo, las piscinas las piscinas 3 y 4 presentan mayor proporción de tamaño y poseen profundidades superiores a 5,5 metros; además sus cuerpos de agua presentaban presencia de renacuajos. Las larvas de anfibios cumplen un papel primordial en los ecosistemas acuáticos de agua dulce puesto que tienen un efecto importante en la composición y abundancia del fitoplancton gracias a su posición en las redes tróficas(Vázquez et al., 2017).

La campaña realizada en el mes de mayo presentó una mayor incidencia de precipitaciones con 612,9 mm, mientras que el mes de noviembre las precipitaciones disminuyeron a 143,4 mm. En la revisión de los análisis de los resultados se observa que existen pequeñas variaciones en los valores de los parámetros fisicoquímicos de las piscinas mineras, entre los dos muestreos analizados. Por lo cual, se intuye que la incidencia de precipitaciones influye en los parámetros físicos-químicos; ya que la escasa incidencia de lluvias en las columnas de agua provoca la disminución de niveles de agua(Varona-Cordero & Gutiérrez, 2013). Lo que induce el aumento de turbidez, la disminución del pH y la conductividad eléctrica del agua ya que posee mayores concentraciones de sustancias orgánicas (Ortíz Botella & Molina Vázquez, 2012).

La temperatura más alta se presentó en el mes de mayo con una temperatura promedio de 28°C y el mes de noviembre presentó temperatura promedio entre 25 27°C. Los investigadores de la Universidad Exeter y Queen Mary de Londres exponen que aumentan la diversidad y productividad de la comunidad fitoplanctónica en temperaturas más cálidas del agua (Yvon-durocher et al., 2015).

En el estudio realizado en la Laguna endorreica Córdoba (Z=13m) manifestó que presentaron mayor número de aglomeraciones fitoplanctónica cuando la temperatura era mayor a 22°C (Huber et al., 2011).

El pH es la medida contenida del ion hidrógeno que evalúa la alcalinidad y acidez del agua Zhen Wu, (2010). Los valores más altos de pH se registraron en el mes de mayo fueron superiores a 7; mientras que los valores mínimos de pH se registraron en el mes de noviembre con valores inferiores hasta 6,2. Según Arias et al., (2014), los parámetros adecuados para un crecimiento proporcionado de la comunidad fitoplanctónica es de un pH entre 6.5 a 8.5; por lo cual los valores de pH que presentan nuestras piscinas estudiadas poseen un valor adecuado para el crecimiento del fitoplancton .

En los dos muestreos se presentó fallas disfuncionales en el sensor de oxígeno, por ende, no se obtuvo datos de oxígeno disuelto del primer muestreo y datos de la piscina 1 del segundo muestreo; ocasionando obtener datos inconsistentes de este parámetro fisicoquímico primordial para evaluar el estado ecológico de los ecosistemas acuáticos. Por consiguiente, sólo analizaremos las piscinas 2,3,4,5; la piscina 2 presenta 5 a 5,5 mg/l de OD, las piscinas 2 y 5 presentan 3,5 a 5 mg/l de OD y la piscina 3 presenta 1,9 a 3 mg/l. Los límites del oxígeno disuelto en el agua determinan que si los cuerpos de agua presentan entre 5 a 6 mg/l de OD exhiben oxígeno suficiente para el desarrollo de las especies acuáticas. Pero si es menor a 3 mg/l el ecosistema acuático experimenta hipoxia y si es menor a 2 el ecosistema sufre de anoxia, por lo cual, no es apto para el desarrollo ecológico de las especies acuáticas(Sarmiento Morales, 2017).

La conductividad eléctrica del agua es una medida de la capacidad para transportar la corriente eléctrica de los iones de una disolución acuosa, proporcionando información de productividad primaria, descomposición de la materia y detección de contaminantes (Echarri, 2007). Las piscinas mineras presentaron registro de valores inferiores a 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el mes de mayo, al contrario de mes de noviembre que presentaron valores superiores a 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Según (Ramirez, 2017), los cuerpos de agua que presentaran bajas conductividades padecen procesos oligotróficos o pobres en iones.

La turbidez, componente que influye en el rendimiento fotosintético de la comunidad fitoplanctónica dado que la insuficiente presencia de luz en el agua altera este proceso (Orjuela et al., 2006). El muestreo realizado en el mes de noviembre presentó los niveles más altos de turbidez, en cambio en el muestreo realizado en el mes de mayo obtuvieron valores bajos de turbidez lo que pudo ser influenciado por altas precipitaciones que se presentaron en este mes; puesto que la lluvia es una condición natural afecta a la turbidez.

En las piscinas mineras abandonadas se identificaron 7 phylum fitoplanctónicos siendo las más predominantes los phylum Bacillariophyta, Cyanophyta, Euglenophyta y Chlorophyta. En la investigación realizada en las lagunas Altoandinas del departamento de Pasco, Perú, evaluó la calidad del agua por la actividad minera aurífera que se desarrolla en esta zona mediante el fitoplancton, en donde identificaron cinco phyllums Bacillariophyta, Charophyta, Chlorophyta, Cyanobacteria, Euglenophyta; siendo los más abundantes los Bacillariophyta, Chlorophyta y Euglenophyta que son phylum altamente tolerantes a la

contaminación y a metales pesados (Varona-Cordero & Gutiérrez, 2013). Además, los géneros *Melosira sp.*, *Navícula sp* pertenecientes al phylum Bacillariophyta son indicadores de eutrofización (Sarmiento Morales, 2017).

Luque Quino,(2016), en su tesis de grado realizado en 2016 denominada “Evaluación ambiental de la calidad del agua de tres pozas formadas por trabajos de extracción de la minería no metálica en el centro poblado el triunfo de la región de Madre de Dios” contabilizó 38 especies fitoplanctónicas en los tres pozas abandonadas por la minería, y encontró con mayor proporción de géneros en: *Trachelomonas sp.*, *Lepocinclis sp.*, *Euglena sp.*, *Navícula sp*, *Scedesmus sp.* Un estudio realizado en el 2017 en las lagunas derivadas de minería en Cértegui, Chocó identificaron 146 géneros fitoplanctónicas y las especies con mayor densidad corresponden a *Trachelomonas sp*, *Gymnodinium sp.*, *Scedesmus sp.* y *Botryococcus sp.* *Chorococcus sp.* En este estudio realizado en las piscinas mineras abandonas en Selva Alegre se identificaron 36 géneros fitoplantónicas, siendo las de mayor proporción los géneros de: *Trachelomona sp.*, *Closterium sp.*, *Scedesmus sp.*, *Nitzschia sp.*, *Navícula sp1*, *Peridinium sp.*, *Chorococcus sp.*, *Diploides sp.*, *Tetraedron mínimum*, *Anabaena sp.*, *Cosmarium sp.*, *Coelastrum sp.*

La *Trachelomona sp.* es el género más abundante en las piscinas mineras analizadas. Estas son especies que habitan en agua dulce y ocasionalmente en piscinas de turba en aguas con temperaturas cálidas. Son conocidos por ser bio-indicadores de eutrofización sobrecarga de sedimentos y conductividad alta (B & Rica, 2015).

La abundancia y la riqueza logra aumentar o disminuir en base a las perturbaciones que modifican la composición y calidad de agua, induciendo tensión en las especies (Solís-castro et al., 2018). Esto podría estar relacionado con los resultados del mes de noviembre ya que presentaron mayores aglomeraciones de fitoplancton, sin embargo, su diversidad de especies disminuyó. Lo mismo sucedió en el mes de mayo, pero, al contrario. Estos resultados lo podemos atribuir a la variación de la incidencia de precipitaciones que presentaron los días que se desarrollaron los muestreos. Según Nava & Brown, (2010), la escasa incidencia de lluvia en los estanques de agua influyó la reducción del nivel del agua de las mismas; provocando el aumento de concentraciones de sustancias orgánicas que induce la proliferación de la comunidad fitoplanctónica. Esto ocasiona estanques oligotróficos disminuyendo la conductividad eléctrica impidiendo el transporte de otras especies fitoplanctónicas.

En este estudio se utilizaron dos índices de diversidad Índice de Shannon – Weaver e Índice de Simpson, ambos índices exhibieron los mismos resultados. Exponiendo que a pesar de que en el primer muestreo se encontraron mayor número de especies, estas especies poseen menor aglomeraciones de números de individuos, a diferencia del muestreo del mes de mayo que a pesar de que la diferencia del índice no es grande los individuos se encuentran mejor repartidos en cada especie.

En esta investigación se emplearon dos índices biológicos que implementaron a las comunidades fitoplanctónicas para conocer la calidad del agua; los cuales son el Índice Compuesto de Niggard y el Índice Compuesto Diatómico. El Índice compuesto analizado muestra que la mayoría de las piscinas mineras en ambos

muestreos se encuentran en situaciones moderadamente eutróficas, es probable que se atribuya que las piscinas presentaron pocas especies Desmidiaceae.

El índice Diatómico se basa en la sensibilidad (afinidad / tolerancia) del fitoplancton a los nutrientes, a la sustancia orgánica y al grado de mineralización de la masa de agua, con especial referencia a los cloruros, que pueden representar un poderoso factor de contaminación interna del agua. En las piscinas presentan valores menores 4 lo que indica presentan una polución moderada con comienzos con procesos de eutrofización. En nuestro estudio la especies predominantes son *Trachelomonas sp* y *Euglena sp.*, que generalmente son abundantes en charcas y lagunas temporales con alta concentración de materia orgánica; por lo se encuentran en lagos oligotróficos y meso tróficos y toleran los cambios ambientales como el pH, componentes sólidos(Sarmiento Morales, 2017).

La correlación de las diferentes abundancias para cada piscina minera se relaciona con los parámetros físicos-químicos pH, conductividad eléctrica del agua, el oxígeno y la profundidad sin incidencia de la temperatura. En el pH se observó que en las piscinas mineras analizadas la abundancia fitoplanctónica aumentaba cuando disminuía el pH o el agua es más ácida. De igual forma la abundancia de las piscinas maneras aumentaba cuando el parámetro del oxígeno incrementaba. Al contrario del parámetro de la conductividad eléctrica que la abundancia fitoplanctónica disminuía cuando aumentaba la CE; de la misma forma ocurre con el parámetro profundidad la abundancia fitoplanctónica disminuye cuando es más hondo; supongo que esto se debe que no existe mucha incidencia de luz en la profundidad de las piscinas mineras.

La correlación de las diferentes riquezas fitoplanctónicas para cada piscina minera se relaciona con los parámetros físicos-químicos pH, el oxígeno y la profundidad sin incidencia de la temperatura y conductividad eléctrica del agua. El índice de diversidad aumenta cuando el parámetro del pH aumenta o el agua es más alcalina. En el parámetro de oxígeno existe mayor diversidad cuando el oxígeno posee valores más altos. Por el contrario, el parámetro profundidad la abundancia fitoplanctónica disminuye cuando es más hondo.

En cuanto la correlación entre los dos descriptivos ecológicos no presenta incidencia de relación entre ambos, puesto que arroja resultados diferentes cada piscina minera.

6. CONCLUSIONES

- El estudio realizado en las cinco piscinas mineras abandonadas se identificó 7 phyllums, 41 especies pertenecientes a 36 géneros fitoplanctónicos, existiendo mayor concentración de los géneros fueron: *Trachelomonas*, *Peridinium*, *Chorococcus*, *Navícula*, *Diploides*. Estos géneros habitan en agua dulce y ocasionalmente en piscinas de turba en aguas con temperaturas cálidas y son conocidos por ser bio-indicadores de eutrofización sobrecarga de sedimentos y conductividad alta.
- Los índices que evalúa el estado ecológico del agua, Índice Compuesto de Niggard y el Índice Compuesto Diatómico, establecieron que los cuerpos de agua de las piscinas mineras presentan comienzo de procesos de eutrofización.
- El muestreo realizado en el mes de noviembre registró mayores aglomeraciones de fitoplancton con una abundancia promedio de 550 cel/ml pero con menor diversidad fitoplanctónica (18 especies), mientras que el mes de noviembre obtuvo una abundancia promedio de 300 cel/ml pero con mayor diversidad fitoplanctónica (22 especies).
- Existe correlación entre los descriptivos ecológicos (abundancia, riqueza) y los parámetros físicos químicos (pH, conductividad eléctrica, oxígeno y profundidad).

7. RECOMENDACIONES

- En los estudios posteriores se recomienda analizar parámetros químicos-orgánicos como el Nitrito, Nitrato, Fósforos, metales pesados para obtener datos más precisos sobre el comportamiento de la comunidad fitoplanctónica dentro de las piscinas mineras aurífera abandonadas.
- Realizar muestreos en las dos épocas de año (invierno, verano) para estudiar el comportamiento, abundancia y distribución del fitoplancton y la variación de los parámetros fisicoquímicos respecto a las precipitaciones. Como se realizó en este estudio ya que se observó diferencias significativas entre los dos muestreos tanto en la distribución del fitoplancton y en los parámetros analizados.
- Es necesario que se realicen estudios de calidad del agua de las piscinas mineras auríferas abandonadas ubicadas al norte de Esmeraldas para que se implemente un adecuado manejo de gestión de sistemas acuáticos eutróficos para mejorar la calidad del agua de las piscinas y la fauna que habita en ellos.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Alejandra, S., & Sánchez, C. (2003). *FITOPLANCTON Y COLIFORMES COMO INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL PARQUE NACIONAL LAGUNA DEL TIGRE.*
- Arias, O. R., Carlos, R., Delgado, O., Manuel, R., Martínez, Q., Terán, A. S., Manuel, J., Rivero, O., Ivet, N., & Burciaga, R. (2014). *ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA) EN LA PRESA LA BOQUILLA EN CHIHUAHUA, MÉXICO Water quality index (WQI) in the dam La Boquilla in Chihuahua, Mexico 1. 1(2), 139–150.*
- Asamblea Nacional. (2009). *REGLAMENTO GENERAL A LA LEY DE MINERIA.* 16/11/2009.
www.sri.gov.ec/.../REGLAMENTO+GENERAL+A+LA+LEY+DE+MINERIA.pdf
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2009). *Ley de Minería.* 2009.
https://doi.org/10.1300/J091v17n04_01
- B, U. M. W., & Rica, C. (2015). *Las especies de Trachelomonas (Algas : Euglenophyta) en tres lagunas volcánicas de Costa Rica. 44(2), 477–484.*
- Benítez, M. (2013). *Evaluación de la calidad de agua y riesgo de contaminación del embalse El Azúcar en época de verano.* Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Centro Regional para el Manejo de Ecosistemas Costeros. (2007). *Caracterización de la Calidad de Agua del Estuario de Cojimíes , entre las Provincias de Esmeraldas y Manabí , Ecuador.* Centro Regional Para El Manejo de Ecosistemas Costeros.

[http://simce.ambiente.gob.ec/sites/default/files/documentos/belen/Caracterizacion de estudio de agua del Estuario de Cojimies.pdf](http://simce.ambiente.gob.ec/sites/default/files/documentos/belen/Caracterizacion%20de%20estudio%20de%20agua%20del%20Estuario%20de%20Cojimies.pdf)

Delgado, A. F. M. (2013). *Estudio de Impacto Ambiental Expost del Plan de manejo para la Obtención de la Licencia Ambiental del Proyecto Minero Río Humbí* [Universidad Central del Ecuador].
<https://maeesmeraldas.files.wordpress.com/2015/04/eia-hormitesa.pdf>

Dell'Uomo, A., Torrisi, M., Cavalieri, S., & Corsini, A. (2004). *L'Indice Diatomico di Eutrofizzazione/Poluzione (EPI-D) nel Monitoraggio delle Acque Correnti. Linee Guida*. http://www.cisba.eu/attachments/article/75/IndiceEPI_D.pdf

Echarri, L. (2007). Contaminación del agua. *Ciencias De La Tierra Y Medio Ambiente*, 311–337.
[/www.google.com.co/?gws_rd=ssl#q=contaminacion+del+agua+de+mar+pdf](http://www.google.com.co/?gws_rd=ssl#q=contaminacion+del+agua+de+mar+pdf)

EPA. (1998). Documento de Técnicas de Control de Materia Particulada Fina Proveniente de Fuentes Estacionarias. *Environmental Protection*, 68, 288.
<https://www3.epa.gov/ttnecatc1/dir1/pmcontech2.pdf>

García, A. (2015). *Contaminación de los ríos*. 10.

García, F. (2016). *Remoción de Mercurio en aguas residuales de la actividad minera con el uso de microalgas* [UDLA]. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/4859>

Gómez, L., Larduet, Y., & Abrahantes, N. (2011). Contaminación y biodiversidad en ecosistemas acuáticos. El fitoplancton de la bahía de Santiago de Cuba. *Rev. Invest. Mar*, 22(3), 191–197.

- Gomez, M. C. Z. (2005). *ESTUDIO DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA* (Issue 1972).
https://www.inocar.mil.ec/web/phocadownloadpap/actas_oceanograficas/acta_12/OCE1201_4.pdf
- Grace Analytical Lab. (2015). *Standard Operating Procedure for Phytoplankton Analysis*. <http://www.water-research.net/Waterlibrary/Lake/PHY.PDF>
- Guillermo, B., & Díaz, S. (2015). *Catalogo de especies de Fitoplancton asociadas a la acuicultura de Tilapias*.
- Hammond, D. S., Rosales, J., & Ouboter, P. E. (2013). Gestión del Impacto de la Explotación Minera a Cielo Abierto sobre el Agua Dulce en América Latina. In *Bid*.
<http://www.iadb.org/wmsfiles/products/publications/documents/37577832.pdf>
- Huber, M. P., David, M., & Martínez, A. L. (2011). *Fitoplancton de una laguna endorreica de uso*. 13(1), 24–33.
- Kumar, M. S. (2017). Do mergers reduce corporate investment? evidence from United Kingdom experience. *Cambridge Journal of Economics*, 5(2), 107–118.
<https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.cje.a035474>
- Luque Quino, E. (2016). *“EVALUACIÓN AMBIENTAL DE LA CALIDAD DEL AGUA DE TRES POZAS FORMADAS POR TRABAJOS DE EXTRACCIÓN DE LA MINERÍA NO METÁLICA EN EL CENTRO POBLADO EL TRIUNFO DE LA REGIÓN DE MADRE DE DIOS*.
- MAE. (2017). *VULNERACIÓN DE LOS DERECHOS DEL PUEBLO*

AFRODESCENDIENTE Y NACIONALIDADES INDÍGENAS EN EL NORTE DE LA PROVINCIA DE ESMERALDAS (ECUADOR) POR LA DESCONTROLADA ACTIVIDAD PALMICULTORA, MINERA Y FORESTAL; Y LA INSUFICIENCIA DE LAS POLÍTICAS DEL ESTADO ECUATORIA.

<http://tbinternet.ohchr.org/Treaties/CERD/Shared>

Documents/ECU/INT_CERD_NGO_ECU_28317_S.pdf

Molina Santos, M. G. (2013). *EFFECTOS DE DERRAME DE PETRÓLEO SOBRE LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICO DE LA LAGUNA DE PAPALLACTA Y SUS PRINCIPALES AFLUENTES* [Univercidad Internacional del Ecuador].

<http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/301>

Mosquera, C., Chavéz, M., Pachas, V., & Moshella, P. (2009). *ESTUDIO DIAGNÓSTICO DE LA ACTIVIDAD MINERA ARTESANAL EN MADRE DIOS.*

Findación Conservación Internacional.

<http://www.macrosstech.com/cooperacion/publicaciones/estudio-diagnostico-de-la-actividad-minera-artesanal-en-madre-de-dios/>

Muñoz-lópez, C. L., Aranguren-riaño, N. J., & Duque, S. R. (2017). *Morfología funcional del fitoplancton en un lago de alta montaña tropical : Lago de Tota (Boyacá-Colombia).* 65(June), 669–683.

Nava, A. F., & Brown, A. (2010). Peces nativos de agua dulce de América del Sur de interés para la acuicultura: Una síntesis del estado de desarrollo tecnológico de su cultivo. In *FAO. Serie Acuicultura en Latinoamérica* (Vol. 1).

<http://www.fao.org/docrep/014/i1773s/i1773s.pdf>

- ORGANIZACIÓN PARAMERICANA DE LA SALUD. (2012). Estudio De La Calidad De Fuentes Utilizadas Para Consumo Humano Y Plan De Mitigación Por Contaminación Por Uso Doméstico Y Agroquímicos En Apurímac Y Cusco. *Ecofluidos Ingenieros S.A.*, 105. <https://www1.paho.org/per/images/stories/PyP/PER37/15.pdf>
- Orjuela, L. U. Z. C., N, Q. F. U., & S, M. E. D. (2006). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. 1–7.
- Ortíz Botella, F. J., & Molina Vázquez, J. (2012). Aproximación ambiental a las lagunas endorréicas protegidas de la provincia de Sevilla (España). *Revista de Estudios Andaluces*, 21(21), 145–164. <https://doi.org/10.12795/rea.1995.i21.07>
- PRAS-CID PUCESE; MAE. (2011). *Actividad minera ilegal en el norte de la Provincia de Esmeraldas PRAS – CID- PUCESE*.
- PRAS-CID PUCESE; MAE. (2014). *AURÍFERA EN LOS CANTONES SAN LORENZO Y ELOY ALFARO DE LA PROVINCIA DE ESMERALDAS CANTONES ELOY ALFARO Y SAN LORENZO ,.*
- PRAS-CID PUCESE. (2011a). *PRAS-CID PUCESE PRODUCTO 2: INDICADORES ECOLOGICOS , ECONOMICOS Y SOCIALES VINCULADOS A LA MINERIA DE ORO.*
- PRAS-CID PUCESE. (2011b). *VINCULADOS A LA ACTIVIDAD MINERA AURIFERA ILEGAL.*
- PRAS-CID PUCESE. (2012). *Actividad Minera Aurifera Entre El Periodo Noviembre.*

Ramirez, J. (2017). *Calidad del agua de la Cuenca Mayor del Río Totare*.

Registro oficial de Ecuador. (2015). Acuerdo No. 061 Reforma Del Libro Vi Del Texto Unificado De Legislación Secundaria. *Acuerdo No. 061 Reforma Del Libro Vi Del Texto Unificado De Legislación Secundaria*, 80. <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/185880/ACUERDO+061+REFORMA+LIBRO+VI+TULSMA+--+R.O.316+04+DE+MAYO+2015.pdf/3c02e9cb-0074-4fb0-afbe-0626370fa108>

Rivera, R., PARRA, O., & GONZALEZ, M. (2015). *Fitoplancton del estero Lengua, Chile*. 33–37.

Sarmiento Morales, M. L. (2017). MICROALGAS COMO INDICADORES BIOLÓGICOS DEL ESTADO TRÓFICO DE LAS CIÉNAGAS DE MALAMBO Y SANTO TOMÁS, EN EL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO. In *Jurnal Sains dan Seni ITS* (Vol. 6, Issue 1). <http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf><http://fiskal.kemenkeu.go.id/ejournal><http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2016.06.001><http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2016.12.055><https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.02.006><https://doi.org/10.1>

Serra Zamora, M. del M. (2016). *Efecto de una intervención con dieta saludable y estilo de vida sobre el control metabólico y riesgo cardiovascular en la diabetes mellitus tipo 2*. 45–50. <http://dspace.uib.es/xmlui/handle/11201/145873>

Solís-castro, Y., Zúñiga-zúñiga, L. A., Mora-alvarado, D., & La, D. (2018). Conductivity as a predictive parameter of hardness in groundwater and spring

water of Costa Rica La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Tecnología En Marcha*, 30. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3495>

Troccoli, L., & Martinez, G. (2014). *Estructura de la comunidad fitoplanctónica del sistema fluvial-estuarino de Caño Mánamo*, . June 2013.

Truque, P. A. (2012). Armonización de los estándares de agua potable en las Americas. *Organization of American States. Departament of Sustaninable Development*, 17. <https://www.oas.org/dsd/publications/classifications/Armoniz.EstandaresAguaPotable.pdf>

Varona-Cordero, F., & Gutiérrez, J. (2013). *Composición estacional del fitoplancton de dos lagunas costeras del Pacífico tropical Seasonal phytoplankton composition of two coastal lagoons of the tropical Pacific*. 16(2), 159–174.

Vásquez, G. S., Castro, G. M., Gonzáles, I. M., Pérez, R. R., & Castro, T. B. (2006). Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. *ContactoS*, 60, 41–48. <http://www.izt.uam.mx/contactos/n60ne/Bio-agua.pdf>

Vázquez, L., Rendón, M., Díaz, C., & Gómez, I. (2017). Redalyc.Variaciones entre especies de anfibios en sus respuestas morfológicas a la presencia de depredadores nativos e introducidos. *Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente*, 5,7.

Yvon-durocher, G., Allen, A. P., Cellamare, M., Dossena, M., Gaston, J., Leitao, M., Montoya, J. M., Reuman, D. C., & Woodward, G. (2015). *Five Years of*

Experimental Warming Increases the Biodiversity and Productivity of Phytoplankton. 1–22. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002324>

Zhen Wu, B. Y. (2010). *Calidad físico-química y bacteriológica del agua para consumo humano de la microcuenca.*

9. ANEXOS

Tabla 11. Datos de las piscinas mineras de la comunidad fitoplanctónica en la campaña de Mayo-Noviembre

MUESTREO 1 MAYO-2018															
ESPECIES	PISCINA 1			PISCINA 2			PISCINA 3			PISCINA 4			PISCINA 5		
	1S	1M	1F	2S	2M	2F	3S	3M	3F	4S	4M	4F	5S	5M	5F
<i>Anabaena sp.</i>	1,51	2,27	1,14	1,51	1,51	98,45	11,36	5,30	1,14	21,58	7,95	3,41	14,01	2,27	2,65
<i>Ankistrodesmus sp.</i>	6,44	11,36	9,47	0,00	0,00	0,00	1,51	0,00	0,00	2,27	1,51	1,14	0,00	0,00	0,00
<i>Chorococcus sp.</i>	110,55	132,53	40,14	48,09	58,69	0,00	0,00	5,30	0,00	14,39	6,82	5,30	9,09	0,00	1,89
<i>Closterium sp.</i>	3,03	2,27	2,27	77,25	75,35	29,91	2,65	3,79	1,51	3,03	5,68	2,65	1,51	4,17	2,65
<i>Cosmarium sp.</i>	11,36	12,50	6,82	21,21	24,61	1,14	34,08	23,86	17,42	37,11	1,89	2,27	34,84	18,55	4,92
<i>Cyclotella sp.</i>	16,66	13,25	9,85	7,57	11,74	5,30	8,33	6,06	1,14	12,50	6,06	7,19	0,00	1,14	1,14
<i>Cymbella sp.</i>	3,03	2,27	1,89	4,17	4,54	1,14	108,68	4,54	2,27	7,19	4,54	2,27	31,05	1,89	5,68
<i>Diatomea sp.</i>	1,51	0,00	0,00	1,89	2,27	1,89	0,00	2,27	0,00	0,00	1,05	0,00	1,89	0,00	1,89
<i>Diploides sp.</i>	31,80	44,68	6,44	3,79	3,03	1,14	83,68	36,73	0,00	0,00	0,00	1,89	4,92	1,89	1,89
<i>Euglena sp.</i>	0,00	0,00	0,00	1,89	1,89	0,00	1,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,14	1,14	1,51
<i>Keratella sp.</i>	3,41	1,89	0,00	2,27	1,14	1,51	0,00	1,89	0,00	1,89	4,92	2,09	0,00	0,00	2,27
<i>Melosira sp.</i>	1,51	0,00	1,14	2,65	0,00	2,27	1,51	2,65	1,89	2,65	0,00	1,14	5,68	0,00	1,89
<i>Navicula sp1.</i>	10,22	14,01	9,09	19,69	8,33	2,65	31,05	10,98	3,03	24,61	7,19	7,57	26,51	15,90	17,42
<i>Navicula sp2.</i>	3,79	6,44	1,89	4,92	1,51	1,89	3,79	1,89	4,92	3,79	2,27	1,89	7,57	13,25	4,92
<i>Nitzschia sp1.</i>	10,60	6,44	1,51	11,36	4,92	1,14	4,54	3,79	2,27	14,01	12,50	6,82	18,93	16,66	7,19
<i>Oscillatoria sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	1,14	1,51	2,65	1,51	1,89	1,89	3,79	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Oscinodiscus sp.</i>	4,92	5,30	7,19	10,60	6,82	5,68	4,17	3,79	3,41	7,95	7,57	3,41	1,14	7,57	11,74
<i>Peridinium sp.</i>	79,50	51,12	4,54	20,45	30,67	7,95	26,51	3,79	3,79	58,31	26,51	6,44	49,98	145,79	104,89
<i>Pinnularia sp1.</i>	12,12	10,60	18,93	15,53	4,92	6,06	49,98	12,50	8,71	25,37	4,54	8,33	20,07	7,19	8,33
<i>Pinnularia sp2.</i>	0,00	0,00	0,00	3,03	5,30	1,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Scedesmus sp.</i>	1,51	1,89	3,79	42,03	54,91	15,53	33,70	8,71	1,89	7,95	15,90	0,00	3,03	1,89	0,00
<i>Spirogyra sp.</i>	0,00	1,14	9,47	4,54	1,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,36	4,54	4,54
<i>Staurastrum sp.</i>	3,79	4,54	4,92	2,27	5,30	1,51	0,00	0,00	0,00	1,89	1,42	2,65	0,00	0,00	0,00
<i>Stephanodiscus sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,27	2,65	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Synedra sp.</i>	8,71	4,17	5,68	7,19	5,68	3,79	7,19	8,33	9,09	8,33	10,98	8,71	25,75	5,30	9,85
<i>Tabellaria sp.</i>	3,79	5,30	4,54	4,17	1,89	5,30	1,51	8,71	2,65	0,00	1,51	1,89	0,00	0,00	0,00
<i>Tetraedron caudatum</i>	9,84	8,71	1,51	6,44	4,17	1,14	2,27	1,14	2,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Tetraedron minimum</i>	0,00	0,00	0,00	21,58	121,93	20,07	10,22	1,89	2,65	2,27	7,95	0,00	2,27	1,14	0,00
<i>Trachelomonas sp.</i>	17,42	15,15	7,19	23,48	35,97	12,87	185,55	62,10	29,91	0,00	0,00	0,00	26,89	20,83	37,49
<i>Ankistrodesmus densus</i>	8,33	8,71	1,51	6,44	4,17	1,14	2,27	1,14	2,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Euastrum sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,79	1,51	0,00
<i>Chlorogonium sp.</i>	0,00	1,14	9,47	4,54	13,25	0,00	12,87	2,27	0,00	0,00	0,00	0,00	11,36	4,54	4,54
<i>Desmidium sp.</i>	4,16	1,14	1,14	2,27	1,51	2,27	1,89	6,06	8,71	1,51	0,00	0,00	2,65	1,51	3,41
<i>Coelastrum sp.</i>	31,79	44,68	1,51	6,44	4,17	1,14	4,92	1,14	2,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Nitzschia sp2.</i>	4,16	1,14	1,14	2,27	1,51	2,27	1,89	6,06	8,71	1,51	0,00	0,00	2,65	1,89	3,41
<i>Surirella sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,71	1,89	1,51	2,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Micrasterias sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Sphaerosomas sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Stauradesmus sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Thermocyclops sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Ceratium sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	1,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DENSIDADES POR PISCINA (cel/ m³)	405,5	414,6	174,2	391,5	506,3	238,2	651,2	240,1	126,5	267,0	145,2	77,1	318,1	280,6	246,1
DENSIDADES TOTALES PROMEDIO	331,4			378,7			339,2			163,1			281,6		
RIQUEZA	27	27	27	31	32	28	29	29	24	24	22	19	24	22	23
RIQUEZA TOTAL	27			30			27			22			23		

MUESTREO 2- NOVIEMBRE 2018															
ESPECIES	PISCINA 1			PISCINA 2			PISCINA 3			PISCINA 4			PISCINA 5		
	1S	1M	1F	2S	2M	2F	3S	3M	3F	4S	4M	4F	5S	5M	5F
<i>Anabaena sp.</i>	0,00	1,95	1,30	5,19	1,62	430,15	2,92	2,27	1,62	9,73	0,00	1,30	17,52	2,92	6,16
<i>Ankistrodesmus sp.</i>	1,62	1,62	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Chorococcus sp.</i>	165,77	171,28	36,66	21,73	62,61	2,92	1,95	11,68	1,95	17,19	0,00	0,00	6,16	11,03	0,00
<i>Closterium sp.</i>	0,00	2,27	7,79	15,57	10,71	9,73	1,62	1,62	1,30	2,92	3,89	1,30	5,84	1,62	1,62
<i>Cosmarium sp.</i>	10,71	10,06	4,87	8,11	3,57	3,89	159,28	27,90	39,58	56,12	2,27	14,27	47,69	12,98	0,00
<i>Cyclotella sp.</i>	9,08	1,95	1,95	1,62	6,16	3,57	3,57	1,30	1,62	2,92	1,30	1,30	40,87	4,22	0,00
<i>Cymbella sp.</i>	1,30	0,00	0,00	1,30	0,00	3,24	20,11	1,95	9,41	11,35	1,62	1,30	1,62	1,62	7,79
<i>Diatomea sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,62	0,00	0,00	0,00
<i>Diploides sp.</i>	45,09	135,27	8,11	1,95	0,00	0,00	411,99	90,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Euglena sp.</i>	0,00	0,00	1,95	0,00	6,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Keratella sp.</i>	4,22	4,22	1,62	1,62	0,00	1,30	1,30	0,00	0,00	5,84	2,60	0,00	3,57	4,87	1,30
<i>Melosira sp.</i>	1,62	1,62	3,24	3,24	0,00	1,95	1,30	1,62	1,30	1,62	0,00	0,00	1,30	1,30	1,95
<i>Navicula sp1.</i>	3,89	8,43	15,90	15,57	2,92	5,84	14,27	10,71	3,89	22,38	8,76	22,71	26,93	24,01	36,98
<i>Navicula sp2.</i>	0,00	0,00	2,27	1,62	0,00	1,62	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,95	1,62
<i>Nitzschia sp1.</i>	1,95	0,00	1,62	3,24	0,00	1,95	0,00	0,00	0,00	7,79	4,22	0,00	2,60	1,95	21,09
<i>Oscillatoria sp.</i>	1,95	0,00	3,57	2,27	1,30	1,30	1,62	0,00	1,30	1,62	1,30	0,00	1,95	1,95	2,92
<i>Oscinodiscus sp.</i>	0,00	1,62	1,62	2,60	9,41	2,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,49	0,00	0,00
<i>Peridinium sp.</i>	161,55	139,17	5,84	66,18	21,41	1,30	68,12	9,08	1,95	49,63	26,28	34,06	423,34	232,59	0,00
<i>Pinnularia sp1.</i>	2,27	6,49	6,16	7,14	4,22	4,54	9,73	2,60	9,41	10,38	1,30	3,24	12,00	5,51	12,00
<i>Pinnularia sp2.</i>	1,62	0,00	2,27	1,30	0,00	3,24	1,62	0,00	0,00	1,95	0,00	2,92	0,00	0,00	1,30
<i>Scedesmus sp.</i>	1,30	1,99	0,00	112,24	85,32	37,95	125,22	12,00	5,51	26,60	18,17	6,49	61,31	64,56	9,08
<i>Spirogyra sp.</i>	0,00	0,00	0,00	2,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Staurastrum sp.</i>	1,62	2,27	2,27	1,95	3,89	0,00	1,30	0,00	0,00	3,89	2,27	0,00	0,00	6,49	1,30
<i>Stephanodiscus sp.</i>	1,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,11	0,00	0,00	1,30	0,00	1,30	1,62	0,00	0,00
<i>Synedra sp.</i>	14,60	6,49	33,41	8,76	2,60	9,08	2,60	2,27	2,60	6,49	2,27	1,62	30,17	17,84	2,92
<i>Tabellaria sp.</i>	0,00	1,62	7,79	7,14	2,60	28,87	2,27	3,57	0,00	4,22	1,62	3,57	1,30	1,95	2,92
<i>Tetraedron caudatum</i>	0,00	0,00	0,00	1,30	1,62	0,00	0,00	0,00	0,00	1,30	2,27	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Tetraedron minimum</i>	0,00	0,00	0,00	176,47	174,53	59,69	37,31	1,95	1,30	30,82	4,22	2,27	30,17	19,14	0,00
<i>Trachelomonas sp.</i>	2,92	0,00	0,00	170,63	76,56	10,06	570,94	265,36	326,67	237,46	270,87	99,59	4,87	2,27	1,62
<i>Ankistrodesmus densus</i>	7,79	4,22	1,95	1,62	1,62	1,30	0,00	0,00	0,00	1,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Euastrum sp.</i>	0,00	1,62	0,00	0,00	0,00	0,00	1,30	0,00	0,00	32,12	1,62	5,19	0,00	0,00	0,00
<i>Chlorogonium sp.</i>	0,00	0,00	0,00	9,41	24,65	3,24	62,61	9,41	1,30	16,87	17,52	1,30	1,62	1,30	0,00
<i>Desmidiium sp.</i>	0,00	1,95	3,24	3,24	0,00	0,00	0,00	1,62	0,00	1,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Coelastrum sp.</i>	60,99	182,31	3,57	43,79	1,62	0,00	17,19	0,00	0,00	1,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Nitzschia sp2.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Surirella sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Micrasterias sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,89	1,62	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Sphaerosomas sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,41	2,92	1,62	0,00	0,00	0,00
<i>Stauradesmus sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,30	0,00	0,00	3,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Thermocyclops sp.</i>	1,95	1,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Ceratium sp.</i>	0,00	0,00	0,00	12,33	4,22	1,95	1,95	0,00	0,00	1,95	0,00	0,00	0,00	1,62	0,00
DENSIDADES POR PISCINA (cel/ m³)	505,4	690,4	160,3	711,4	509,6	631,6	1532,8	457,7	410,7	610,5	377,9	207,0	728,9	423,7	112,6
DENSIDADES TOTALES PROMEDIO	452,0			617,5			800,4			398,5			421,7		
RIQUEZA	22	22	24	30	22	24	27	18	16	31	21	19	21	22	16
RIQUEZA TOTAL	23			25			20			24			20		

Tabla 12. Tabla de los géneros fitoplanctónicos de las piscinas mineras

Phyllum	Genero	M1 # individuos	M2 # individuos	# TOTAL DE INDIVIDUOS	%
Bacillariophyta	<i>Diploides</i>	586	2137	2723	7,420
	<i>Navícula</i>	721	720	1441	3,927
	<i>Pinnularia</i>	589	349	938	2,556
	<i>Nitzschia</i>	426	143	569	1,550
	<i>Cymbella</i>	489	193	682	1,858
	<i>Diatomea</i>	37	5	42	0,114
	<i>Surirella</i>	39	0	39	0,106
	<i>Synedra</i>	340	443	783	2,134
	<i>Tabellaria</i>	109	214	323	0,880
	<i>Stephanodiscus</i>	18	43	61	0,166
	<i>Melosira</i>	66	68	134	0,365
Cyanophyta	<i>Anabaena</i>	465	1494	1959	5,338
	<i>Chorococcus</i>	1143	1575	2718	7,406
	<i>Oscillatoria</i>	38	71	109	0,297
Chlorophyta	<i>Scedesmus</i>	509	1745	2254	6,142
	<i>Tetraedron</i>	607	1678	2285	6,226
	<i>Coelastrum</i>	260	960	1220	3,324
	<i>Ankistrodesmus</i>	185	76	261	0,711
	<i>Chlorogonium</i>	169	460	629	1,714
	<i>Closterium</i>	575	209	784	2,136
	<i>Cosmarium</i>	667	1237	1904	5,188
	<i>Spirogyra</i>	98	7	105	0,286
Charophyta	<i>Desmidium</i>	101	36	137	0,373
	<i>Micrasterias</i>	0	17	17	0,046
	<i>Sphaerosomas</i>	0	117	117	0,319
	<i>Staurodesmus</i>	0	15	15	0,041
	<i>Euastrum</i>	19	129	148	0,403
	<i>Staurastrum</i>	73	84	157	0,428
Dinophyta	<i>Peridinium</i>	1638	3824	5462	14,883
	<i>Ceratium</i>	8	74	82	0,223
Euglenophyta	<i>Euglena</i>	22	26	48	0,131
	<i>Trachelomonas</i>	1254	6288	7542	20,551
Ochrophyta	<i>Cyclotella</i>	285	251	536	1,461

Tabla 13. Tabla de los phylum fitoplanctónicos de las piscinas mineras

PHYLLUM	P1		P2		P3		P4		P5	
	#	%	#	%	#	%	#	%	#	%
Bacillariophyta	2332	24,9%	1372	11,7%	4327	33,9%	1435	23,2%	2247	27,0%
Cyanophyta	2701	28,9%	2745	23,5%	232	1,8%	440	7,1%	314	3,8%
Chlorophyta	2045	21,9%	5418	46,4%	2507	19,6%	1138	18,4%	1404	16,9%
Charophyta	144	1,5%	108	0,9%	115	0,9%	325	5,2%	92	1,1%
Dinophyta	1659	17,7%	659	5,6%	430	3,4%	827	13,4%	3615	43,4%
Euglenophyta	225	2,4%	1215	10,4%	5055	39,6%	1874	30,3%	497	6,0%
Ochrophyta	250	2,7%	165	1,4%	102	0,8%	153	2,5%	151	1,8%



Ilustración 55. Anabaena sp.



Ilustración 56. Cyclotella sp.



Ilustración 57. Ankistrodesmus sp.



Ilustración 58.Cymbella sp.

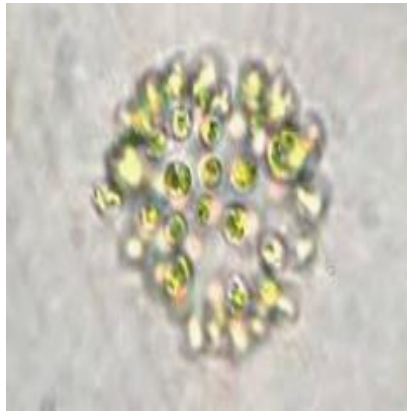


Ilustración 59.Chorococcus sp.



Ilustración 60.Ceratium sp.



Ilustración 61. Closterium sp.



Ilustración 62. Diploides sp.

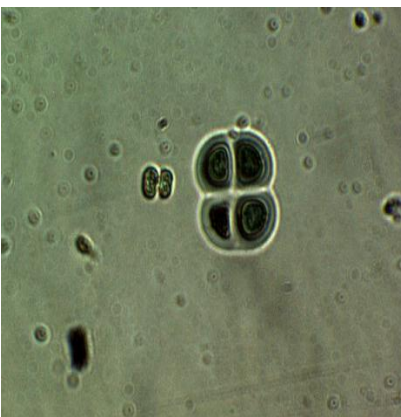


Ilustración 63. Cosmarium sp.



Ilustración 64. Euglena sp.

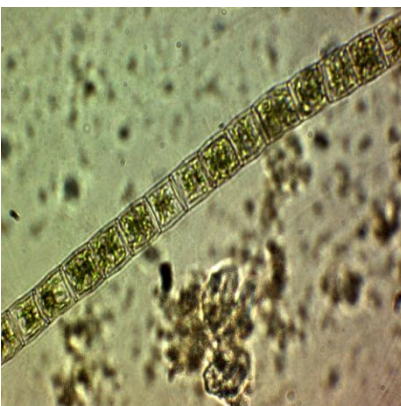


Ilustración 65. Melosira sp.

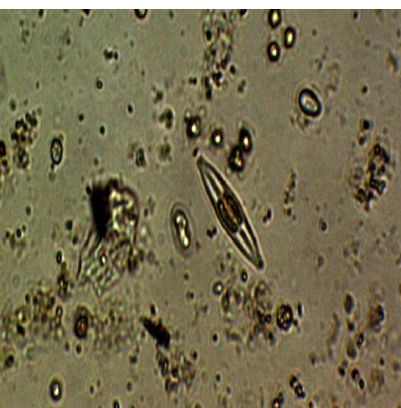


Ilustración 66. Navícula sp1.



Ilustración 67. Navicula sp2.



Ilustración 68. Nitzschia sp1.

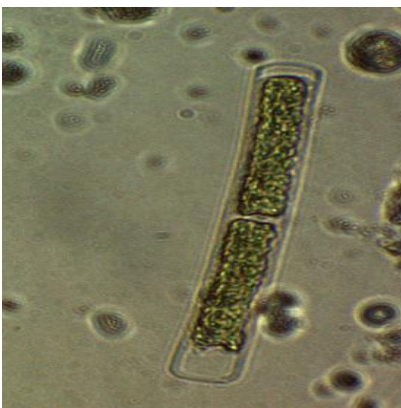


Ilustración 69. Oscillatoria sp.



Ilustración 70. Oscinodiscus sp.



Ilustración 71. Peridinium sp.



Ilustración 72. Pinnularia sp1.



Ilustración 73. Pinnularia sp2.

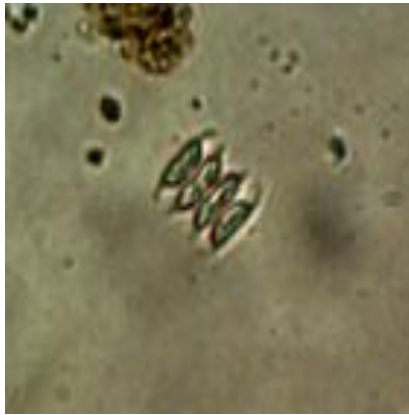


Ilustración 74. Scedesmus sp.

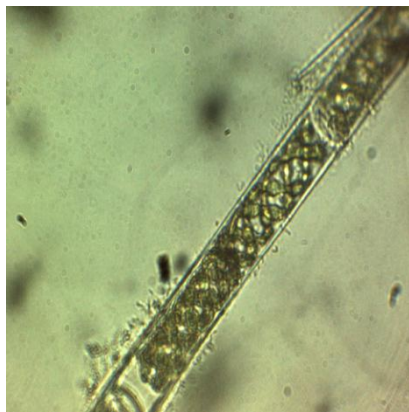


Ilustración 75. Spirogyra sp.

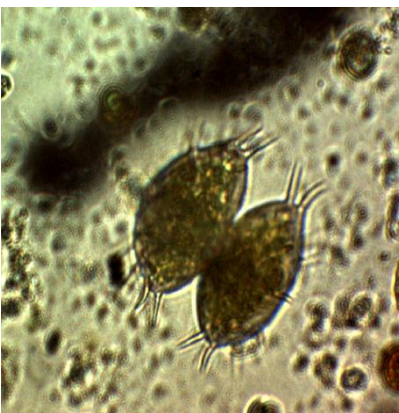


Ilustración 76. Staurastrum sp.

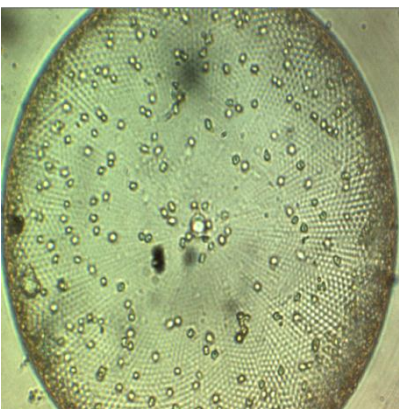


Ilustración 77. Stephanodiscus sp.



Ilustración 78. Synedra sp.



Ilustración 79. Tabellaria sp.

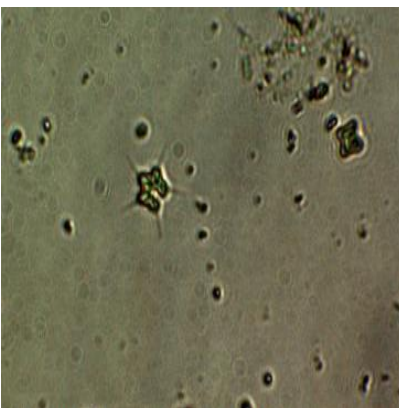


Ilustración 80. Tetraedron caudatum



Ilustración 81. Tetraedron minimum



Ilustración 82. Trachelomonas sp.



Ilustración 83. Ankistrodesmus densus



Ilustración 84. Euastrum sp.



Ilustración 85. Chlorogonium sp.

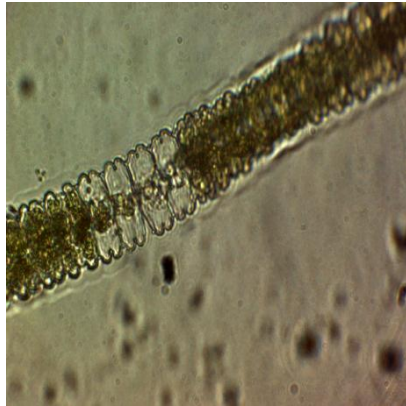


Ilustración 86. Desmidium sp.

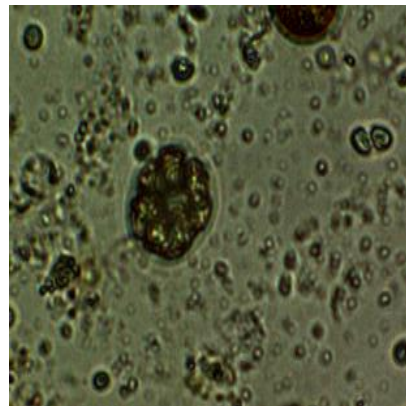


Ilustración 87. Coelastrum sp.



Ilustración 88. Nitzschia sp. 2.

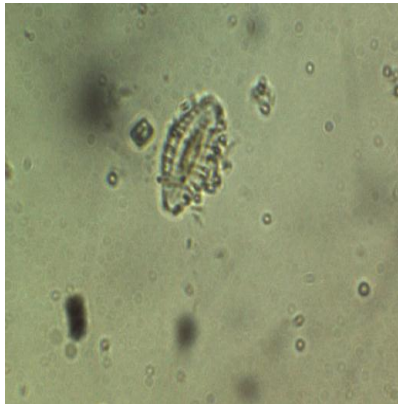


Ilustración 89. Surirella sp.

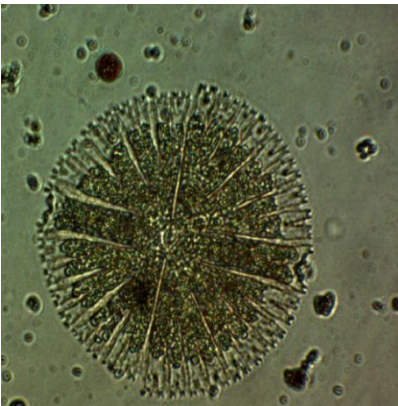


Ilustración 90. Micrasterias sp.

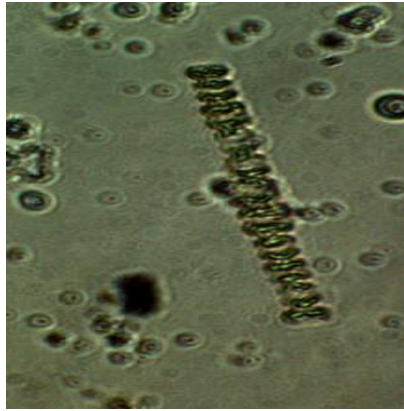


Ilustración 91. Sphaerosomas sp.

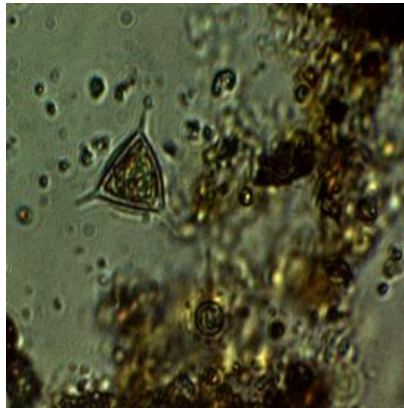


Ilustración 92. Staurodesmus sp.