

**CARACTERIZACIÓN DE LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS Y
ESTIMACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LAS LAGUNAS DE
CHINGAZA, DEL MEDIO Y EL ARNICAL EN EL PARQUE NACIONAL
NATURAL CHINGAZA**

**JUAN CAMILO PINEDA PATERNINA
GERARDO ENRIQUE QUIROZ ALVARADO**

**Directora:
Liliana Salazar López
BIÓLOGA ESP- MSc CIENCIAS AMBIENTALES**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ D.C.
2015**

**CARACTERIZACIÓN DE LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS Y
ESTIMACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LAS LAGUNAS DE
CHINGAZA, DEL MEDIO Y EL ARNICAL EN EL PARQUE NACIONAL
NATURAL CHINGAZA**

**JUAN CAMILO PINEDA PATERNINA
GERARDO ENRIQUE QUIROZ ALVARADO**

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Ambiental

Directora:

**Liliana Salazar López
BIÓLOGA ESP- MSc CIENCIAS AMBIENTALES**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ D.C.
2015**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado _____

Firma del jurado _____

Firma del jurado _____

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	12
2.1 GENERAL:	13
2.1 ESPECIFICOS:	13
3 MARCO DE REFERENCIA	14
3.1 MARCO CONTEXTUAL	14
3.1.1 Laguna del Arnical.	16
3.1.2 Laguna de Chingaza.....	17
3.1.3 Laguna del Medio.....	18
3.1.4 Aspectos biofísicos generales.....	19
3.2 MARCO TEORICO	21
3.2.1 Humedales.	21
3.2.2 Turberas.	22
3.2.3 Macroinvertebrados Acuáticos.....	23
3.2.4 Bioindicadores.	23
3.2.5 Índices de calidad del agua.	23
3.2.6 Índice BMWP.	24
3.2.7 Análisis de Componentes Principales (ACP).....	26
3.2.8 Análisis de Varianza (ANOVA).....	26
3.2.9 Biodiversidad.	27
3.3 MARCO INSTITUCIONAL	29
3.3.1 Parque Nacional Natural Chingaza.	29
3.4 MARCO LEGAL	29
3.4.1 Política Nacional de Biodiversidad.	29
3.4.2 Política Nacional para Humedales Interiores de Colombia	30
.....	30
3.4.3 Convención Ramsar sobre Humedales de Importancia Nacional.....	30
3.4.4 Sistema Nacional de Áreas Protegidas.	30
4. DESARROLLO CENTRAL	31
4.1 METODOLOGÍA	31
4.1.1 Análisis de la Información.....	33
4.1.2 Diseño Experimental.....	33
4.1.3 Fase de Campo.	37

4.1.4 Fase de Laboratorio.....	41
4.1.5 Fase de análisis de datos.....	42
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	46
5.1 IDENTIFICACIÓN DE LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS PRESENTES EN LAS LAGUNAS CHINGAZA, DEL MEDIO Y EL ARNICAL DEL PARQUE NACIONAL NATURAL CHINGAZA	46
5.1.1 Laguna el Arnical.....	53
5.1.2 Laguna del Medio.....	57
5.1.3 Laguna Chingaza.....	60
5.2 DETERMINACIÓN DEL ESTADO LIMNOLÓGICO NATURAL Y LA ESTRUCTURA BIOLÓGICA/AMBIENTAL DE LAGUNAS CHINGAZA, DEL MEDIO, Y EL ARNICAL MEDIANTE ÍNDICES DE DIVERSIDAD ESPECÍFICA. ...	65
5.2.1 Índice de diversidad de Shannon-Wiener.....	65
5.2.2 Índice de riqueza de Margalef.....	69
5.2.3 Índice de equidad de Pielou.....	73
5.2.4 Índice de similitud de Jaccard.....	77
5.3 COMPARACIÓN DE LA RIQUEZA Y DIVERSIDAD DE MACROINVERTEBRADOS (ANOVA).....	81
5.4 PARAMETROS FISICO-QUIMICOS	85
5.4.1 Oxígeno Disuelto.....	85
5.4.2 Temperatura. En la gráfica se observan los valores registrados a lo largo de los muestreos en las tres lagunas.....	86
5.4.2 Conductividad.....	87
5.4.3 pH.....	88
5.4.4 Potencial Redox.....	90
5.4.5 Turbidez.....	90
5.4.6 Nitratos.....	92
5.4.7 Fosfatos.....	93
5.4.8 DBO ₅	94
5.5 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES	95
5.5.1 Laguna del Arnical.....	95
5.5.2 Laguna del Medio.....	97
5.5.3 Laguna de Chingaza.....	99
5.6 EVALUACIÓN DE ÍNDICES BIOLÓGICOS DE CALIDAD DE AGUA.....	101
5.6.1 Índice BMWP/col. Y ASTP.....	101

5.7 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE ICA_{NSF} DE CALIDAD DE AGUA.....	104
5.8 COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA_{NSF} Y BMWp/col. 105	
6. CONCLUSIONES.....	107
7. RECOMENDACIONES.....	108
9. BIBLIOGRAFIA.....	110
10. ANEXOS.....	116

LISTA DE TABLAS.

TABLA 1. CLASES, VALORES Y CARACTERÍSTICAS PARA AGUAS NATURALES CLASIFICADAS MEDIANTE EL ÍNDICE BMWP/COL.	25
TABLA 2. UBICACIÓN Y COORDENADAS DE LOS PUNTOS ESCOGIDOS PARA EL MUESTREO EN LAS LAGUNAS ARNICAL, DEL MEDIO Y CHINGAZA	35
TABLA 3. COMPOSICIÓN DE LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS	47
TABLA 4. NÚMERO DE ORGANISMOS POR MUESTREO EN CADA UNA DE LAS LAGUNAS	51
TABLA 5. NÚMERO DE INDIVIDUOS POR FAMILIA Y RELACIÓN CON SUS RESPECTIVOS GÉNEROS PRESENTADOS EN LA GRÁFICA 8	54
TABLA 6. RESULTADOS PRUEBA T-STUDENT (ESTADÍSTICO DE HIPÓTESIS) PARA LOS PUNTOS DE MUESTREO LAGUNA ARNICAL	56
TABLA 7. NÚMERO DE INDIVIDUOS POR FAMILIA Y RELACIÓN CON SUS RESPECTIVOS GÉNEROS PRESENTADOS EN EL GRAFICO 10	58
TABLA 8. RESULTADOS PRUEBA T-STUDENT (ESTADÍSTICO DE HIPÓTESIS) PARA LOS PUNTOS DE MUESTREO LAGUNA DEL MEDIO	60
TABLA 9. NÚMERO DE INDIVIDUOS POR FAMILIA Y RELACIÓN CON SUS RESPECTIVOS GÉNEROS PRESENTADOS EN LA GRÁFICA 12	62
TABLA 10. RESULTADOS PRUEBA T-STUDENT (ESTADÍSTICO DE HIPÓTESIS) PARA LOS PUNTOS DE MUESTREO LAGUNA CHINGAZA	64
TABLA 11. ANOVA DE LA EQUIDAD Y DIVERSIDAD DE MACROINVERTEBRADOS PARA EL FACTOR RIQUEZA.	81
TABLA 12. ANOVA DE LA VARIABLE (LAGUNA) PARA EL FACTOR RIQUEZA	82
TABLA 13 PRUEBA DE ADECUACIÓN MUESTRAL Y ESFERICIDAD	95
TABLA 14 VARIANZA TOTAL EXPLICADA DE CADA FACTOR	95
TABLA 15 MATRIZ DE COMPONENTES ROTADOS	96
TABLA 16 PRUEBA DE ADECUACIÓN MUESTRAL Y ESFERICIDAD	97
TABLA 17.VARIANZA TOTAL EXPLICADA DE CADA FACTOR	97
TABLA 18 MATRIZ DE COMPONENTES	98
TABLA 19 PRUEBA DE ADECUACIÓN MUESTRAL Y ESFERICIDAD	99
TABLA 20 VARIANZA TOTAL EXPLICADA DE CADA FACTOR	99
TABLA 21 MATRIZ DE COMPONENTES ROTADOS	100
TABLA 22. RESULTADOS DEL ÍNDICE BMWP/COL Y ASTP PARA LA LAGUNA EL ARNICAL	101
TABLA 23. RESULTADOS DEL ÍNDICE BMWP/COL Y ASTP PARA LA LAGUNA DEL MEDIO	102
TABLA 24. RESULTADOS DEL ÍNDICE BMWP/COL Y ASTP PARA LA LAGUNA DEL MEDIO	102
TABLA 25. VALORES DE BMWP/COL PARA LAS LAGUNAS ARNICAL, DEL MEDIO, CHINGAZA PERTENECIENTES AL PARQUE NACIONAL NATURAL CHINGAZA	103
TABLA 26. VALORES DE ASTP PARA LAS LAGUNAS ARNICAL, DEL MEDIO, CHINGAZA PERTENECIENTES AL PARQUE NACIONAL NATURAL CHINGAZA	103

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. CLASIFICACIÓN TURBERAS	22
GRÁFICO 2. CLASIFICACIÓN DE ANÁLISIS DE VARIANZA	26
GRÁFICO 3. DIAGRAMA METODOLOGÍA UTILIZADA PARA EL DESARROLLO CENTRAL DEL PROYECTO INVESTIGATIVO	32
GRÁFICO 4. CLASIFICACIÓN Y NÚMERO DE FAMILIAS DE LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS EN LAS LAGUNAS EL ARNICAL, DEL MEDIO Y CHINGAZA	48
GRÁFICO 5. NÚMERO DE MACROINVERTEBRADOS TOTALES ESPECIFICANDO EL GÉNERO Y LA FAMILIA A LA CUAL PERTENECE CADA UNO.	50
GRÁFICO 6. NÚMERO DE ORGANISMOS POR CADA MUESTREO EN LAS TRES DIFERENTES LAGUNAS.	52
GRÁFICO 7. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE INDIVIDUOS POR FAMILIA PARA LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS EN LA LAGUNA EL ARNICAL	53
GRÁFICO 8. GÉNEROS DE MACROINVERTEBRADOS ENCONTRADOS EN LA LAGUNA EL ARNICAL	55
GRÁFICO 9. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE INDIVIDUOS POR FAMILIA PARA LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS EN LA LAGUNA DEL MEDIO.	57
GRÁFICO 10. GÉNEROS DE MACROINVERTEBRADOS ENCONTRADOS EN LA LAGUNA DEL MEDIO	59
GRÁFICO 11. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE INDIVIDUOS POR FAMILIA PARA LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS EN LA LAGUNA CHINGAZA	61
GRÁFICO 12. GÉNEROS DE MACROINVERTEBRADOS ENCONTRADOS EN LA LAGUNA CHINGAZA	63
GRÁFICO 13. ÍNDICE SHANNON- WIENER PARA LAS LAGUNAS EL ARNICAL, DEL MEDIO Y CHINGAZA	65
GRÁFICO 14. ÍNDICE SHANNON- WIENER PARA LA LAGUNA EL ARNICAL.	66
GRÁFICO 15. ÍNDICE SHANNON- WIENER PARA LA LAGUNA DEL MEDIO.	67
GRÁFICO 16. ÍNDICE SHANNON- WIENER PARA LA LAGUNA CHINGAZA.	68
GRÁFICO 17. ÍNDICE MARGALEF PARA LAS LAGUNAS EL ARNICAL, DEL MEDIO Y CHINGAZA	69
GRÁFICO 18. ÍNDICE MARGALEF PARA LA LAGUNA EL ARNICAL	70
GRÁFICO 19. ÍNDICE MARGALEF PARA LA LAGUNA DEL MEDIO	71
GRÁFICO 20. ÍNDICE MARGALEF PARA LA LAGUNA CHINGAZA	72
GRÁFICO 21. ÍNDICE PIELOU PARA LAS LAGUNAS EL ARNICAL, DEL MEDIO Y CHINGAZA.	73
GRÁFICO 22. ÍNDICE PIELOU PARA LA LAGUNA ARNICAL.	74
GRÁFICO 23. ÍNDICE PIELOU PARA LA LAGUNA DEL MEDIO.	75
GRÁFICO 24. ÍNDICE PIELOU PARA LA LAGUNA CHINGAZA.	76
GRÁFICO 25. ÍNDICE JACCARD PARA LOS DIFERENTES MUESTREOS EN LAS LAGUNAS EL ARNICAL, DEL MEDIO Y CHINGAZA	77
GRÁFICO 26. ÍNDICE JACCARD PARA LAS LAGUNAS ARNICAL, DEL MEDIO Y CHINGAZA EN LOS DIFERENTES MUESTREOS O ÉPOCAS DEL AÑO	78
GRÁFICO 27. ÍNDICE JACCARD APLICADO A LA SEMEJANZA ENTRE LAS LAGUNAS ARNICAL, DEL MEDIO Y CHINGAZA EN LAS DIFERENTES ÉPOCAS DE MUESTREO (M1), (M2) Y (M3)	79
GRÁFICO 28. CORRELACIÓN ENTRE ÍNDICES DE BIODIVERSIDAD MARGALEF Y SHANNON	83
GRÁFICO 29. CORRELACIÓN ENTRE ÍNDICES DE BIODIVERSIDAD DE PIELOU Y MARGALEF	84

GRÁFICO 30. COMPARACIÓN DE LA VARIACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN LAS TRES LAGUNAS.	85
GRÁFICO 31. COMPARACIÓN DE LA VARIACIÓN DE TEMPERATURA EN LAS TRES LAGUNAS	86
GRÁFICO 32. COMPARACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD EN LAS TRES LAGUNAS.	88
GRÁFICO 33. COMPARACIÓN DE LA VARIACIÓN DE PH EN LAS TRES LAGUNAS.	89
GRÁFICO 34. COMPARACIÓN DE LA VARIACIÓN DEL POTENCIAL REDÓX EN LAS TRES LAGUNAS	90
GRÁFICO 35. COMPARACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LA TURBIDEZ EN LAS TRES LAGUNAS.	91
GRÁFICO 36. COMPARACIÓN DE LA VARIACIÓN DE NITRATOS EN LAS TRES LAGUNAS.	92
GRÁFICO 37. COMPARACIÓN DE LA VARIACIÓN DE FOSFATOS EN LAS TRES LAGUNAS.	93
GRÁFICO 38. COMPARACIÓN DE LA VARIACIÓN DE DBO5 EN LAS TRES LAGUNAS	94
GRÁFICO 39. COMPONENTES EN ESPACIO ROTADO LAGUNA ARNICAL MARCADOR NO DEFINIDO.	¡ERROR!
GRÁFICO 40. COMPONENTES EN ESPACIO ROTADO LAGUNA DEL MEDIO MARCADOR NO DEFINIDO.	¡ERROR!
GRÁFICO 41. COMPONENTES EN ESPACIO ROTADO LAGUNA CHINGAZA MARCADOR NO DEFINIDO.	¡ERROR!
GRÁFICO 42. COMPARACIÓN ÍNDICE ICANSF DE LAS LAGUNAS ARNICAL, DEL MEDIO Y CHINGAZA	104
GRÁFICO 43. COMPARACIÓN DEL ÍNDICE BMWPCOL Y EL ICA _{NSF}	105

LISTA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 PARQUE NACIONAL NATURAL. LAGUNA CHINGAZA	15
ILUSTRACIÓN 2 LOCALIZACIÓN DE PNN CHINGAZA	15
ILUSTRACIÓN 3. DIVISIÓN ZONAL DEL PARQUE NACIONAL NATURAL CHINGAZA SEGÚN PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL	20
ILUSTRACIÓN 4. DISEÑO DE CUADRADO DE MUESTREO	38
ILUSTRACIÓN 5. METODOLOGÍA DE MUESTREO UNO, BARRIDO DE FONDO EN FORMA CUADRADA	39
ILUSTRACIÓN 6. MUESTREO SEGÚN EL METODO “DIPPING”	39
ILUSTRACIÓN 7. MUESTREO DE MACROINVERTEBRADOS LAGUNA DEL MEDIO	40
ILUSTRACIÓN 8. MULTIPARÁMETRO MARCA QUANTA	41
ILUSTRACIÓN 9. . MUESTRAS RECOLECTADAS EN FRASCOS VIALES Y GUÍA PARA EL ESTUDIO DE LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS DE GABRIEL ROLDÁN	42

LISTA DE MAPAS

MAPA 1, LAGUNA CHINGAZA, DEL MEDIO Y EL ARNICAL PARQUE NACIONAL NATURAL CHINGAZA	16
MAPA 2. LAGUNA DEL ARNICAL PARQUE NACIONAL NATURAL CHINGAZA	17
MAPA 3. LAGUNA CHINGAZA DEL PARQUE NACIONAL NATURAL CHINGAZA	18
MAPA 4. LAGUNA DEL MEDIO DEL PARQUE NACIONAL NATURAL CHINGAZA	19

RESUMEN

En el presente se realizó la caracterización de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y la estimación de la calidad de agua de tres lagunas del Parque Nacional Natural Chingaza: la laguna del Arnical, la Laguna del Medio y la Laguna de Chingaza. Para esto, se llevaron a cabo 3 muestreos en los meses de Septiembre de 2014, Marzo y Abril de 2015, los cuales corresponden a temporada húmeda, seca y de transición respectivamente. En esta investigación se recolectaron 1007 macroinvertebrados acuáticos representados en 4 phylum: Arthropoda, Annelida, Mollusca y Platyhelminthes; 7 clases: Malacostraca, Insecta, Hirudinea, Olichetam Bivalvia, Turbellaria y Gastropoda; 12 órdenes: Amphipoda, Hemiptera, Ephemeroptera, Coleoptera, Diptera, Odonata, Arthynchobdellida, Rhynchobdellida, Haplotaxida, Veneroida, Tricladida y Basommatophora y 16 familias: Hyalellidae, Corixidae, Notonectidae, Baetidae, Gyrinidae, Ceratopogonidae, Chironomidae, Lestidae, Aeshnidae, Erpobdellidae, Glossiphoniidae, Lumbricidae, Sphaeriidae, Planariidae y Physidae de las cuales la Glossiphoniidae, la Notonectidae, la Corixidae y la Hyalellidae presentaron dos morfo especies diferentes. La Hyalellidae fue la familia más representativa durante todo el muestreo; esta clasificación se hizo con el fin de determinar el índice BMWP/Col., el cual indica como es la calidad de agua según los macroinvertebrados recolectados. Adicionalmente, a esto se tomaron parámetros fisicoquímicos, y biológicos in situ en cada punto de muestreo para poder determinar el índice de calidad de agua National Sanitation Foundation ICA_{NSF} , y los índices biológicos de Shannon-Weaver, Margalef, Pielou y Jaccard, con la finalidad de saber la biodiversidad en los puntos muestreados.

Los parámetros fisicoquímicos fueron analizados y tratados estadísticamente por medio del análisis de componentes principales para determinar el comportamiento de éstos en cada una de las lagunas. Además se utilizó el análisis de varianza para determinar el porcentaje de la correlación que tienen cada uno de los índices de biodiversidad. Finalmente, se hizo una relación entre el índice BMWP y el ICA_{NSF} , con el fin de saber si ambos métodos coinciden y se relacionan, al presentar la clasificación de calidad de agua en cada una de las lagunas.

Palabras claves: Macroinvertebrados, bioindicación, calidad de agua, biodiversidad, índices de calidad, índices de biodiversidad.

ABSTRAC

In this investigation we made the characterizing the community of aquatic macroinvertebrates and the estimation of water quality of three lagoons in Chingaza Natural Park, these lagoons are: the Arnical, Del Medio and Chingaza. For this it was carried out 3 samples in the months of September 2014, March and April 2015, which correspond to wet, dry and transition respectively. In this research are collected 1007 aquatic macroinvertebrates represented in 4 phylum which are Arthropoda, Annelida, Mollusca and Platyhelminthes; 7 classes: Malacostraca, Insecta, Hirudinea, Olicheta, Bivalvia, Turbellaria y Gastropoda; 12 orders Amphipoda, Hemiptera, Ephemeroptera, Coleoptera, Diptera, Odonata, Arhynchobdellida, Rhynchobdellida, Haplotaxida, Veneroidea, Tricladida and Basommatophora and 16 families Hyalellidae, Corixidae, Notonectidae, Baetidae, Gyrinidae, Ceratopogonidae, Chironomidae, Lestidae, Aeshnidae, Erpobdellidae, Glossiphoniidae, Lumbricidae, Sphaeriidae, Planariidae and Physidae, of which the Glossiphoniidae, the Notonectidae, the Corixidae and the Hyalellidae presented two morph species different. The Hyalellidae was the most representative family throughout the sampling. This classification was made to determine the BMWP/Col., which is indicated as water quality as macroinvertebrates collected. Additionally, this physicochemical parameters were taken, and biological in situ in each sampling point to determine the rate of water quality National Sanitation Foundation ICA_{NSF} and biological rates of Shannon-Weaver, Margalef, Pielou and Jaccard, in order to know the biodiversity in the sampled points.

The physicochemical parameters were statistically analyzed and processed by the principal components analysis to determine their behavior in each of the lagoons. Besides, the analysis of variance used to determine the contributions between biodiversity rates. Finally, there was an association between BMWP/Col, and the ICA_{NSF} , in order to know if both methods are agree and related, to presenting the classification of water quality in each of the lagoons

Keywords: Macroinvertebrates, Bioindication, Water Quality, Biodiversity Quality rates, Biodiversity Quality.

1. INTRODUCCIÓN

Las lagunas de alta montaña, se encuentran generalmente a condiciones climáticas muy extremas, razón por la cual las características de las aguas y las comunidades que allí se encuentran son especiales, por tanto, estas comunidades de organismos con características propias en un espacio y tiempo determinados, son la suma de interacciones que ocurren dentro de un ecosistema dando explicación a su comportamiento y estructura en conjunto; por estas características tan propias, en Colombia se han realizado numerosos estudios limnológicos usando bioindicadores como macroinvertebrados con el fin de determinar la calidad del agua y el comportamiento estructural de estos cuerpos hídricos.

La presente investigación tiene como objetivo la caracterización de la comunidad de macroinvertebrados y la estimación de la calidad del agua en las lagunas de Chingaza, del Medio y el Arnical en el Parque Nacional Natural Chingaza. Un conocimiento detallado de la calidad de agua no solamente involucra análisis físicos y químicos, también existen organismos que demuestran cambios frente a alteraciones que se generan ya sea, por causa antrópica o natural en un tiempo y espacio determinado. Por lo anterior, una exhaustiva evaluación basada en macroinvertebrados acuáticos utilizados como bioindicadores de calidad del agua generan información de las posibles alteraciones o perturbaciones que afectan los ecosistemas acuáticos [1], sea este el caso de estudio en las lagunas Arnical, del Medio y Chingaza.

De esta manera se busca evaluar las condiciones ecológicas de tres diferentes cuerpos de agua utilizando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores, los cuales se clasificaron hasta la taxa de familia con el fin de determinar el índice BMWP/Col., además se caracterizó la calidad fisicoquímica del agua para calcular el ICA_{NSF} , esto con el fin de relacionar estos dos índices y poder determinar la calidad del agua en las tres lagunas.

Este trabajo investigativo también tiene como misión dar a conocer la importancia de los bioindicadores acuáticos como una herramienta para la evaluación de la calidad del agua en el Parque Nacional Natural Chingaza, debido a la importancia que tiene este último para Colombia. Así mismo se tiene en cuenta que los estudios de calidad de agua implementados en el parque (PNNC) han sido muy pocos sobre todo en la laguna del Arnical y la Del Medio.

OBJETIVOS

2.1 GENERAL:

Caracterizar la comunidad de macroinvertebrados y estimar la calidad del agua de las lagunas Chingaza, del Medio, y Arnical en el parque nacional natural Chingaza.

2.1 ESPECIFICOS:

- Identificar la comunidad de Macroinvertebrados en las lagunas Chingaza, del Medio y el Arnical del Parque Nacional Natural Chingaza.
- Caracterizar la calidad fisicoquímica del agua en diferentes puntos de muestreo de las 3 lagunas del Parque Nacional Natural Chingaza.
- Determinar el estado natural de calidad de agua de las lagunas Chingaza, del Medio, y el Arnical mediante el índice BMWP.
- Determinar el ICA_{NSF} índice de calidad del agua de las lagunas Chingaza, del Medio y el Arnical.
- Relacionar los índices ICA y BMWP de cada una de las lagunas.

3 MARCO DE REFERENCIA

3.1 MARCO CONTEXTUAL

El Parque Nacional Natural Chingaza se encuentra situado en la parte Oriental de la cordillera, al nororiente de la ciudad de Bogotá entre los 4°51' - 4°20' N y los 73°30' - 73°55' W. El Parque se creó en 1977 y desde entonces varias entidades han estado comprometidas con la ampliación y preservación del mismo. El Parque tiene un rango altitudinal de 800 y 4020 msnm, y un área de 76600 Ha que están repartidas de la siguiente forma: en el departamento de Cundinamarca en los municipios de la Calera, Choachí, Fómeque, Gachalá, Guasca, Junín y Medina y en el departamento de Meta en los Municipios de El Calvario, Cumaral, Restrepo y San Juanito. [2].

Dentro del Parque se encuentra el páramo de Guasca, seguido por el páramo de Palacio y Barajas llegando a el páramo de Chingaza, el cual se ramifica hacia los Llanos Orientales, formando la serranía los Órganos y el de los Farallones de Medina [2] [3].

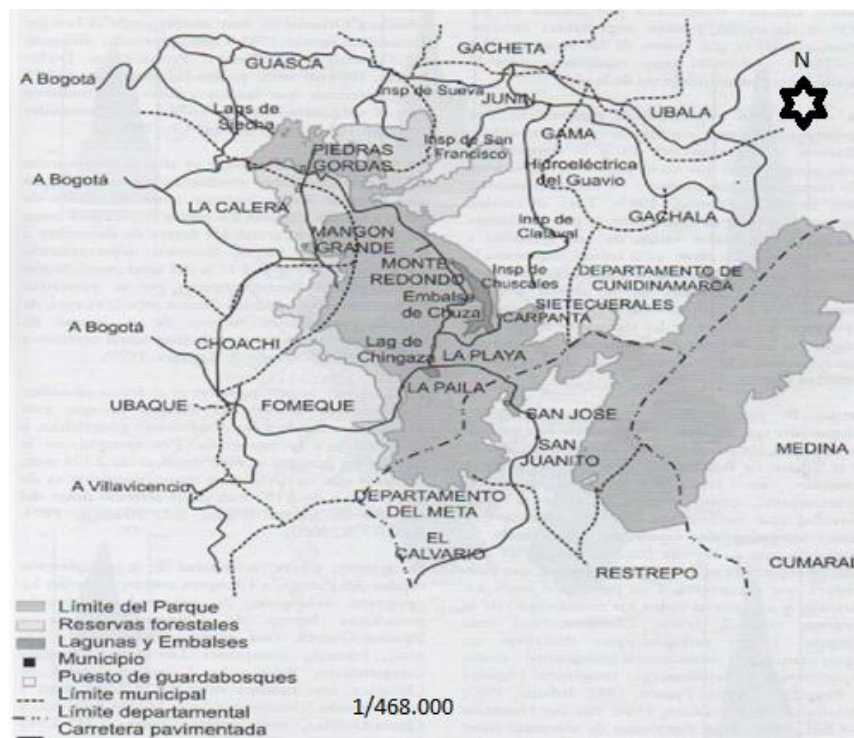
La importancia del Parque radica en que es fuente de abastecimiento hídrico para una de las zonas más habitadas de Colombia, es decir, Bogotá y sus pueblos aledaños, ya que, las cuencas que se originan al interior del Parque están formadas por los ríos de Chuza, la Playa y el Río Frío, vertientes que son aprovechadas por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá para la captación del agua y por ende suministro para la ciudad. Sin embargo, actualmente el agua que provee a Bogotá no sale directamente del Parque, sino que es traída de los Llanos. [2]

| Ilustración 1 Parque Nacional Natural. Laguna Chingaza



Fuente: Foto tomada por Gerardo Quiroz y Juan Pineda

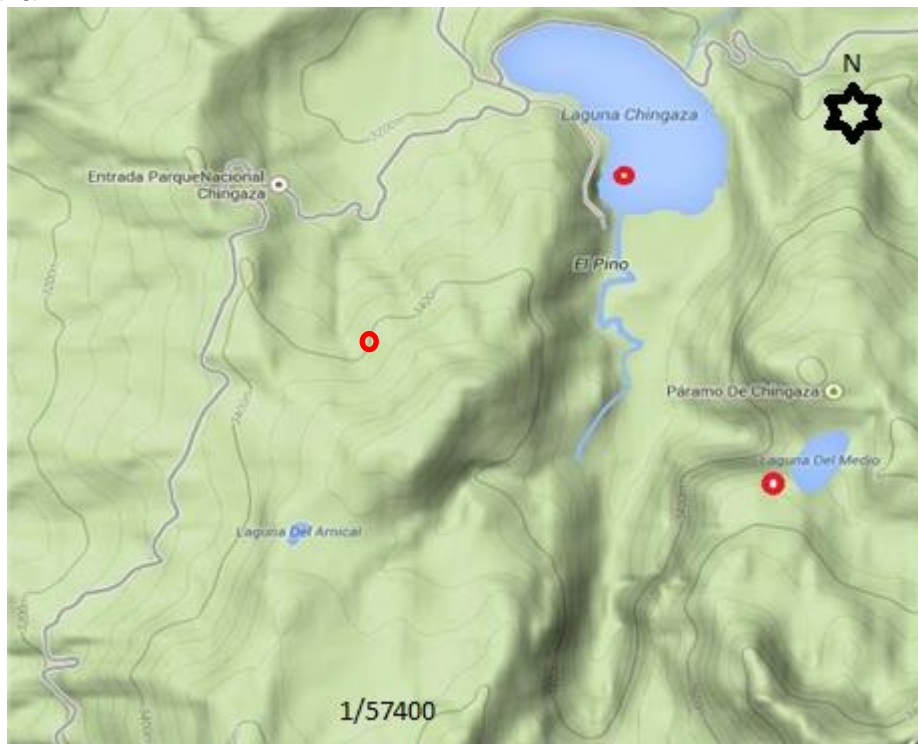
Ilustración 2 Localización de PNN Chingaza



Fuente: [2]

Las zonas de estudio son la Laguna del Arnical, del Medio y Chingaza.

Mapa 1, Laguna Chingaza, del Medio y el Arnical Parque Nacional Natural Chingaza



Fuente: [4]

3.1.1 Laguna del Arnical.

Tiene un área de 2,5 Ha y se encuentra a una altura de 3500 msnm. Esta laguna se encuentra rodeada de bromeliáceas, frailejones, en general la superficie del suelo es blanda dado que el nivel freático es muy alto en esta zona, sin embargo, se puede recorrer alrededor. El acceso a la laguna se puede hacer desde dos formas, la primera es por el filo de una montaña, y la segunda es por medio del bosque de páramo.

Mapa 2. Laguna del Arnical Parque Nacional Natural Chingaza



Fuente: [4]

3.1.2 Laguna de Chingaza.

Tiene un área de 88 Ha y se encuentra a una altura de 3250 msnm. En esta laguna predominan los frailejones y los helechos, el piso no es muy firme debido al alto nivel freático que presenta. Debido a la estructura de la laguna, a su distribución zonal y a sus accesos es difícil recorrerla de manera completa ya que posee una montaña en el costado occidental dificultando el acceso y el estudio completo de la misma.

Mapa 3. Laguna Chingaza del Parque Nacional Natural Chingaza



Fuente: [4]

3.1.3 Laguna del Medio.

Tiene un área de 5,25 Ha y se encuentra a una altura de 3520 msnm. En esta laguna la vegetación que se encuentra es sobre todo bambúes, frailejones, helechos, entre otros. Esta laguna no se puede rodear totalmente debido a que una parte de montaña impide el paso, y la vegetación tiende a ser más densa por esa zona, adicional a esto el suelo es más firme en esta laguna que en la del Arnical por lo que presenta menos humedad.

Mapa 4. Laguna Del Medio del Parque Nacional Natural Chingaza



Fuente: [4]

3.1.4 Aspectos biofísicos generales.

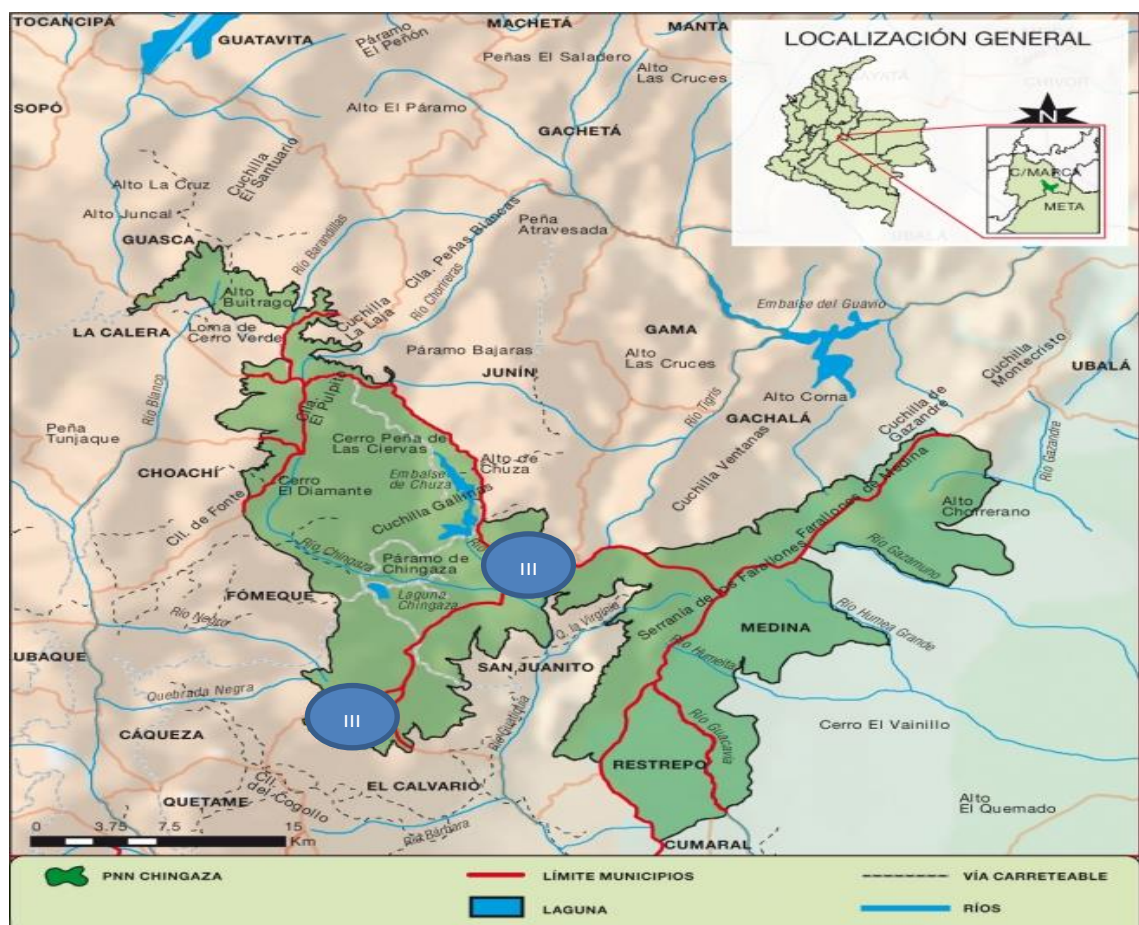
En aquellas regiones ecuatoriales que sobrepasan una altitud de 3000 msnm, también denominadas (montañas tropicales) se presentan importantes características climáticas, adaptando ambientes para la colonización y mantenimiento de la vida en aquellas condiciones. [5]

Por ejemplo, el Parque Nacional Natural de Chingaza, ubicado en la región Andina colombiana con una altura entre los 800 y 4020 msnm, presenta una alta pluviosidad y una temperatura que oscila entre los 4° y los 21.5°C permitiendo registrar valores en la humedad relativa que sobrepasan el 80% a lo largo de todo el año, lo que permite estimar que se mantiene entre el 85% y el 90%. [2]

Ahora bien, el lugar se caracteriza por estar expuesto a las bajas temperaturas, en la mayoría del Parque las temperaturas mínimas alcanzan valores que durante todo el año oscilan por debajo de los 0°C o -2°C, y las temperaturas máximas medias entre los 12°C y los 14°C; no obstante, la temperatura más fría puede estar en 6°C en la cima de la serranía de los Farallones, hasta los 21°C a 800m de altitud sobre el río Guacavía. A lo largo del año la distribución de temperaturas es inversamente proporcional al patrón de distribución de precipitaciones ya que la alta pluviosidad se encuentra acompañada de bajas temperaturas y viceversa. [2]

A lo largo del año, las precipitaciones medias presentan un periodo intenso de lluvias durante los meses de mayo y agosto, periodo en el cual se precipita aproximadamente el 60% del total anual, mientras que en los meses de diciembre a febrero, presentan una menor intensidad representando solo entre el 9% y el 17% del total anual, no obstante, dentro del parque, este factor climático es el más variable ya que depende de las condiciones geográficas, altitud y topografía. De acuerdo a la precipitación, el parque se puede dividir en 5 zonas [5]

Ilustración 3. División zonal del Parque Nacional Natural Chingaza según precipitación promedio anual



Fuente: [3]

La zona 3 la cual ocupa la mayor parte del parque con una precipitación promedio anual de 2800 mm y se encuentra a una altitud entre los 2000 y los 3000 msnm es la zona de principal importancia para el presente estudio ya que abarca las cuencas hidrográficas de los ríos Frio (en la cual se encuentran las lagunas Arnical, del Medio y Chingaza), La Playa y Guatiquía.

3.2 MARCO TEORICO

3.2.1 Humedales.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible ha adoptado la definición dada en la convención de Ramsar, en el artículo 1, párrafo 1, la cual establece que “son humedales las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua, sean éstas de régimen natural artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros” [6].

El funcionamiento y resiliencia de los humedales dependen de una relación dinámica con las especies, entre especies y su ambiente abiótico, así como las interacciones físicas y químicas, por tal motivo es de gran importancia tener en cuenta que el funcionamiento de los humedales es muy variado, ya que, son zonas amortiguadoras de niveles de aguas altas y lugares de refugio ecológico transitorio de especies migratorias y de alta productividad biológica. Además de esto puede afirmarse que los humedales del país concentran una proporción significativa de la biodiversidad, representada en flora y fauna relativamente restringida y especializada a estos espacios ecosistémicos. Dentro de las funciones que cumplen los humedales están: [7]

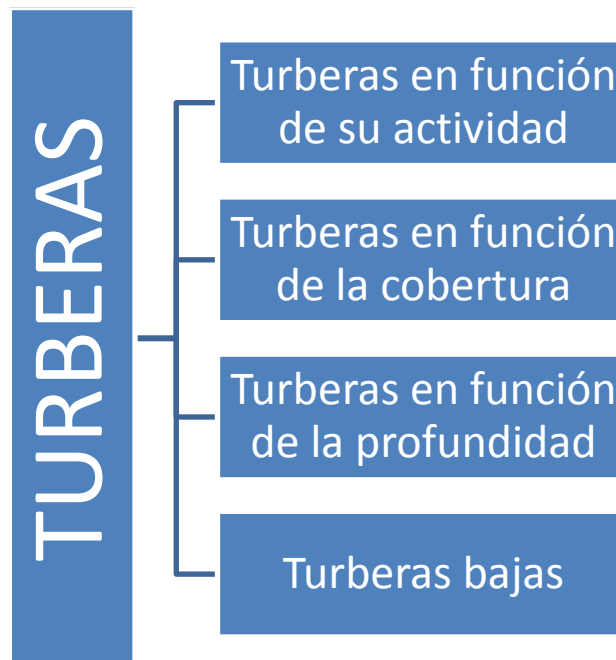
- Hábitats clave para el mantenimiento de la fauna reofítica o migratoria.
- Balance entre la formación del relieve y origen del suelo.
- Descarga de acuíferos.
- Evaporación y evapotranspiración.
- Mantenimiento de la humedad ambiental y microclimas.
- Producción y reincorporación de la materia orgánica.
- Recarga acuíferos.
- Control de la dinámica de flujos superficiales de agua.

Los humedales se pueden representar como ecosistemas constituidos por componentes bióticos y abióticos, que interactúan activamente como una unidad ecológica. Los componentes que los conforman generan interacciones a través de las cuales son capaces de modificarse mutuamente, éstas determinan en último término los estados futuros del ecosistema. [8]

3.2.2 Turberas.

Son humedales constituidos por el acoplamiento de turba, este es material producto de la descomposición del exceso de material orgánico que por lo general son de origen vegetal, debido a que no hay una buena mineralización de la materia orgánica. Un ejemplo de esto es la baja disponibilidad de oxígeno disuelto por los encharcamientos, la existencia de substratos carentes de nutrientes y la baja temperatura, debido a esto las turberas se localizan en lugares de constante precipitación y áreas donde el nivel freático se sostiene próximo a la superficie durante varios meses. Se considera que el 90% de éstas es agua y se considera que encierran el 0.3% de todo el carbono que se encuentra en el suelo de la tierra y ocupan del 4% al 5% de la superficie terrestre. [9]

Gráfico 1. Clasificación turberas



FUENTE: [9]

- Turberas en función de su actividad: Se encuentra en proceso de formación y acumulación.
- Turberas en función de su cobertura: Solo se alimentan de aguas lluvias y es pobre en nutrientes además de ser generalmente ácidos.
- Turberas en función de la profundidad: Tiene aguas ricas en minerales y nutrientes, haciendo que los suelos sean alcalinos.

- Turberas bajas: Son de poca extensión haciendo que se formen encharcamientos poco profundos. [10]

3.2.3 Macroinvertebrados Acuáticos.

Los Macroinvertebrados acuáticos son organismos con un tamaño superior a los 0.5mm hasta los 30 cm de longitud, es decir, son fácilmente identificables por el ojo humano. El prefijo macro indica que esos organismos son retenidos por redes de tamaño entre 200-500mm y que se ven a simple vista [11].

Los macroinvertebrados acuáticos viven en el fondo de lagos y ríos, enterrados en el fondo, sobre rocas, y troncos sumergidos, adheridos a vegetación flotante o enraizada, algunos nadan libremente dentro del agua o sobre la superficie. [12]

Los macroinvertebrados se pueden encontrar en dos tipos de ecosistemas de aguas dulces: ecosistemas lénticos o de aguas tranquilas y lóuticos o de aguas rápidas, donde se pueden encontrar una gran cantidad de especies de artrópodos, anélidos y moluscos. [12].

3.2.4 Bioindicadores.

Los bioindicadores son atributos de los sistemas utilizados para descifrar factores de su ambiente. En principio, se usaron especies o asociaciones de éstas como indicadores, después, comenzaron a emplearse atributos correspondientes a otros niveles de organización del ecosistema, como por ejemplo, poblaciones, comunidades, etc., hecho que resultó particularmente útil en estudios de contaminación [13].

Los bioindicadores son organismos o restos de estos mismos, cuyo objetivo es ayudar a determinar cualquier acontecimiento relacionado con el estudio de un ambiente. Cada especie o población tiene unos determinados límites de condiciones ambientales, como por ejemplo: límites máximos donde los organismos pueden sobrevivir, límites intermedios donde crecen y límites estrechos donde se reproducen. En general, cuando más estrechos sean sus límites de tolerancia, mayor será su utilidad como indicador ecológico. Las especies bioindicadoras, deben ser abundantes, sensibles al medio de vida, fáciles y rápidas de identificar, y con poca movilidad. [13]

3.2.5 Índices de calidad del agua.

El propósito de los índices de calidad de aguas (ICA), es simplificar en una expresión numérica las características positivas o negativas de cualquier fuente de agua [14]

Los ICA's tienen como objeto estimar (generalmente valores entre 0 y 1), el grado de calidad de un determinado cuerpo hídrico continental. [15] Con ello,

se pretende reconocer problemas de contaminación de una forma ágil, sin tener que recurrir a la observación de cada una de las numerosas variables fisicoquímicas determinadas; esto se resalta cuando hay que realizar una gran cantidad de evaluaciones de forma periódica [14].

El procedimiento para definir uno u otro índice sigue de manera general los siguientes pasos:

- Selección de las variables físicas y químicas.
- Asignación de valores de calidad (0 a 1) a diferentes concentraciones de las variables, establecimiento de una relación (ecuación) entre índice – variable.
- Asignación de coeficientes de ponderación (importancia para cada variable).

Acorde con el índice obtenido, la calidad de un cuerpo de agua según el INSF¹ queda definida como: [15]

- Excelente: Valor del Índice de 91 – 100
- Buena: Valor del Índice de 71 – 90
- Regular: Valor del Índice de 51 – 70
- Mala: Valor del Índice de 26 – 50
- Pésima: Valor del Índice de 0 – 25

El ICA_{NSF} tiene varias limitaciones ya que caracteriza de manera general la calidad del agua, de tal manera que procesos físicos, químicos o biológicos que indican alta degradación de las aguas pueden ser camuflados por otros que no presentan contaminación alguna [16].

3.2.6 Índice BMWP.

Se basa principalmente en la existencia de familias de macroinvertebrados acuáticos sensibles o a la contaminación del agua; para su cálculo se suman los puntos asignados a cada familia según su tolerancia; las familias de puntuaciones altas representan una gran sensibilidad a alteraciones en la calidad del agua, mientras que las puntuaciones bajas, representan lo contrario. Una vez sumado los puntajes de las familias se divide la puntuación total BMWP por el número de los taxones calificados en la muestra, expresando el promedio de indicación de calidad del agua que tienen las familias de macroinvertebrados encontradas en un sitio determinado. [17]

Según Guerrero [18], los macroinvertebrados (MI) son los que más se utilizan como bioindicadores para la determinación del estado metabólico de un ecosistema, ya que, por ser sedentarios y con ciclos de vida relativamente

¹INSF: Indice National Sanitation Foundation de los Estados Unidos




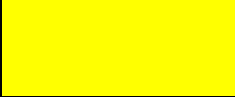

largos, pueden ser empleados para evaluar la calidad del agua en un lugar, a lo largo de un período de tiempo. Otra ventaja es que los monitoreos con macroinvertebrados acuáticos no requieren de grandes inversiones de tiempo, económicas o de capital humano, como por ejemplo lo hacen los análisis físico-químicos. Un estudio de monitoreo de los insectos y otros organismos que viven en determinado cuerpo de agua, puede generar información válida para conocer el grado de contaminación presente en él. [19]

Para el BMWP es de vital importancia el conocimiento detallado de los organismos hasta el nivel de género y especie, si se quiere que el diagnóstico sea lo más exacto posible. Si a esto se le suman una serie de análisis físico-químicos y microbiológicos, se podrá con mayor certeza diagnosticar el verdadero estado del ecosistema.

El nivel de conocimiento que se tiene en Colombia de la fauna de macroinvertebrados acuáticos, no permite llegar a un refinamiento, como si se tiene en Estados Unidos y en Europa, donde se dispone de claves hasta el nivel de especie para la mayor parte de la fauna existente en estos países. Con un estado así de conocimiento, se puede trabajar con índices bióticos y de diversidad, que permiten ver con mayor claridad y detalle la estructura de la comunidad, sus microhábitats y sus nichos ecológicos. [20]

A continuación se presenta la tabla en la cual se relacionan los rangos utilizados para la determinación de la calidad del agua mediante el índice BMWP/Col adaptado y modificado por Roldán [1]

Tabla 1. Clases, valores y características para aguas naturales clasificadas mediante el índice BMWP/Col.

Clase	Rango	Calidad	Características	Color Cartográfico
I	> 121	Muy Buena	Aguas muy limpias	
II	101-120	Buena	Aguas limpias	
III	61-100	Aceptable	Aguas medianamente contaminadas	
IV	36-60	Dudosa	Aguas contaminadas	
V	16-35	Critica	Aguas muy contaminadas	

VI	$= 0 < 15$	Muy Critica	Aguas fuertemente contaminadas	
----	------------	-------------	--------------------------------	--

Fuente: [11]

3.2.7 Análisis de Componentes Principales (ACP).

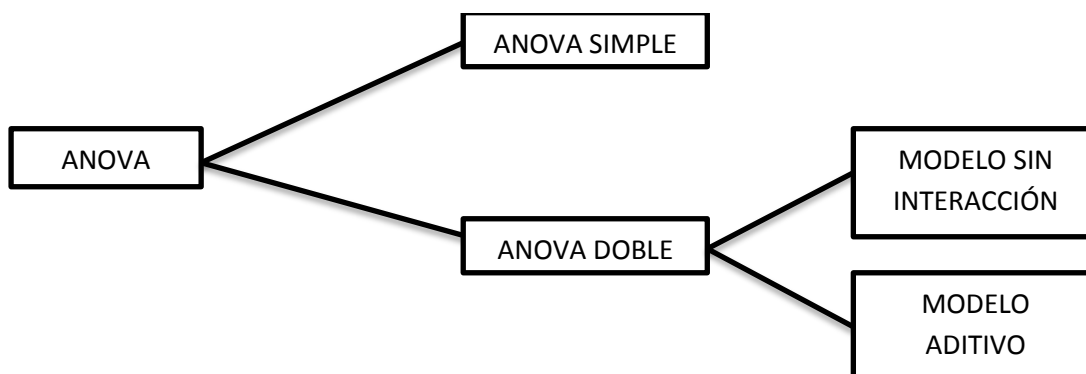
Técnica estadística cuyo objetivo es sintetizar la información o reducir su número de variables perdiendo la menor cantidad de información posible. Para esto se crean unos componentes principales o factores que serán una combinación lineal de las variables originales siendo independientes entre sí. Un aspecto clave es la interpretación de los factores, porque estos no vienen a priori, sino que toca deducirlo al observar la relación de los factores con las iniciales. [21].

3.2.8 Análisis de Varianza (ANOVA).

Método estadístico para comparar dos o más tratamientos ajustando las características del diseño experimental usado en la obtención de los datos. No es un método fijo por lo que se adapta a cualquier diseño en particular, de esta forma, si el diseño es unifactorial se usa ANOVA de un factor, si es multifactorial se usa ANOVA de dos factores, tres factores, ect, correspondiente al caso. Para trabajar este modelo hay que tener en cuenta unas hipótesis que deben de cumplirse, estas son:

- La distribución de los datos debe ser normal.
- Debe haber homogeneidad de varianzas

Gráfico 2. Clasificación de análisis de varianza



FUENTE: [21]

3.2.9 Biodiversidad.

Es la variedad de seres vivos y los patrones naturales que la conforman, resultado de miles de millones de años de evolución según procesos naturales y la influencia de las actividades antrópicas que se encuentran en un ecosistema, esta es dinámica por lo que pueden variar en tiempo y espacio en relación de varios factores como: la extensión de las especies, y su evolución en el tiempo y espacio. Hoy en día, el número de especies no es todo en la biodiversidad, sino, que también tienen en cuenta todos los niveles de organización biológica. [22]

Existen varios tipos de biodiversidad, entre los que se destacan:

3.2.9.1 Diversidad Alfa. La gran mayoría de los métodos propuestos para evaluar la diversidad de especies se refieren a la diversidad dentro de las comunidades (alfa). Para diferenciar los distintos métodos en función de las variables biológicas que miden, los dividimos en dos grandes grupos:

- Métodos basados en la cuantificación del número de especies presentes (Margalef de riqueza específica para el presente estudio).
- Índice de Margalef. Generalmente usado en ecología para determinar la biodiversidad de una comunidad en un ecosistema, basándose en la distribución numérica de los individuos de las diferentes especies en función del número total de individuos en la muestra. En gran parte de los ecosistemas el índice da valores entre los 0.5 y los 5, sin embargo, el rango normal está entre los 2 y los 3, cabe resaltar que entre más valor, mayor es la biodiversidad. Este índice se calcula bajo la siguiente formula: [23]

$$I = \frac{(S - 1)}{\ln N}$$

Dónde:

S=número de especies en la muestra

N=número total de especies en la muestra.

- Métodos basados en la estructura de la comunidad, es decir, la distribución proporcional del valor de importancia de cada especie (abundancia relativa de los individuos, su biomasa, cobertura, productividad, etc.) como es el caso del índice de Shannon-Wiener y Pielou para el presente estudio. [24]
- Índice de Shannon-Weaver. Generalmente se usa en la ecología para determinar la biodiversidad específica de un ecosistema, es decir, se basa en la probabilidad de encontrar un determinado individuo en un ecosistema. En gran parte de los ecosistemas el índice da valores entre los 0.5 y los 5, sin embargo, el rango normal está entre los 2 y los 3,

cabe resaltar que entre más valor, mayor es la biodiversidad. Este índice se calcula bajo la siguiente formula: [23]

$$H' = - \sum_{i=1}^s pi * \text{Log}_2(pi)$$

Dónde:

$$pi = \frac{n_i}{N}$$

Siendo:

n_i = número de individuos en el sistema de la especie determinada i

N= número total de individuos.

S= número total de especies.

- Índice de Pielou. Denominado también índice de equidad, es usado generalmente en ecología para determinar la equidad entre especies en un ecosistema, basándose en la medición de la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Los valores del índice se encuentran desde 0 a 1, siendo 1 donde la mayoría de especies son abundantes. Este índice se calcula bajo la siguiente formula. [23]

$$J' = \frac{H'}{\log_2 S}$$

Dónde:

H'=Índice de Shannon-Weaver

$\log_2 S$ =Diversidad máxima que se obtendría si la distribución de abundancia de las especies en la comunidad fueran perfectamente equitativas.

3.2.9.2 Diversidad Beta. Número de especies que se encuentran entre hábitats en un mismo ecosistema, es decir, es la variación de especies entre un hábitat y otro. Para medir esta se utilizan índices de similitud (Jaccard, el cual para este caso, establece las similitudes entre las diferentes lagunas) y disimilitud entre muestras. [24]

- Índice de Jaccard. Generalmente usado en ecología para determinar la similitud o disimilitud que pueden haber entre dos hábitats en un mismo ecosistema. El índice da valores entre los 1 y los 5, sin embargo, el rango normal está entre los 2 y los 3, cabe resaltar que entre más valor, mayor es la biodiversidad. Este índice se calcula bajo la siguiente formula: [23]

$$I_j = \frac{c}{a+b-c}$$

Dónde:

a=número de especies presentes en el primer hábitat.

b=número de especies presentes en el segundo hábitat.

c=número de especies presentes en ambos hábitat.

3.3 MARCO INSTITUCIONAL

3.3.1 Parque Nacional Natural Chingaza.

El Parque Nacional Natural Chingaza tiene un convenio con la Universidad Santo Tomás con miras a fomentar la investigación, lo cual es bueno para el parque, gracias a que en los estudios que los estudiantes realizan se pueden dar adelantos importantes en temas en común o simplemente se profundiza un poco más en los temas en los que el parque trabaja actualmente. Además el parque da a conocer su importancia como área protegida y lo primordial de esto para la sociedad.

3.4 MARCO LEGAL

A continuación se relacionan las políticas relacionadas con la zona de estudio (Parque Nacional Natural Chingaza), la cual es de suma importancia no solo por su recurso hídrico natural para consumo distrital, si no por ser área protegida y patrimonio nacional.

3.4.1 Política Nacional de Biodiversidad.

“Creado por el Ministerio del Medio Ambiente y el Departamento de Planeación Nacional junto con el Instituto Alexander Von Humboldt en 1996 cuyo objetivo principal de promover la conservación, el conocimiento y el uso sostenible de la biodiversidad, al igual que, la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de su utilización. El documento se fundamenta en conservar, conocer y utilizar.

La Política Nacional de Biodiversidad debe desarrollarse en un Plan de Acción Nacional en el cual se definan los responsables de las diferentes acciones, y los recursos humanos, institucionales, de infraestructura y financieros para la implementación de las estrategias e instrumentos, y a su vez, el Plan de Acción Nacional debe ir acompañado de los planes de acción liderados por las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible, en los que definan las acciones prioritarias para las regiones y sus mecanismos específicos de implementación”. [25]

3.4.2 Política Nacional para Humedales Interiores de Colombia

“Tiene como objetivo propender por la conservación y uso sostenible de los humedales interiores de Colombia con el fin de mantener y obtener beneficios ecológicos, económicos y socioculturales, como parte integral del desarrollo del país. Dentro de esto está integrar los humedales del país en los procesos de planificación de uso del espacio físico, la tierra, los recursos naturales, y el ordenamiento del territorio, reconociéndolos como parte integral y estratégica del territorio, en atención a sus características propias y promover la asignación de un valor real a estos ecosistemas y sus recursos asociados, en los procesos de planificación del desarrollo económico; fomentar la conservación, uso sostenible y rehabilitación de los humedales del país de acuerdo a sus características ecológicas y socioeconómicas”. [25]

3.4.3 Convención Ramsar sobre Humedales de Importancia Nacional.

“Colombia hace parte de la convención Ramsar, el cual es un tratado intergubernamental para la acción nacional y cooperación internacional para la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos. Cada parte está obligada a designar al menos un humedal para su inclusión en la Lista de Humedales de Importancia Internacional.

El país comprometido con la protección de estos ecosistemas y la Convención, hospedó la VI Reunión Regional Panamericana de la convención de los Humedales celebrada en Bogotá, Colombia”. [26]

3.4.4 Sistema Nacional de Áreas Protegidas.

“Son todas las áreas protegidas, actores sociales y estrategias e instrumentos de gestión que las articulan para contribuir como un todo al cumplimiento de los objetivos de conservación del país. Incluye todas las áreas protegidas de gobernanza pública, privada o comunitaria, y del ámbito de gestión, nacional, regional o local. Sus funciones son administrar las áreas protegidas del Sistema de Parques Nacionales Naturales en las categorías de Parque Nacional Natural (PNN), Santuario de Fauna y Flora (SFF), Área Natural Única (ANU), Reserva Natural Nacional (RNN), y Vía Parque; contribuir a la conformación y consolidación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas; coordinar e implementar políticas, planes programas, normas y procedimientos, relacionados con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas”. [25]

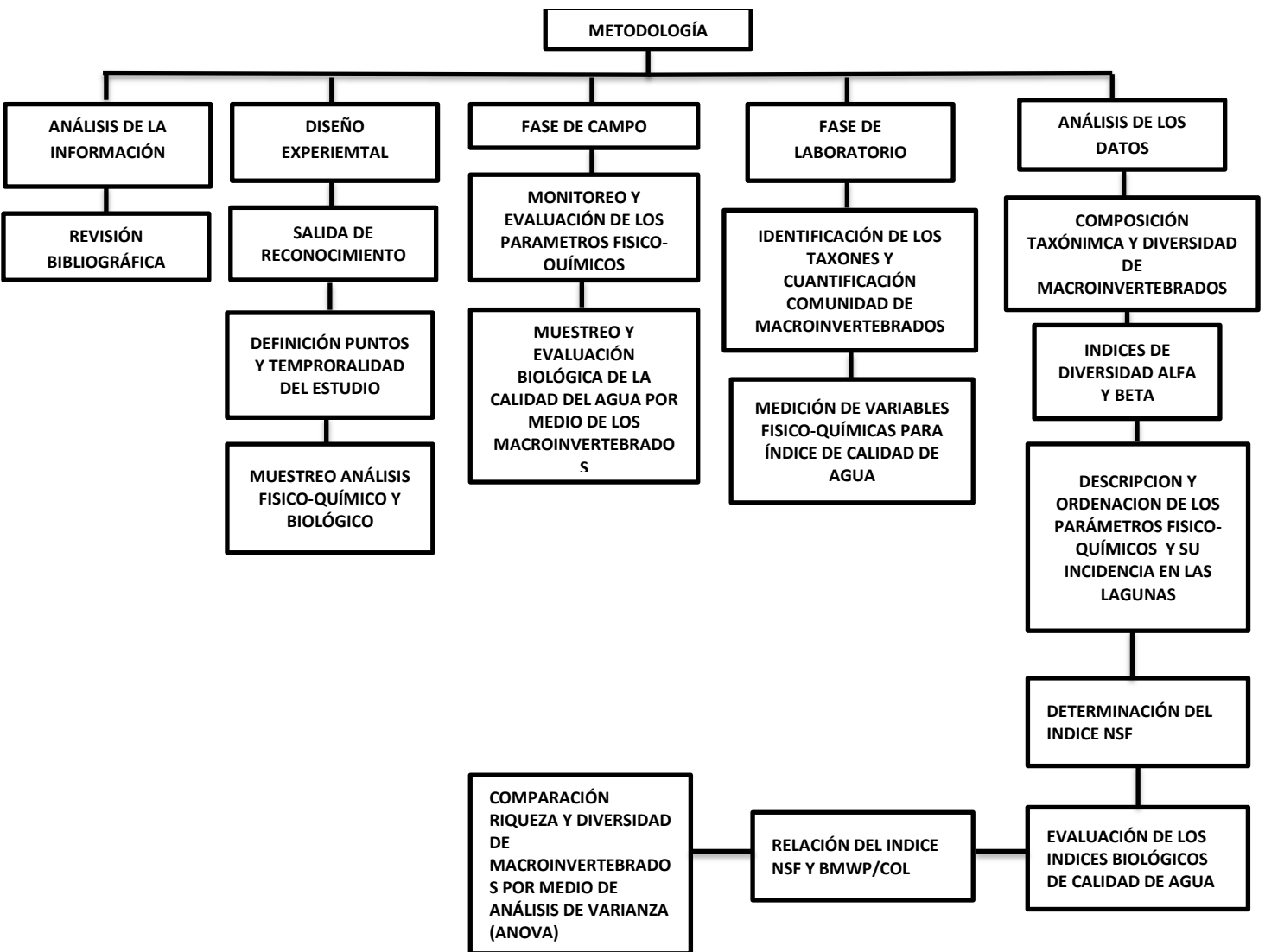
4. DESARROLLO CENTRAL

4.1 METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto de investigación se tuvo en cuenta la metodología planteada por Roldán [11], en la que formula el análisis de la calidad del agua mediante el uso de un índice biológico denominado BMWP/ col, sin embargo, a lo largo del trabajo se realizaron una serie de ajustes de acuerdo a las condiciones biofísicas del entorno de las 3 lagunas.

El proceso metodológico se desarrolló de acuerdo a las siguientes fases:

Gráfico 3. Diagrama metodología utilizada para el desarrollo central del proyecto investigativo



Fuente: Propia

4.1.1 Análisis de la Información.

Para dar inicio al proyecto investigativo, lo primero que se hizo fue hacer una recopilación y análisis de la información secundaria existente, acerca del Parque Nacional Natural Chingaza, la normativa legal vigente, estudios limnológicos específicamente sobre macroinvertebrados como bioindicadores, calidad de agua y los índices de calidad de agua, entre otros.

Después de adquirir cierto nivel de información, se escogió el número de lagunas del parque a las que se les iba a hacer el estudio, para este proceso de elección de las lagunas, se hicieron varias reuniones con un representante del parque y los investigadores para llegar a común acuerdo sobre las lagunas a intervenir, finalmente se decidió estudiar tres lagunas que fueran alimentadas de un solo cuerpo hídrico en este caso el Río Frío, la Laguna de Chingaza, la Laguna del Medio y la Laguna del Arnical fueron las seleccionadas para practicar el estudio.

4.1.2 Diseño Experimental.

4.1.2.1 Salida de reconocimiento. Se realizó una salida de reconocimiento al parque con el fin de conocer cada una de las lagunas escogidas, para de esta manera determinar su accesibilidad, características del terreno, vegetación y características físicas de conocimiento simple como color, turbiedad y olor. [27] Lo anterior con el fin de tener un registro fotográfico y conceptual de los elementos más importantes de las lagunas, para posteriormente decidir y determinar, de acuerdo a las características de las áreas, cuales son los espacios más afines y viables para realizar el monitoreo y determinar la cantidad de puntos a tomar para cada laguna. La salida de reconocimiento tuvo tres días de duración, en los cuales se visitaron las lagunas ya definidas para la investigación, adicional a esto, se pudieron definir los materiales necesarios para el desarrollo de los muestreos acorde a lo establecido en el Water Quality Indicators Guide: Surface Waters. [28]

4.1.2.2 Definición de puntos de muestreo y temporalidad de estudio. Los puntos de muestreo fueron ubicados mediante un Sistema de Posicionamiento Geográfico (GPS, por su acrónimo en inglés). Los lugares escogidos responden a criterios de observación basados en puntos no intervenidos y su facilidad de accesibilidad, así como también las entradas y salidas de agua de las lagunas acorde a lo establecido en El manual para toma de muestras de la CVS [29], el cual da un direccionamiento en la selección del punto exacto para un muestreo, basándose en aspectos como: Accesibilidad, representatividad y seguridad. Lo anterior obedeciendo a que el punto de muestreo debe facilitar la obtención de muestras teniendo en cuenta la carga que implica el transporte de los equipos de muestreo y su conservación, así mismo debe ser lo más representativo posible abarcando las características generales de la laguna, y finalmente, se debe garantizar la seguridad de las muestras y de las personas que realizan el muestreo.


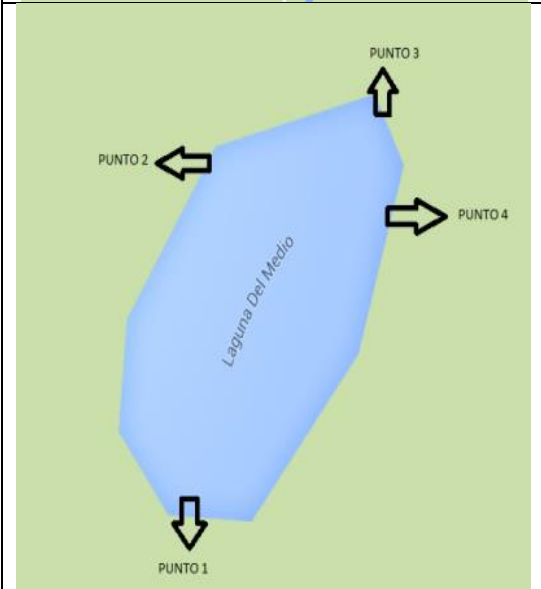
Una vez examinadas las recomendaciones anteriores, se escogieron los puntos de muestreo, primero se habían establecido puntos de muestreo dentro del cuerpo de agua de cada laguna teniendo en cuenta lo establecido en, El Manual de criterios para evaluar sitios contaminados [30], en el cual se propone que las estaciones de muestreo de agua y sedimento en lagunas se deben localizar cerca del centro, a la mayor profundidad, al menos de 10m, lejos de tierras agrícolas y áreas urbanas con el fin de evitar efectos locales, pero lamentablemente no se tuvo el recurso para seguir este procedimiento, de tal manera que se optó por el desarrollo del muestreo tal y como lo plantea Darrigran [31] ,donde sugiere un muestreo a juicio, donde los elementos son seleccionados mediante un criterio personal basado en diferencias típicas, como cambios en relieve, textura, color superficial, vegetación, etc., facilitando su realización y sus bajos costos, además de que se puede llevar a cabo en zonas heterogéneas como en zonas homogéneas. [32]

Por lo anterior la organización de los puntos de muestreo se estableció de la siguiente forma: 4 puntos de muestreo para la laguna del Arnical, 4 puntos para la laguna del Medio y 6 puntos de para la laguna de Chingaza, para un total de 14 puntos en total. Ya que el tamaño de las superficies de las lagunas es irregular y no tiene uniformidad alguna, se ubicaron los puntos obedeciendo a un patrón común de distancia de uno con otro basado en las dimensiones y forma del terreno, resultando una equidistancia entre cada uno de los puntos de muestreo con el fin de estandarizarlos lo mejor posible (Muestreo Sistemático) [32]

La temporalidad de los muestreos se estableció en común acuerdo con el representante del Parque Nacional Natural Chingaza (PNNC), teniendo en cuenta la disponibilidad que se tuviera en su momento.

En la tabla a continuación se muestra la ubicación de cada uno de los puntos escogidos, con sus respectivas coordenadas:

Tabla 2. Ubicación y coordenadas de los puntos escogidos para el muestreo en las lagunas Arnical, del Medio y Chingaza

UBICACIÓN PUNTOS DE MUESTREO	UBICACIÓN	CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA
	<p>PUNTO1: 4°31'19.01"N 73°45.5'6"W</p> <p>PUNTO2: 4°31'40.67"N 73°45.5'12.70"W</p> <p>PUNTO3 4°31'54"N 73°45.5'31.64"W</p> <p>PUNTO 4 4°32'57.20"N 73°45.5'17.01"W</p> <p>PUNTO 5 4°31'57.15"N 73°45.5'5.19"W</p> <p>PUNTO6 4°31'49.18"N 73°44.53'72.05"W</p>	<p>Altura del dosel entre los 10 y 20 m, con variaciones locales, abundancia de epifitas, principalmente musgos, líquenes, helechos, y en menos proporción, orquídeas, bromileas y begonias. Las hojas del estrato arbóreo son predominantes micrófilas y nanófilas. La altura del dosel va disminuyendo hacia las partes más altas, siendo frecuentes árboles y arbustos entre 7 y 10 m. [33]</p>
	<p>PUNTO1 4°30'26.48"N 73°44'21"W</p> <p>PUNTO2 4°30'21.33"N 73°44'19.50"W</p> <p>PUNTO3 4°30'18.82"N 73°44'21.42"W</p> <p>PUNTO4 4°30'13.78"N 73°44'23.65"W</p>	<p>Corresponde a formaciones de selva húmeda andina y subandina, se caracteriza por la presencia de pajonales, algunas formaciones de gramíneas en las vertientes más húmedas, mientras que en las secas predominan los chuscales y los frailejones. [25]</p>

	PUNTO1 4°30'3.76"N 73°46'12.17"W	Se caracteriza por la presencia de una vegetación abierta de pequeños árboles y arbustos más o menos aislados, intercala con formaciones de gramíneas de extensión variable. En general hay una mezcla de algunos elementos procedentes del bosque con otros del páramo propiamente dicho. [33]
	PUNTO2 4°30'0.95"N 73°46'12.17"W	
	PUNTO3 4°30'0.12"N 73°46'15.72"W	
	PUNTO4 4°30'4.90"N 73°46'16.47"W	

Fuente: Propia

4.1.2.2 Colecta de macroinvertebrados bentónicos. Para realizar la colecta de macroinvertebrados, se empezó por definir el método de recolección para los macroinvertebrados, según lo estipulado en la Guía para el Estudio de Macroinvertebrados Acuáticos del Departamento de Antioquia [11], en el cual se detalla, los materiales y procedimientos a utilizar para realizar correctamente el muestreo de los macroinvertebrados en las tres lagunas. El método de Roldán [11] recomienda que para muestreos en aguas “de poca corriente o estancadas” conviene utilizar la red de mano (D-net) en forma de barrido sobre la vegetación y el fondo, y que a elección del colector también puede barrer superficialmente la zona de interés. Como el fin del muestreo consiste en recolectar la mayor abundancia y diversidad posible de macroinvertebrados, se optó por un muestreo compuesto por cada estación, el IDEAM [34] recomienda que debido a que el volumen de las muestras y la cantidad de macroinvertebrados que se pueden llegar a recolectar, en algunas ocasiones puede ser demasiado grande y especialmente cuando se toman sustratos de gran volumen, lo mejor es realizar este tipo de muestreos ya que por motivos de economía temporal se hace menos dispendioso realizar una observación de toda la muestra que cada una de las submuestras de la muestra integrada. Para el almacenamiento de los macroinvertebrados se dispuso de frascos viales transparentes, y se utilizó alcohol al 70% para la conservación de los organismos. Para cada estación se estableció un tramo aproximado de 2m longitudinales con el fin de abarcar una zona que facilitara el muestreo y así mismo que fuera representativa para la recolección y manejo de los macroinvertebrados.

4.1.2.3 Muestreo de parámetros fisicoquímicos. Los parámetros físico-químicos se determinaron in-situ. Para tal fin se empleó una sonda multi-paramétrica marca QUANTA para medir parámetros como temperatura, oxígeno disuelto, pH, sólidos suspendidos totales, turbiedad; para los parámetros químicos como nitratos y fosfatos, así como para la DBO5 se tomaron las muestras, se depositaron en recipientes específicos para cada parámetro y se conservaron a una temperatura de 4°C para su posterior transporte al laboratorio ANTEK S.A y así realizar el respectivo análisis de resultados. La descripción más detallada de este proceso se realizara en el próximo ítem fase de campo.

4.1.3 Fase de Campo.

La fase de campo fue realizada en tres épocas del año representadas en tres muestreos: El muestreo uno (M1) comprendió la época del año lluviosa con fecha de 15 de Septiembre del 2014, el muestreo dos (M2) comprendió la época del año seca con fecha de 13 de Marzo de 2015, y finalmente el muestreo tres (M3) comprendió la época del año de transición con fecha de 10 de Abril de 2015. Cabe destacar que estas fechas fueron establecidas de acuerdo a disponibilidad de la administración del Parque Nacional Natural Chingaza. La temporalidad de la estadía fue de 5 días con residencia en el parque debido a las distancias de los recorridos y a los accesos a cada laguna, ya que cada recorrido por laguna requería de dos a cuatro horas de caminata hasta la laguna correspondiente y de tres a cinco horas recorriendo el total de los puntos de cada laguna.

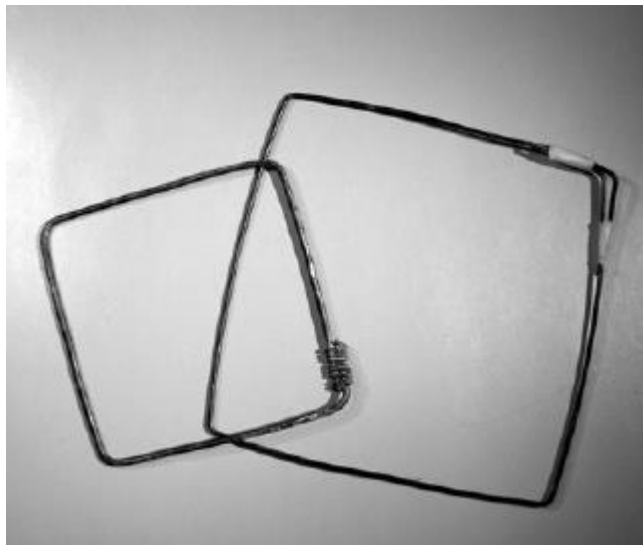
4.1.3.1 Muestreo biológico, monitoreo y colecta de macroinvertebrados. Dentro de cada estación de muestreo se limitó un tramo de uno a dos metros en donde se empleó un cuadrado de muestreo, siendo este último un instrumento simple para efectuar y estandarizar un muestreo [35]. El cuadrado consistió en un marco de pvc cuyas dimensiones eran de 1m x 1m (1m²) (Ver imagen 1), teniendo en cuenta que el uso de estos cuadrados es más frecuente en muestreos biológicos de zonas intermareales [35], se utilizó para el muestreo de tal manera que los organismos se obtenían sacándolos del interior del cuadrado por medio de una red triangular tipo D-net de 30 cm por 30 cm y 52 cm de profundidad, con un ojo de maya de 300 µm.

Para realizar la recolección de macroinvertebrados se dispuso el cuadrado de muestreo en la estación de muestreo escogida de acuerdo a los parámetros señalados anteriormente, luego de esto, se ingresó la red triangular tipo D-net al cuadrado de muestreo para hacer un “barrido” en el fondo del mismo, imitando su forma (cuadrada) de izquierda a derecha, iniciando en la esquina inferior izquierda finalizando en orilla de la laguna (Ilustración 3), posteriormente, se realizó otro barrido en el bentos, desde el fondo de la orilla hasta la superficie de forma vertical (Ilustración 4). El primer procedimiento anteriormente mencionado se realizó teniendo en cuenta la metodología propuesta por Roldán [11] con modificaciones propias, el cual también cita las ventajas que tiene la red tipo D-net para este tipo de muestreos, ya que su forma triangular se adapta bien a las superficies y sustratos irregulares. Para la segunda metodología de muestreo en el fondo de la orilla de las lagunas se

realizó la pasada con un recorrido de bajada seguido de un recorrido en el fondo y subiendo hasta la superficie; denominándose esto como “dipping” en versión anglosajona [36]. Luego de esto se realizó una recolección de macroinvertebrados muestreando de manera aleatoria los diferentes corotipos presentes (sustratos rocosos, orillas con vegetación, sedimento fino, macrófitos, detritus) [37]

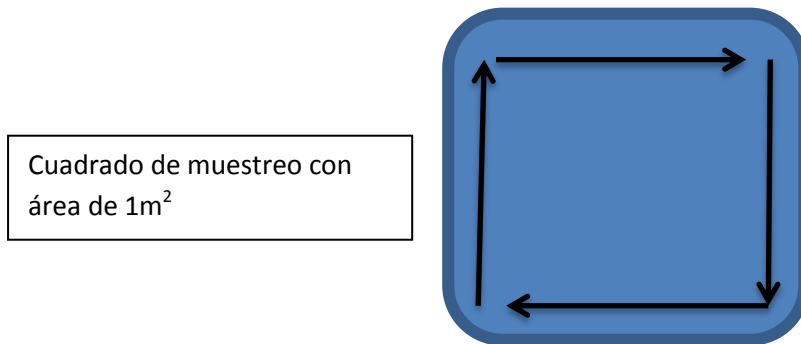
La estandarización del método consistió en realizar cada uno de estos procedimientos tres veces (“réplicas”) en cada punto uno de los puntos, con intervalos de 10 minutos entre lanzadas o pasadas, ingresando los macroinvertebrados recolectados en una sola muestra compuesta [38]. El contenido de la red se depositó en dos tamices de 150 y 250 μm de malla de apertura para posteriormente limpiar el sustrato con agua eliminando residuos y dejando observar claramente los macroinvertebrados colectados los cuales según su tamaño iban quedando en los tamices respectivos, luego se procedió a separar con la ayuda de una pinza fina por un lapso de 6 minutos en función a la abundancia de familias de la fauna béntica presente, a frascos viales rotulados con alcohol al 70% como conservante para su posterior separación e identificación hasta el nivel taxonómico de familia con base en literatura citada [39]; [11] [1]; [40]. [41]

Ilustración 4. Diseño de cuadrado de muestreo



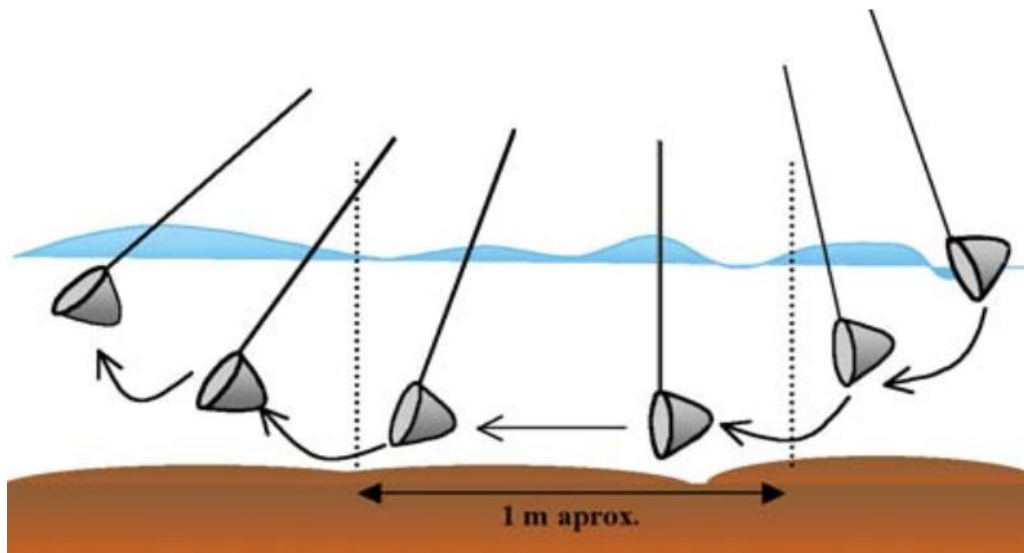
Fuente: [35]

Ilustración 5. Metodología de muestreo uno, barrido de fondo en forma cuadrada



Fuente: Propia

Ilustración 6. Muestreo según el método "Dipping"



Fuente: [36]

El método presentado anteriormente aunque sencillo, se trabajó teniendo en cuenta que las muestras obtenidas fueran representativas en cada área en la cual se realizó el muestreo; ya sea en el cuerpo de agua como tal o en las zonas de vegetación asociada a este, que como se pudo evidenciar en el estudio tienden a contener igual diversidad de macroinvertebrados que las zonas de sustrato recolectadas en el fondo. Áreas pobladas de vegetación acuática, usualmente tienen mayor abundancia relativa de especies [41]

Ilustración 7. Muestreo de macroinvertebrados laguna del Medio



Fuente: Foto tomada por Ximena Robayo

4.1.3.2 Monitoreo y evaluación de parámetros Fisicoquímicos. En el caso de los parámetros como nitratos, fosfatos y DBO_5 se midieron en el laboratorio ANTEK S.A. según lo solicitado por el mismo (material de los recipientes y el volumen de cada uno), lo anterior basado en los métodos estándar para el análisis de aguas y aguas residuales. [42]

Teniendo en cuenta el protocolo de muestreo facilitado por el laboratorio se realizó un muestreo de aguas superficial con recipientes de polietileno traslucidos de 2 Litros de capacidad. Para el tema aséptico se tuvieron en cuenta los procedimientos y estándares aceptados por la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (EPA) [43]. Con miras a dar cumplimiento a lo establecido por la EPA con respecto al monitoreo y restauración de lagos y embalses se utilizó una cuerda de aproximadamente 1.5 metros con el fin de que esta constituyera la distancia de la zona costera al punto de muestreo, cabe destacar que fue un muestreo compuesto y por esa misma razón se utilizan los procedimientos anteriormente descritos, haciendo énfasis en el hecho de que no se tomaron réplicas dado que el transporte y manejo de las mismas, incluyendo las condiciones de temperatura que exige el laboratorio para su análisis, dificultaba el recorrido y el trabajo de campo.

Para la medición de la demanda biológica de oxígeno (DBO_5), se realizó de manera compuesta manejando el mismo procedimiento anteriormente descrito con la salvedad de que se utilizaron dos recipientes de vidrio color ámbar con capacidad de 500 ml, teniendo en cuenta la distancia establecida por la EPA (1.5 metros).

Ilustración 8. Multiparámetro marca QUANTA



Fuente: Foto propia

4.1.4 Fase de Laboratorio.

4.1.4.1 Identificación de taxones y cuantificación de diversidad de macroinvertebrados. La identificación se realizó en las instalaciones de los laboratorios de biología y ecología de la universidad Santo Tomás, utilizando un estereoscopio.

El primer paso para el reconocimiento de los taxones fue la colocación de cada una de las muestras en cajas de Petri limpias con el fin de remover el material residual procedente de los macroinvertebrados colectados tales como tierra, hojas y tallos, luego de esto se empezó a clasificar uno a uno con el fin de identificarlos principalmente a nivel taxonómico de familia y luego a genero utilizando la guía de macroinvertebrados de Roldán [1]. La identificación taxonómica se realizó según claves taxonómicas especializadas de Pennak [44], Roldán [11], Fernández y Domínguez [45], Duran [46] y Barrios [47] .

Ilustración 9. . Muestras recolectadas en frascos viales y Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos de Gabriel Roldán



Fuente: Foto tomada por Gerardo Quiroz

4.1.4.2 Medición de variables fisicoquímicas para índice de calidad de agua. Como se mencionó anteriormente la mayoría de los parámetros se midieron *in situ*, los únicos parámetros medidos en laboratorio fueron los enviados a laboratorios ANTEK S.A, los cuales se describen a continuación con sus unidades y respectivas técnicas analíticas las cuales fueron suministradas por el mismo laboratorio.

- **Fosfatos** (mg/L P-PO₄-3): por medio de la técnica analítica de ácido ascórbico.
- **Nitratos (mg/L N-NO₃)**: por medio de la técnica espectrofotométrica UV.
- **DBO₅ (mg/L O₂)**: Por medio de incubación y electrodo de membrana.

La información mencionada anteriormente es tomada de los resultados obtenidos por laboratorios ANTEK S.A.

4.1.5 Fase de análisis de datos.

4.1.5.1 Composición taxonómica y diversidad de macroinvertebrados. La composición taxonómica de los macroinvertebrados se realizó por medio de tablas representativas de presencia/ausencia de tal manera que se tuviera una organización de los datos, teniendo en cuenta los componentes más importantes del estudio como los son; la clasificación taxonómica de los organismos desde Phylum hasta género, el número de organismos recolectados, los puntos de muestreo en los cuales fueron muestreados, las épocas en las cuales fueron realizadas las visitas y las tres lagunas que son la parte fundamental del estudio.

Por otro lado se realiza estadística descriptiva o deductiva, con la cual se realiza una ordenación y clasificación de los datos obtenidos por las observaciones desarrollando distribuciones de frecuencias y organizando el número de individuos que hay para cada uno de los géneros identificados. Las

frecuencias utilizadas fueron frecuencias absolutas, indicando el número de individuos de la variable, frecuencias relativas, dando el porcentaje de la población que presenta cada uno de los géneros o familias según corresponda y la frecuencia acumulada por cada una de las lagunas.

4.1.5.2 Contraste estadístico de Hipótesis. Un contraste estadístico de hipótesis es una técnica de inferencia estadística que consiste en comprobar si la información proporcionada por una muestra aleatoria de determinada población concuerda o no con una hipótesis estadística formulada teniendo en cuenta el modelo probabilístico en estudio, y de esta manera aceptar o (no) la hipótesis formulada.

La evidencia de la muestra que no concuerda con la hipótesis planteada conduce a un rechazo de la misma, mientras que los soportes que apoyan la hipótesis conducen a su aceptación. De ahí que el aspecto principal de la prueba de hipótesis sea determinar si la igualdad o diferencia entre un valor propuesto de un parámetro poblacional y el valor estadístico de la muestra se debe razonablemente a la variabilidad del muestreo. O si las diferencias son demasiado grandes para ser considerada de esa manera [48].

Un contraste de hipótesis establece la generación de una hipótesis previa denominada hipótesis nula y compararla con otra denominada hipótesis alternativa [48]; para este caso de estudio la hipótesis nula estará definida como la semejanza entre la abundancia de dos puntos de un cuerpo de agua determinado, la hipótesis alternativa será una diferencia significativa entre la abundancia de géneros entre dos puntos determinados.

Para determinar si la hipótesis nula es cierta se realizara la prueba t-student definida por la siguiente fórmula:

$$t = \frac{\bar{x}_{e1} - \bar{x}_{e2}}{S_p * \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1) * S_1^2 + (n_2 - 1) * S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Dónde:

\bar{x}_{e1} = promedio de los valores del total de cada género para el punto 1 de la laguna X

\bar{x}_{e2} = promedio de los valores del total de cada género para el punto 2 de la laguna X

n_1 =Número de datos por el punto 1, para este caso 3, (M1, M2, M3)

n_2 = Número de datos por el punto 2, para este caso 3, (M1, M2, M3)

4.1.5.3 Índices biológicos de diversidad alfa (α) y beta (β). Para describir la estructura y composición numérica de la comunidad de macroinvertebrados, se utilizaron los siguientes índices calculados por medio del software libre para análisis de datos PAST:

- Diversidad se Shannon-Weaver (H'). Los resultados fueron representados en unidades de bits/individuo.
- Riqueza de Margalef (R). Se refiere al mayor número de individuos representados en cada una de las muestras, y se calculó para cada punto de muestreo y para la relación de abundancia entre épocas de muestreo.
- Equidad de Pielou (E). Se refiere a la distribución de los taxones, en las diferentes estaciones de muestreo (su valor va de 0 a 1).
- Similitud de Jaccard (S). Este índice calcula la semejanza entre las comunidades de macroinvertebrados por medio del programa Excel. (el valor máximo es de 1).

4.1.5.4 Comparación de la riqueza y diversidad de macroinvertebrados (ANOVA). Se realiza la comparación de la riqueza, diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos en las tres lagunas por medio de Análisis de Varianza (ANOVA) de una sola vía con ayuda del software estadístico libre R.

4.1.5.5 Descripción y ordenación de variables fisicoquímicas. La variación entre las propiedades físicas, químicas y de abundancia de macroinvertebrados que presentan los diferentes puntos de muestreo se establecieron por medio de un análisis de componentes principales (ACP) [49] y estadística descriptiva, para establecer si los valores de los parámetros fisicoquímicos medidos en las diferentes lagunas del parque tienen alguna relación directa entre ellos.

4.1.5.6 Evaluación de índices biológicos de calidad de agua. Teniendo en cuenta los diferentes estudios y soportes investigativos que actualmente se tienen en Colombia sobre las diferentes familias de macroinvertebrados, se propuso el manejo y utilización del método BMWP/Col. como un primer acercamiento para evaluar los ecosistemas acuáticos del presente estudio (Lagunas Arnical, Medio y Chingaza), y de esta manera contribuir al desarrollo de futuros estudios de macroinvertebrados en estas zonas y ecosistemas del país. [1]

Así mismo se calcula el puntaje promedio por taxón ASPT (Average Score per Taxon), es un índice particularmente valioso para la evaluación del sitio. Los valores ASPT van de 0 a 10; un valor bajo de ASPT asociado a un puntaje bajo de BMWP indicara condiciones graves de contaminación. [11] [27]

4.1.5.7 Determinación del índice ICA_{NSF} de calidad de agua. La valoración de la calidad del agua evalúa su naturaleza física, química y biológica en relación con sus usos posibles [50]. Es por esto que para este proyecto se utiliza el índice NSF, el cual permite determinar la calidad del agua basado en una escala numérica que indica el valor de la calidad del agua en una zona

determinada. La Fundación Nacional de Saneamiento (NSF por sus siglas en inglés), realizó un estudio para evaluar el ICA con base en nueve parámetros físicos, químicos y biológicos. [51]

Para calcular el índice de calidad de agua, se usa un factor ponderado, este factor ponderado tiene una importancia relativa que corresponde a cada parámetro de calidad de agua, junto con esto se tiene en cuenta un valor (Q) el cual corresponde a un número específico que se incorpora a la fórmula. El

Resultado de su aplicación, debe ser un número entre 0 y 100, donde 0 representa la calidad de agua muy pobre y 100 representa la calidad de agua excelente. La fórmula para hallar el índice se presenta a continuación. [51]

$$INSF = \sum_{i=1}^9 QI_i * Wi$$

Dónde:

- QI_i = Número Q correspondiente a cada valor de los parámetros usados en el índice.
- Wi = Factor ponderado para cada parámetro.

El índice fue calculado en el programa ICATEST en el cual se ingresan valores de cada subíndice o parámetro y como resultado da el valor correspondiente a la calidad del agua según el índice anteriormente descrito.

4.1.5.8 Relación del índice de calidad de agua ICA_{NSF} y BMWP/col. La relación de los resultados del índice ICA_{NSF} y BMWP/Col. Se desarrolló por medio de las variantes obtenidas en cada punto de muestreo y por cada época muestreada. Debido a los pocos datos obtenidos en cada uno de los índices no se desarrolló ningún método estadístico o matemático para esta relación, ya que las cifras y valores resultantes de cada índice son puntuales y no representan una relación numéricamente directa.

Solo se desarrollara la relación por medio de graficas que indiquen las variaciones de los dos índices respectivos de tal manera que se evidencie las fluctuaciones y momentos en que los mismos coincidan.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 IDENTIFICACIÓN DE LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS PRESENTES EN LAS LAGUNAS CHINGAZA, DEL MEDIO Y EL ARNICAL DEL PARQUE NACIONAL NATURAL CHINGAZA

La determinación de la comunidad de macroinvertebrados se evaluó teniendo en cuenta el criterio de presencia/ausencia en cada una de las 3 lagunas; así, para las tres lagunas se identificaron un total de 12 órdenes y 16 familias representadas en 20 morfo especies, la tabla 3 y gráfica 3 relacionan la composición de la comunidad de macroinvertebrados de las tres lagunas, sin embargo para efectos del análisis de este estudio, se trabajó solamente por familias para la aplicación del índice BMWP/col.

Así mismo se tuvieron en cuenta los géneros presentes en cada laguna con el fin de establecer la distribución, equidad, riqueza y determinar las diferencias estructurales a nivel espacio temporal de esta comunidad en cada una de las 3 lagunas y entre ellas.

Para una visión detallada ver ANEXO A Presencia/Ausencia macroinvertebrados acuáticos de las lagunas Arnical, del Medio y Chingaza.

La tabla 3 muestra la composición de la comunidad macroinvertebrados en las lagunas el Arnical, del Medio y Chingaza teniendo en cuenta el orden y la familia al cual corresponde cada organismo encontrado, en ella se establece el total de individuos por familia en cada laguna (Grafico 3) y el total de géneros encontrados en el proyecto (Grafico 4).

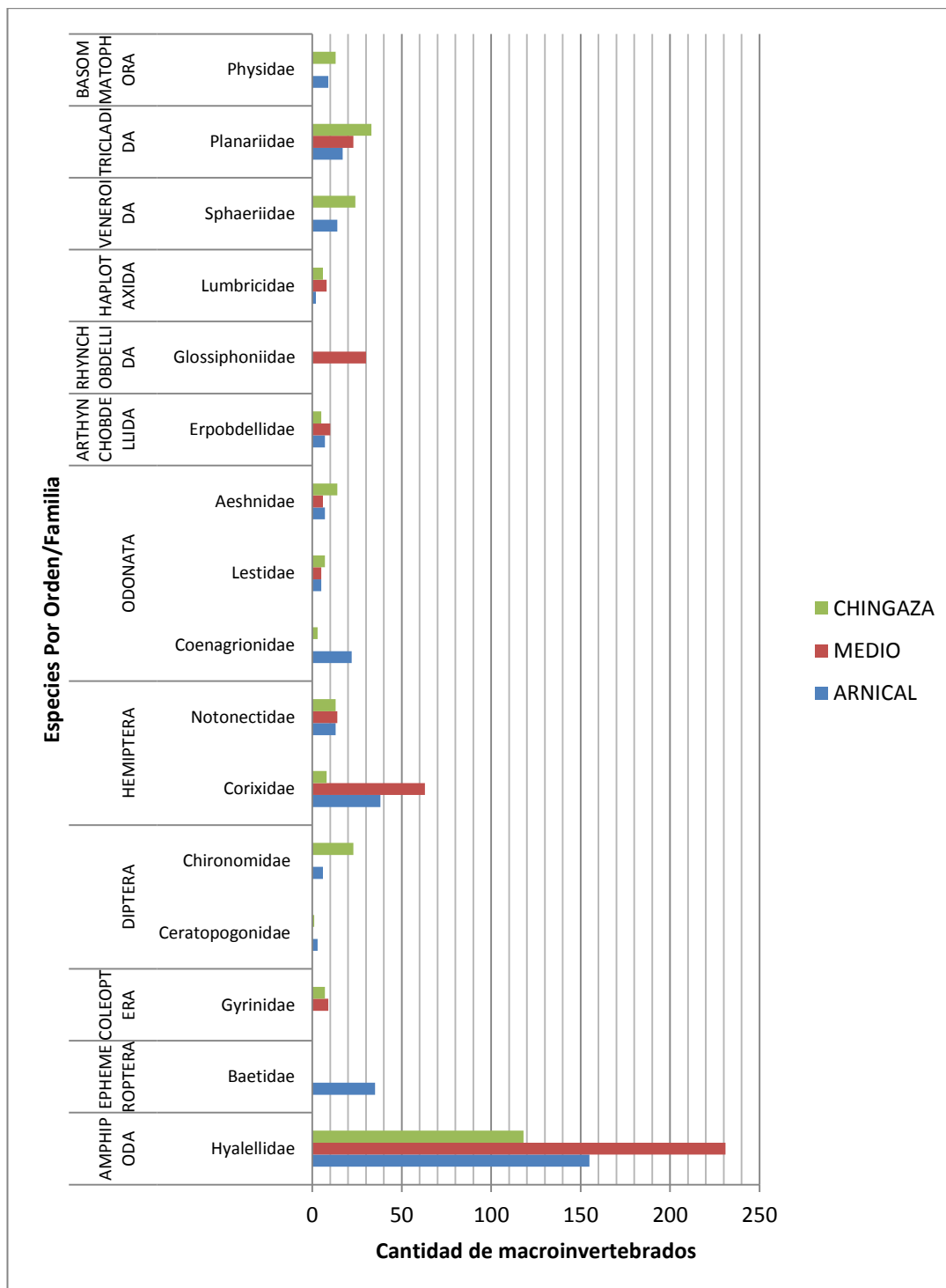
Tabla 3. Composición de la comunidad de macroinvertebrados

ORDEN	FAMILIA	ARNICAL	MEDIO	CHINGAZA	TOTAL DE ORGANISMOS
AMPHIPODA	Hyalellidae	155	231	118	504
EPHEMEROPTERA	Baetidae	35	0	0	35
COLEOPTERA	Gyrinidae	0	9	7	16
DIPTERA	Ceratopogonidae	3	0	1	4
	Chironomidae	6	0	23	29
HEMIPTERA	Corixidae	38	63	8	109
	Notonectidae	13	14	13	40
ODONATA	Coenagrionidae	22	0	3	25
	Lestidae	5	5	7	17
	Aeshnidae	7	6	14	27
ARTHYNCHOBDELLIDA	Erpobdellidae	7	10	5	22
RHYNCHOBDELLIDA	Glossiphoniidae	0	30	0	30
HAPLOTAXIDA	Lumbricidae	2	8	6	16
VENEROIDA	Sphaeriidae	14	0	24	38
TRICLADIDA	Planariidae	17	23	33	73
BASOMMATOPHORA	Physidae	9	0	13	22

Fuente: Propia

Por otro lado se realizó estadística descriptiva o deductiva, con la cual se realiza una ordenación y clasificación de los datos obtenidos por las observaciones. Se construyeron tablas descriptivas de cada una de las lagunas (ver ANEXO B, C y D) y se presentan gráficos ya sea de torta o de barras permitiendo así simplificar la complejidad de los datos que intervienen en la distribución. [52]

Gráfico 4. Clasificación y número de familias de la comunidad de macroinvertebrados en las lagunas el Arnical, del Medio y Chingaza



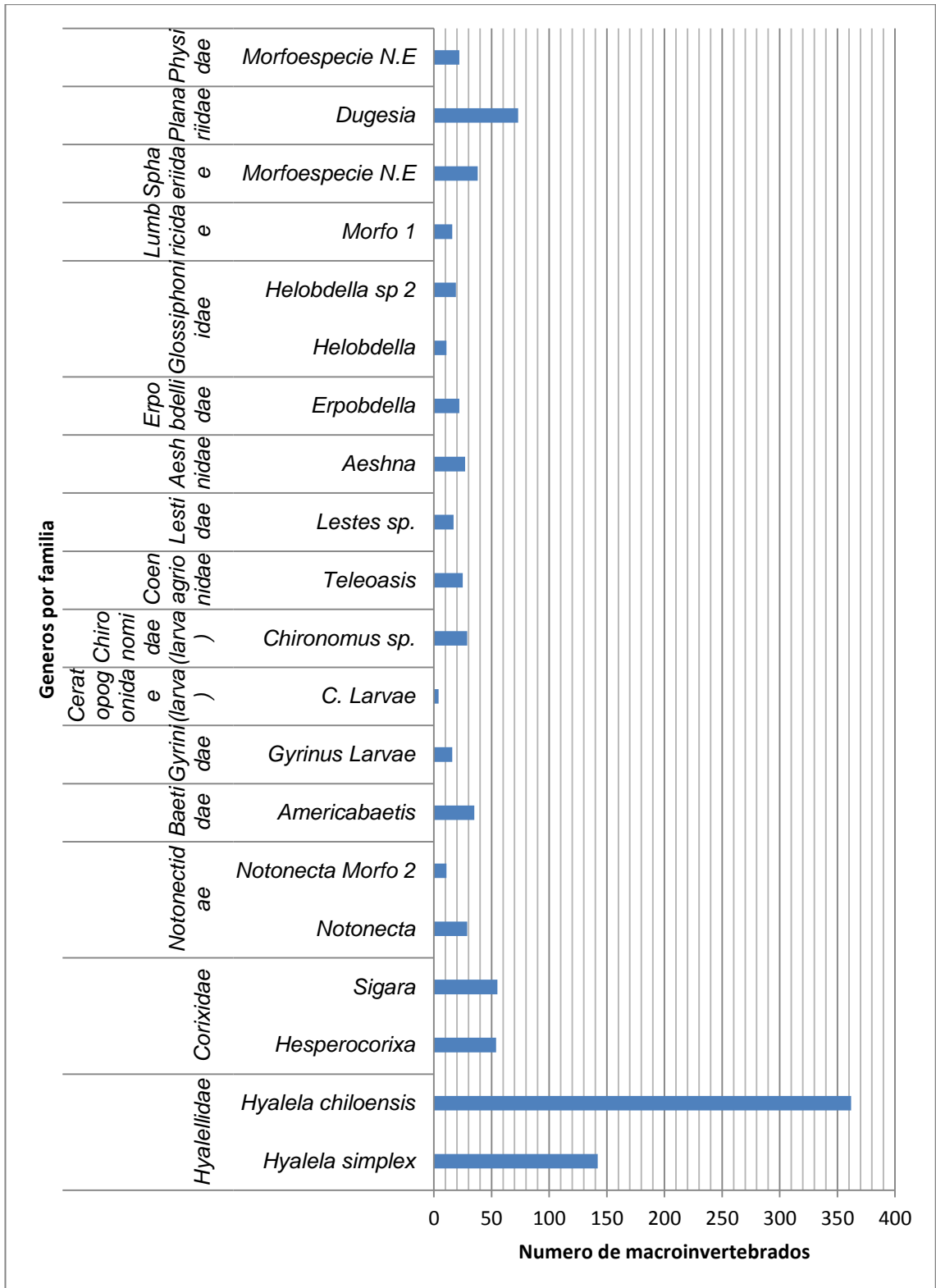
Fuente: Propia

En el gráfico 4 se puede observar que en términos generales los organismos se encuentran en un promedio de 900 a 1007 individuos, sobresaliendo la dominancia de la familia Hyalellidae en las tres lagunas estudiadas, presentando 23% de presencia de estos individuos en la laguna del Medio, esto puede ser debido a la cantidad de materia orgánica que puede llegar a tener la laguna ya que estos organismos son detritívoros, caso contrario a la familia Corixidae que presenta 16% de la cantidad de individuos en esta misma laguna. Por otro lado, también se observan especies que solamente se presentan en lagunas específicas, como es el caso de la familia Baetidae en la laguna el Arnical y la familia Glossiphoniidae en la laguna del Medio ya que los componentes de estas familias pueden ser parte de una serie de determinadas condiciones ecológicas diversas según la especie que se trate, es por esto que son parte fundamental y de gran interés en el problema relacionado con la biología y calidad de las aguas.

Por otro lado, para entender el concepto de la bioindicación se toma como base el criterio establecido por Inhaber [53], señalan que en general los macroinvertebrados son organismos que se consideran como indicadores biológicos principales, si se tiene en cuenta lo presentado en la gráfica 4 donde se observa una escasa variedad de especies por familia [38], ya que los mismos adquieren una muy cercana e importante correlación entre sus comunidades y los factores del ambiente donde se desarrollan, siendo tan sólida esta correlación que en el momento en que el medio cambia sus características, unas especies son reemplazadas por otras que si logran adaptarse a las nuevas condiciones.

Por ejemplo, en el caso de las especies de la familia Hyalellidae (*Hyalela simplex* y *Hyalela chiloensis*), estas últimas pueden ser establecidas como organismos indicadores de calidad de agua media o ligeramente contaminada, y debido a su representatividad en las tres lagunas se puede afirmar la presencia y el aspecto de estas características en los cuerpos de agua, afirmando lo planteado por [38], el cual afirma que cuando la población de determinado organismo, en este caso la familia Hyalellidae, es porcentualmente superior al resto de los organismos con los que comparte el hábitat, ésta misma población se convierte en el componente más adecuado para la definición biológica del ecosistema acuático.

Gráfico 5. Número de macroinvertebrados totales especificando el género y la familia a la cual pertenece cada uno.



Fuente: Propia

La comunidad de macroinvertebrados encontrada en las diferentes lagunas del Parque Nacional Natural Chingaza (PNNC), estuvieron representadas por 1007 individuos pertenecientes a 4 phylum (Arthropoda, Annelida, Mollusca y Platyhelminthes) representados en 7 clases (Malacostraca, Insecta, Hirudinea, Oligochaeta, Bivalvia, Turbellaria y Gastropoda), 12 órdenes (Amphipoda, Hemiptera, Ephemeroptera, Coleoptera, Diptera, Odonata, Arthynchobdellida, Rhynchobdellida, Haplotaxida, Veneroida, Tricladida y Basommatophora) y 16 familias (*Hyaellidae*, *Corixidae*, *Notonectidae*, *Baetidae*, *Gyrinidae*, *Ceratopogonidae*, *Chironomidae*, *Coenagrionidae*, *Lestidae*, *Aeshnidae*, *Erpobdellidae*, *Glossiphoniidae*, *Lumbricidae*, *Sphaeriidae*, *Planariidae* y *Physidae*) las cuales 4 presentaron dos morfo especies diferentes. Dentro de los órdenes más representativos, se destacaron la presencia de Amphipodos, Hemipteros y Odonatos con un total de 722 organismos equivalentes al 72% del total de la comunidad reportada. El restante 28% estuvo representado principalmente por órdenes como Tricladida y Veneroida entre otros.

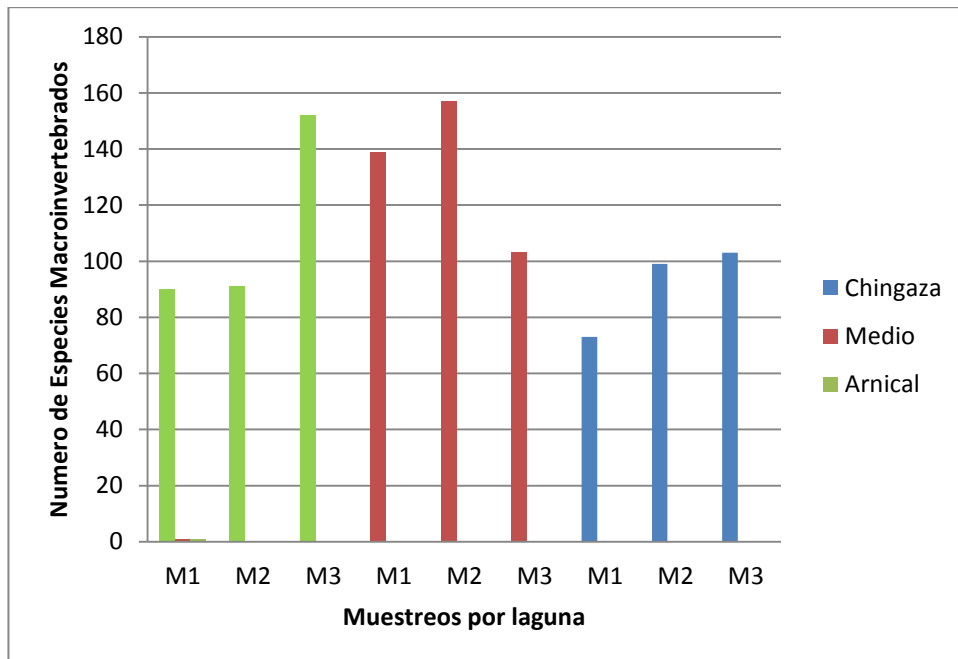
La tabla 4 y gráfico 6 relaciona el total de organismos presentes en cada una de las lagunas

Tabla 4. Número de organismos por muestreo en cada una de las lagunas

Muestreo/Laguna	Arnical	Del Medio	Chingaza
M1	90	139	73
M2	91	157	99
M3	152	103	103

Fuente: Propia

Gráfico 6. Número de organismos por cada muestreo en las tres diferentes lagunas.



Fuente: Propia

La gráfica define la estructura de la comunidad de macroinvertebrados en las 3 lagunas, como se puede observar hay diferentes comportamientos en las lagunas con respecto a los diferentes muestreos; en primera instancia en los muestreos (M1) y (M2) se observan diferentes variaciones de una laguna a otra, teniendo en cuenta la abundancia de macroinvertebrados, así la laguna del Arnical no tuvo cambio significativo con respecto a la población de macroinvertebrados en los dos primeros muestreos, caso contrario a las lagunas del Medio la cual tuvo un pequeño aumento en la abundancia de individuos en el (M2) y la laguna Chingaza la cual tuvo un notable incremento en la población de macroinvertebrados recolectada en este mismo periodo de tiempo. La relación de las cifras mencionadas con respecto a la abundancia de cada laguna se especificará de manera detallada en los ítems presentados más adelante [54]

Para analizar esta variación temporal y espacial se tiene en cuenta lo establecido por Posey [55], quienes señalan que la variación temporal de los valores de densidad total de individuos y la dominancia de algunas taxa se puede relacionar en otros estudios con la variación temporal de las condiciones físicas del medio que pueden influenciar la reproducción y ocurrencia de algunas especies. Con esta premisa se puede inferir para las 3 lagunas objeto de este estudio que las variaciones temporales pueden interferir en la abundancia y composición de especies, así como lo plantea Ortiz [56], quien asegura en su investigación que en épocas de lluvia hay una disminución en el número de organismos frente a la época seca, condición que tuvo un comportamiento similar en las tres lagunas del presente estudio, [56]asegura

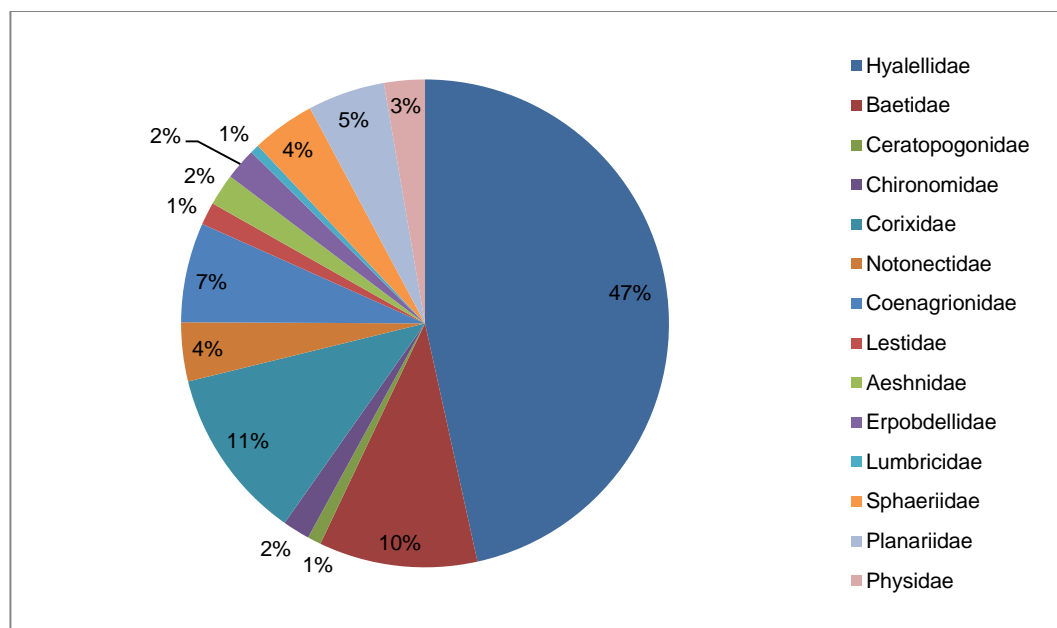
que esto se debió principalmente al aumento de caudal y aumento de sólidos totales, aunque no se descarta la influencia de otros factores, como por ejemplo la altitud, y/o la temperatura del agua, es conocido el hecho que la conductividad afecta la diversidad de especies; a medida que ésta aumenta, disminuye la diversidad [1] [57]

Para una concepción más exacta de la estructura y comportamiento de esta comunidad en las diferentes lagunas se relaciona a continuación su presencia en cada una de ellas.

5.1.1 Laguna el Arnical.

En la laguna el Arnical se encontraron un total de 333 individuos pertenecientes a 10 órdenes y 14 familias. Lo anterior equivale al 33% del total de la población recolectada destacando la abundancia de la familia Hyalellidae con 155 individuos y Baetidae con 35 individuos. Las cifras anteriores representan más del 50% del muestreo total de la laguna, dando como resultado una relación directa de estas familias con los cambios que se puedan presentar en el ecosistema.

Gráfico 7. Distribución porcentual de individuos por familia para la comunidad de macroinvertebrados en la laguna el Arnical



Fuente: Propia

En el gráfico 7 se puede observar el gran porcentaje que ocupan las familias Hyalellidae, Corixidae y Baetidae en la laguna el Arnical, lo cual representa a más del 50% de los individuos. Es de esperarse ya que estos organismos viven en aguas corrientes y en el caso de la familia Hyalellidae habitan en remansos de cuerpos de agua, asociados a materia orgánica en descomposición, y en el

caso de cuerpos de agua loticos, específicamente en quebradas con bajo caudal es donde más se forman densas poblaciones [1].

Por otro lado, familias como Corixidae y Baetidae son reconocidas por presentar organismos nadadores, asociados a vegetación, aunque también se pueden hallar sobre piedras. [32] Su presencia en esta laguna puede deberse a una calidad de agua media, pero esto se comprobará con los índices biológicos de calidad de agua (BMWP/col).

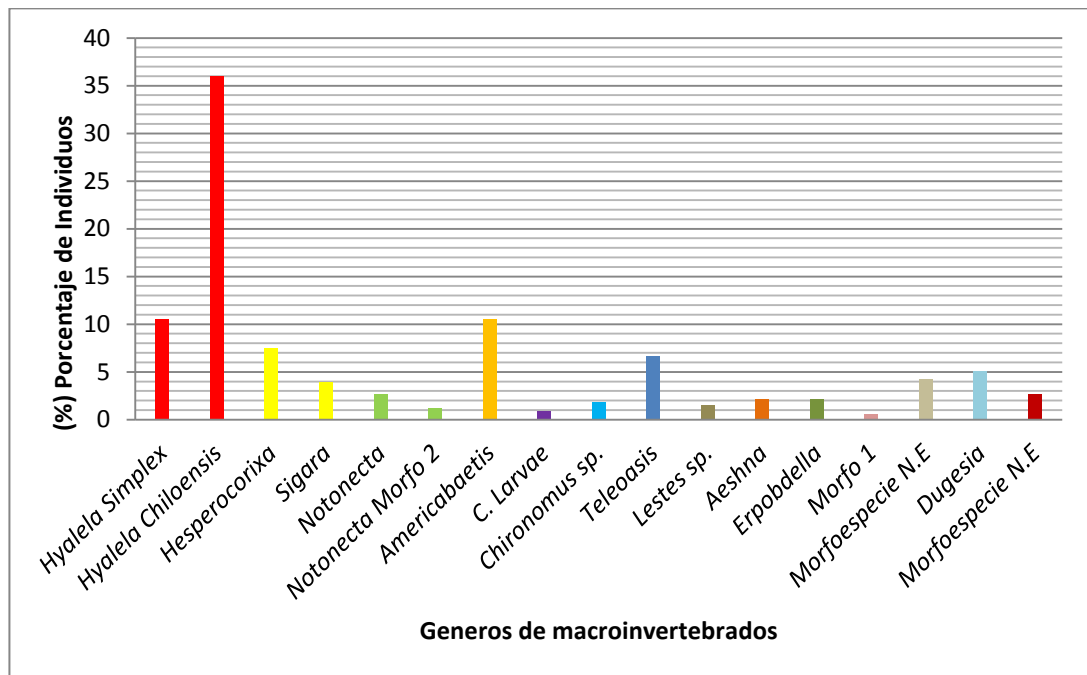
La siguiente tabla y gráfico relacionan el número de individuos por familia presentes en la laguna El Arnical:

Tabla 5. Número de individuos por familia y relación con sus respectivos géneros presentados en la gráfica 8

FAMILIA	N° DE INDIV	FAMILIA	N° DE INDIV	FAMILIA	N° DE INDIV
Hyalellidae	155	Ceratopogonidae	3	Aeshnidae	7
Corixidae	38	Chironomidae	6	Erpobdellidae	7
Notonectidae	13	Coenagrionidae	22	Lumbricidae	2
Baetidae	35	Lestidae	5	Sphaeriidae	14
Planariidae	17	Physidae	9		

Fuente: Propia

Gráfico 8. Géneros de macroinvertebrados encontrados en la laguna el Arnical



Fuente: Propia

El gráfico 8 muestra los géneros identificados en la laguna el Arnical, se presenta el porcentaje de tal manera que se pueda conocer la proporción de cada individuo, cuáles generos son los más representativos en el cuerpo de agua y de qué manera esta informacion da un acercamiento a la determinación de la calidad del agua de la laguna, la cual muestra que a grandes rasgos las especies predominantes estan presentes en aguas oligotroficas, por ende esto indica que hay oxigeno en abundancia, siendo la fauna y flora típica de aguas bien oxigenadas.

Para la determinación de la estructura, composición y abundancia de la comunidad de macroinvertebrados con los resultados del análisis estadístico se encontró que la mayor proporción de individuos esta representada por los géneros y/o especies como *Hyalela simplex* (10.51%), *Hyalela chiloensis* (36.03%), *Americabaetis* (10.51%) y *Hesperocorixa* (7.50%), esto indica que más del 60% (64.55%) de la población recolectada está representada por estos organismos.

Hyalela simplex y *Hyalela chiloensis* pertenecen a la familia Hyalellidae son un grupo típicamente asociado a zonas donde se acumula materia vegetal en descomposición [11], es frecuente encontrarlos en cuerpos de agua corrientes donde no hay cambios estacionales. *Americabaetis* pertenece a la familia Baetidae, posee adaptaciones a las diferentes y fluctuantes condiciones de los cuerpos de agua, permitiéndoles un éxito, la mayoría de veces, superior al de otras familias en términos de abundancia tal y como la afirma Zúñiga [32] [58], estos organismos viven generalmente adheridos a rocas en cuerpos de agua de corriente rápida y aguas con niveles de oxígeno altos. El género

Hesperocorixa representantes del orden Heteróptera, de las familias Corixidae, prefieren aguas lénticas de longitud media, con poca profundidad, superficie libre y con vegetación sumergida escasa. [11] [59]

Por lo anterior, estas comunidades presentan un alto uso potencial como bioindicadores de la calidad del agua al menos en algunos de sus grupos, de esta manera su presencia es de especial importancia ya que estudios realizados por [58] reportan que los generos de la familia Corixidae son buenos indicadores de calidad de agua en ambientes lénticos ya que al ser su habitat natural cualquier cambio en su biota o entorno causaria su deterioro.

Tal y como se planteo en la metodologia, se realizó la prueba t-student con el fin de comparar la riqueza de macroinvertebrados entre puntos de muestreo por medio de contraste estadístico de hipotesis, con un porcentaje de confiabilidad de 95% utilizado comúnmente en muestras pequeñas. Este procedimiento fue realizado en cada una de las lagunas teniendo en cuenta las tres épocas en las cuales se tomaron las muestras (M1, M2 y M3), esta información es de valiosa importancia ya que con ella se calculan los grados de libertad de la siguiente manera $V = n1 + n2 - 2$ donde n representa el número de muestras que en este caso son (3) y da como resultado los grados de libertad que son iguales a 4. La prueba t-student dio como resultado (ver tabla 6) la similitud estadística entre los puntos evaluados, afirmando así la hipótesis nula de que no hay diferencia significativa entre las poblaciones de un punto y otro, exceptuando la relación entre el punto 1 y 2 para los cuales se afirma la hipótesis alternativa, concluyendo en una diferencia significativa entre estas mismas poblaciones.

Lo anterior puede deberse al bajo volumen y área de la superficie, el relieve y el suelo de la laguna pueden presentar alguna interferencia en estas zonas de muestreo, que junto con la variabilidad de temperatura y los cambios en la lámina de agua pueden explicar el hecho de que la laguna el Arnical tuviera esta discrepancia.

Tabla 6. Resultados prueba t-student (Estadístico de hipótesis) para los puntos de muestreo laguna Arnical

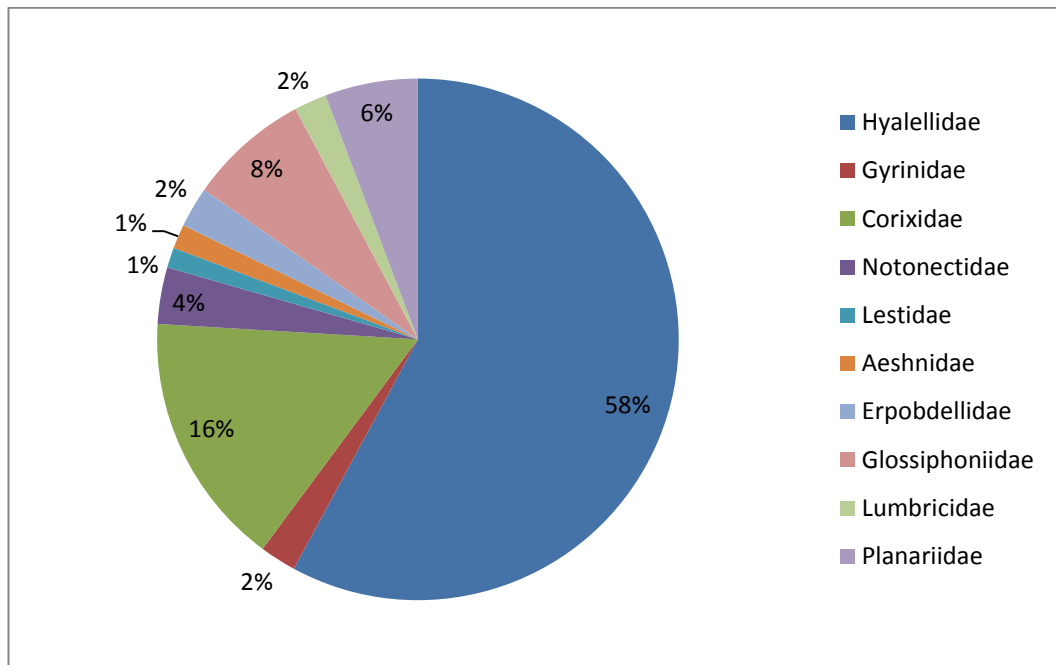
PUNTO	P1	P2	P3	P4
P1				
P2	5.115			
P3	0.492	-1		
P4	1.45	-0.42	0.57	

Fuente: Propia

5.1.2 Laguna del Medio.

En la laguna del Medio se recolectaron 399 individuos pertenecientes a 8 ordenes y 10 familias presentandose poca variabilidad de taxones con respecto a las lagunas el Arnical y Chingaza, pese a esto, la laguna exhibe el numero mas alto de macroinvertebrados recolectados con una abundancia del 40% con respecto al total de individuos en el estudio. La familia mas representativa fue Hyalellidae con un total de 231 individuos, asi mismo le sigue la familia Corixidae del orden hemiptera con 63 individuos. Los ordenes con menor abundancia fueron Coleopteros y Haplotaxidos con menos del 5% de representacion.

Gráfico 9. Distribución porcentual de individuos por familia para la comunidad de macroinvertebrados en la laguna del Medio.



Fuente: Propia

En la gráfica 9 se puede observar que de nuevo la familia Hyalellidae y Corixidae ocupan un gran porcentaje en la laguna, solo la familia Hyalellidae ocupa mas del 50% seguida de la familia Corixidae con 16% y finalmente la familia Glossiphoniidae la cual esta representada con 8% del total de individuos recolectados en el cuerpo de agua. Con estas cifras se puede plantear el hecho de que la laguna del Medio tiene un comportamiento similar a la laguna el Arnical, con abundante materia organica en descomposicion teniendo en cuenta que la familia Hyalellidae se caracteriza por habitar este tipo de ecosistemas.

En el caso de la familia Glossiphoniidae que aunque no tuvo una representacion muy alta con respecto a las familias Hyalellidae y Corixidae, fue la tercer familia mas abundante en la laguna, los representantes de esta

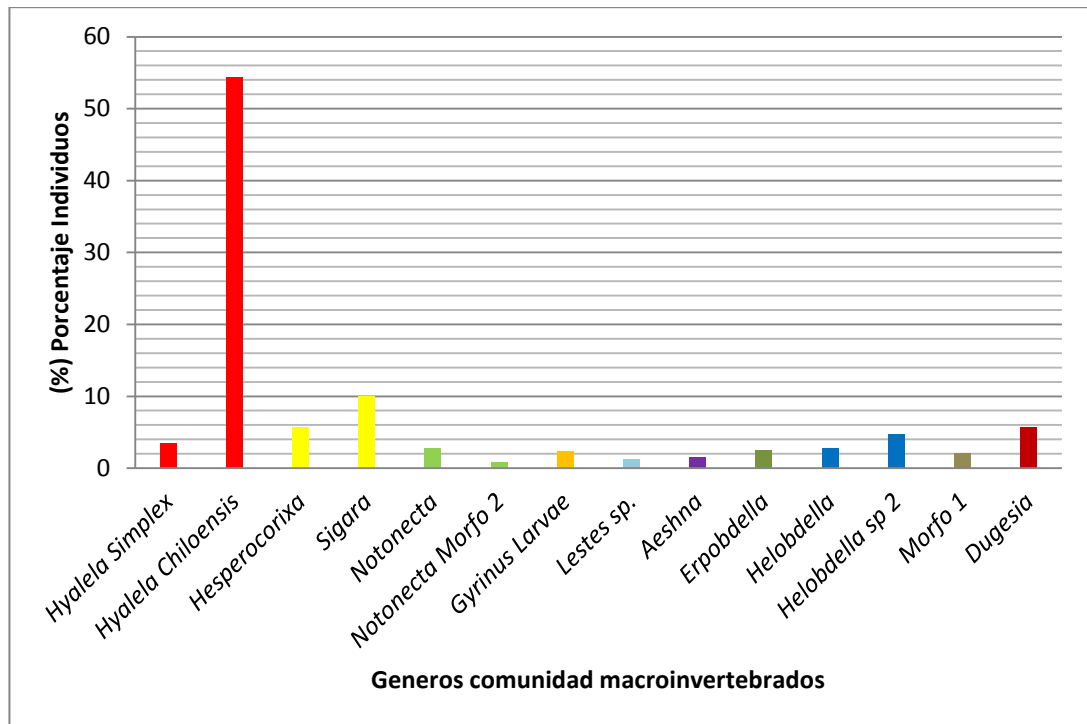
familia habitan por lo regular aguas quietas o de poco movimiento y toleran condiciones bajas de oxígeno, por lo cual son frecuentes y numerosos en lugares donde hay abundante materia orgánica en descomposición [59]. Lo anterior explica y justifica la relación que hay entre la presencia de las familias mencionadas anteriormente, y así mismo la estrecha relación entre la laguna del Medio la laguna el Arnical ya que de manera superficial, su abundancia y diversidad con respecto a la comunidad macroinvertebrados tienen el mismo comportamiento.

Tabla 7. Número de individuos por familia y relación con sus respectivos géneros presentados en el gráfico 10

FAMILIA	N° DE INDIV	FAMILIA	N° DE INDIV
Hyaellidae	231	Aeshnidae	6
Corixidae	63	Erpobdellidae	10
Notonectidae	14	Glossiphoniidae	30
Gyrinidae	9	Lumbricidae	8
Lestidae	5	Planariidae	23

Fuente: Propia

Gráfico 10. Géneros de macroinvertebrados encontrados en la laguna del Medio



Fuente: Propia

Los generos identificados en la laguna del Medio se caracterizan más por su relación con la materia orgánica en descomposicion, en el caso de la familia Glossiphoniidae por ejemplo, esta representada por el genero *Helobdella*, en el cual se identificaron dos especies equivalentes a 3% para la especie 1 y 5% para la especie 2. Con respecto a la categoria trófica de esta familia autores como Baer (1971) y Sawyer (1974) afirman que algunos de estos organismos son depredadores de caracoles larvas de insectos, crustáceos y *hyalellas* las cuales tuvieron 58% de abundancia en la laguna; 4% para *Hyalella simplex* y 54% para *Hyalella chiloensis*, sustentando el hecho de que hay suficiente alimento para las familias Glossiphoniidae ya que claramente se observa la abundancia de las especies de la familia Hyalellidae, obteniendo como resultado un ecosistema equilibrado. Por otro lado se plantea la hipotesis de que las constantes variaciones estacionales que afectan al cuerpo de agua pueden ser determinantes en la reproduccion y supervivencia de organismos de la familia Glossiphoniidae. Otros autores como Pennak [44] señalan que raramente estos organismos son detritívoros. Se puede afirmar, al menos para el presente estudio, que estos individuos se pueden catalogar dentro del grupo de los detritívoros [60] ya que habitan en el mismo ecosistema acuatico de los generos *hyalella* los cuales son netamente detritívoros, ademas de la gran abundancia que estos ultimos presentaron y de su relacion alimenticia se puede concluir que no son excluyentes el uno del otro y pueden habitar el mismo ecosistema. [59].

Para el caso de la laguna del Medio se procedió de la misma manera que con la laguna el Arnical utilizando el procedimientos de contraste estadístico por medio de la prueba t-student para la comparación entre estaciones, se utilizó la función de probabilidad para muestras pequeñas, con porcentaje de confiabilidad del 95%, para cada uno de los puntos de la laguna del Medio. Los grados de libertad son 4, dando como resultado un percentil de 2.77, este número indica que valores por debajo del mismo, como los presentados en la tabla N° 8 afirman la hipótesis nula de que existe una estrecha relación entre la abundancia de macroinvertebrados de cada uno de los diferentes puntos en la laguna, rechazando de manera directa la hipótesis alternativa de que existe una diferencia importante entre estas poblaciones. Cabe resaltar que la laguna del Medio presenta una temperatura promedio más baja que las demás lagunas, factores como la altura y la temperatura pueden ser determinantes para que en esta laguna se presente una importante uniformidad de macroinvertebrados, resultante de la evidente relación entre los componentes biológicos y químicos en sus puntos de muestreo.

Tabla 8. Resultados prueba t-student (Estadístico de hipótesis) para los puntos de muestreo laguna del Medio

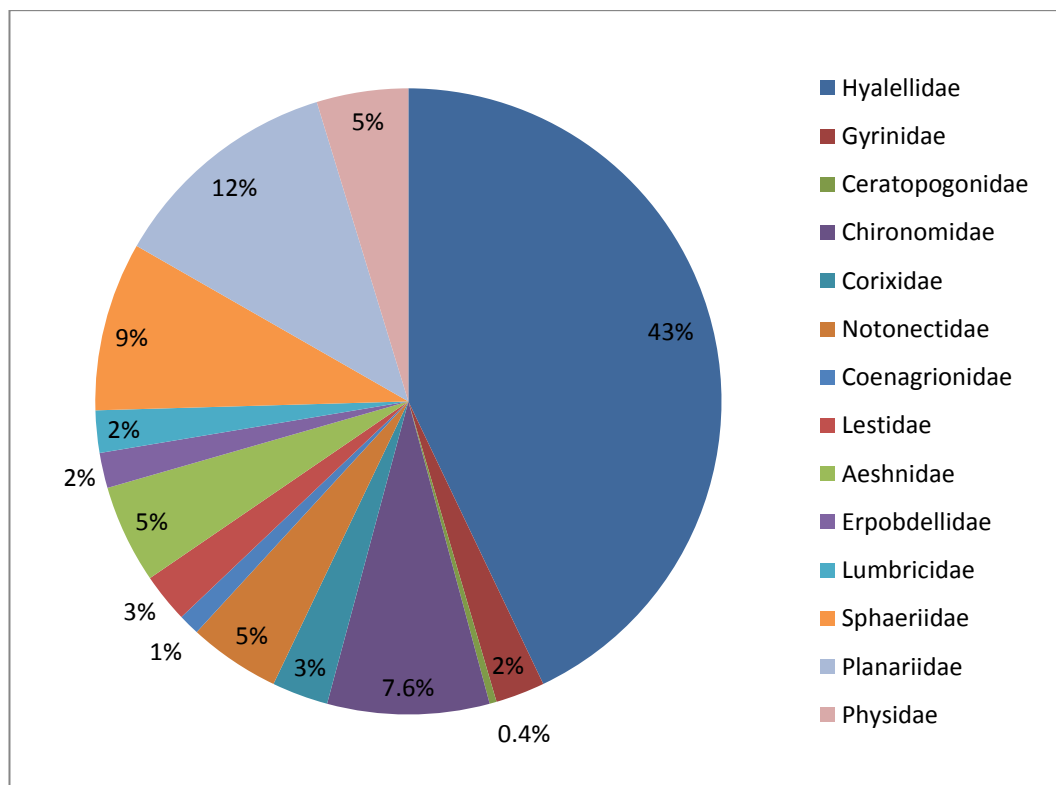
PUNTO	P1	P2	P3	P4
P1				
P2	0.21			
P3	0.25	0.061		
P4	0.62	0.58	0.52	

Fuente: Propia

5.1.3 Laguna Chingaza.

La laguna Chingaza tuvo el menor número de organismos recolectados con un total de 275 individuos, equivalentes al 27% del total de organismos obtenidos en el estudio, pese a esto la laguna es sólida taxonómicamente con 10 órdenes y 14 familias las cuales están representadas por las familias Hyalellidae y Planariidae con una abundancia del 55% del total de las comunidades reportadas en la laguna, el restante 45% está representado por comunidades como Sphaeriidae y Chironomidae los cuales presentaron un total de 24 y 23 individuos respectivamente, entre otras familias más las cuales no superan el 5% de abundancia.

Gráfico 11. Distribución porcentual de individuos por familia para la comunidad de macroinvertebrados en la laguna Chingaza



Fuente: Propia

El gráfico circular presentado anteriormente muestra de manera clara la distribución porcentual de las diferentes familias encontradas en los muestreos realizados en la laguna Chingaza. Es representativo destacar que al igual que sucedió en las lagunas anteriores, Arnical y del Medio, la familia representativa fue Hyalellidae con 43% de abundancia, este comportamiento puede deberse a que la mayoría de los factores estudiados en las lagunas son similares, teniendo en cuenta que todas hacen parte de la vertiente del río Frio y lo único que las diferencia entre sí es su altitud, y esta variable solamente cambia factores como la temperatura y presión según sea el caso estudiado, concluyendo de esta manera que la abundancia de la comunidad de macroinvertebrados no es afectada por estos factores o al menos no de manera directa.

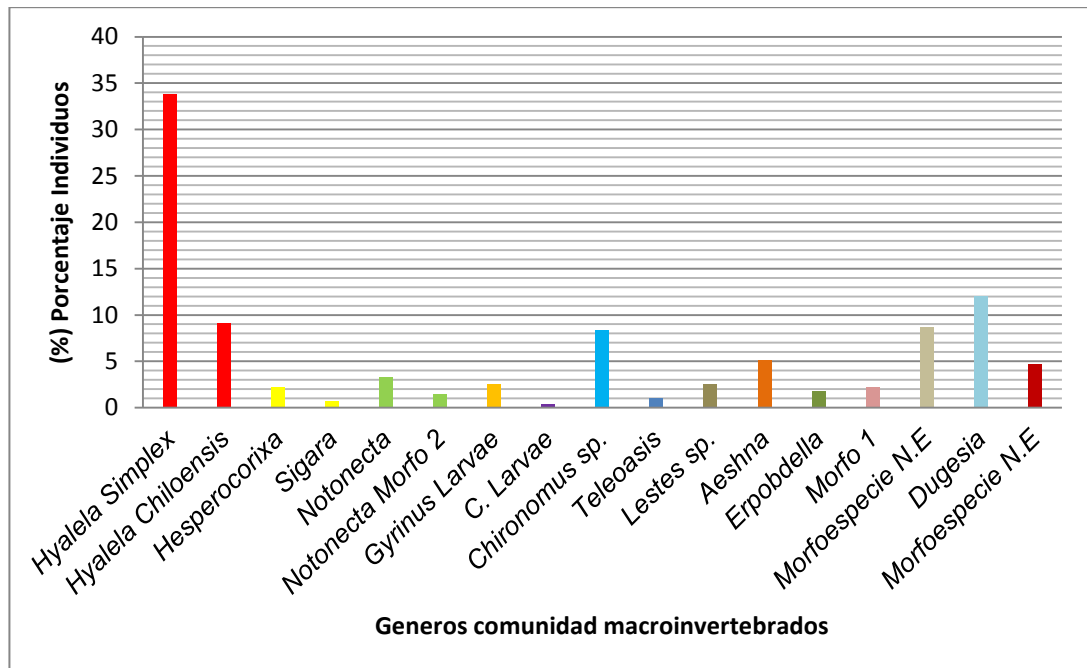
La distribución de las precipitaciones medias anuales muestra un solo pico de lluvias intensas hacia los meses de mayo y agosto (monomodal), durante los cuales se presenta un poco más del 60% de las lluvias totales del año. Desde diciembre hasta febrero se dan las menores precipitaciones y aportan entre un 9 y 17% al total multianual. Con lo anterior se comprueba la relación que existe entre la abundancia de macroinvertebrados y las épocas en que fueron realizados los muestreos, coincidiendo la época de lluvia con el menor número de macroinvertebrados recolectados y la época seca con el mayor número recolectado, [59], menciona en su estudio que este tipo de discrepancias se deben principalmente a la variación estacional de los organismos, la cual se presenta en función del efecto que ocasionan la presencia o ausencia de las lluvias. Las fluctuaciones climáticas alteran el volumen de agua y consecuentemente la disponibilidad de hábitats, lo que afecta la presencia de distintos grupos de macroinvertebrados.

Tabla 9. Número de individuos por familia y relación con sus respectivos géneros presentados en la gráfica 12

FAMILIA	N° DE INDIV	FAMILIA	N° DE INDIV	FAMILIA	N° DE INDIV
Hyalellidae	118	Ceratopogonidae	1	Aeshnidae	14
Corixidae	8	Chironomidae	23	Erpobdellidae	5
Notonectidae	13	Coenagrionidae	3	Lumbricidae	6
Gyrinidae	7	Lestidae	7	Sphaeriidae	24
Planariidae	33	Physidae	13		

Fuente: Propia

Gráfico 12. Géneros de macroinvertebrados encontrados en la laguna Chingaza



Fuente: Propia

Como en las anteriores lagunas, la gráfica muestra el porcentaje de géneros identificados en la laguna Chingaza, reconociendo cuales géneros son los más representativos en el cuerpo de agua y de qué manera esta información nos da un acercamiento a la determinación de la calidad del agua de la laguna. La metodología utilizada para este proceso fue estadística descriptiva, la misma que se utilizó para las anteriores dos lagunas, calculandose la frecuencia relativa del numero total de individuos de cada uno de los generos en la laguna. Una vez más se puede observar la dominancia de la familia Hyalellidae representada por los generos *Hyalela simplex* (33.81%) y *Hyalela chiloensis* (9.09%), seguidos del género *Dugesia* (12%), el cual pertenece a la familia Planariidae. A diferencia de las lagunas Arnical y del Medio la laguna Chingaza presentó una característica muy importante, la cual fue la presencia de los generos *Chironomus* (8.36%) de la familia Chironomidae y el genero no especificado de la familia Sphaeriidae (8.72%). La presencia de la familia Planariidae se relaciona con alto porcentaje de saturación de oxígeno y de conductividad [61] A pesar de que esta familia se ha considerado dentro de un rango de tolerancia ecológica relativamente estrecha [18] se ha reportado en el río Rionegro en zonas de alta contaminación de origen orgánico en estudios realizados por Roldán [11], caso contrario a la familia Chironomidae la cual esta relacionada con bajos niveles de oxigeno. [61], y en el caso de su alta representatividad se debe posiblemente a que están ampliamente distribuidas en todo tipo de corrientes de agua [39]. La familia Chironomidae tolera altos niveles de contaminación [61], pero es necesario tener en cuenta lo planteado por Zúñiga [32] con respecto a la interpretación de la clasificación planteada

por el sistema saprobio. Esta autora plantea que los límites de las zonas deben tomarse con cautela y en forma flexible, ya que los organismos usados como indicadores no siempre se hallan perfectamente definidos en su estado ecológico y algunos pueden presentarse en más de una zona saprobía [18]

La familia Planariidae vive en aguas de escasa profundidad, se pueden encontrar también debajo de piedras, o de diferentes superficies sólidas tales como ramas u hojas, se caracterizan por establecerse en ambientes con abundancia de oxígeno, pero algunas especies resisten grados de contaminación aceptables [11]. Por lo anterior y como se mencionó anteriormente, la presencia de la familia Planariidae junto con la familia Chironomidae es importante ya que en el caso de la familia Chironomidae en su mayoría, se encuentra en cuerpos de agua naturales relativamente profundas [62], También se les encuentra en superficies o lugares con alta cantidad de materia orgánica en descomposición. Son indicadores de agua mesoeutróficas [11].

La tabla 10 es el resultado de la aplicación del proceso de contraste estadístico de hipótesis, resuelto por medio de la prueba t-student, con la función de probabilidad utilizada para muestras pequeñas con un porcentaje de confiabilidad del 95%, para los puntos de muestreo desarrollados en el cuerpo de agua laguna Chingaza. Los grados de libertad utilizados fueron de un valor de (4) determinados por la siguiente fórmula $V = n_1 + n_2 - 2$ donde (n) representa las épocas del año en las cuales se tomaron las muestras (M1, M2, M3). Los resultados descritos afirman la hipótesis nula de que existe similitud entre las poblaciones recolectadas en todos los puntos de muestreo de 1-6, tomando como base el percentil con valor de 2.77, definiendo así que no hubo ningún valor por encima del mismo, por lo tanto se rechaza la hipótesis alterna la cual afirma que hay diferencias entre las poblaciones evaluadas. Esta laguna en especial tiene una considerable cantidad de materia orgánica [25], evaluada por medio de la cantidad de nutrientes que representa, teniendo en cuenta esto se puede plantear la premisa de que estos factores pueden incidir en la riqueza y abundancia entre las estaciones en general, especialmente por el movimiento que hay con respecto a sus entradas y salidas de agua, desembocando este recurso al río Frío como sucede en el punto 5, el flujo de agua determina el movimiento de la biomasa béntica de los cuerpos de agua.

Tabla 10. Resultados prueba t-student (Estadístico de hipótesis) para los puntos de muestreo laguna Chingaza

PUNTO	P1	P2	P3	P4	P5	P6
P1						
P2	1.11					
P3	-1.22	-1.42				
P4	0.83	0.093	1.41			
P5	-0.26	-0.74	1.04	-0.71		
P6	0.23	-0.14	1.19	-0.17	0.35	

Fuente: Propia

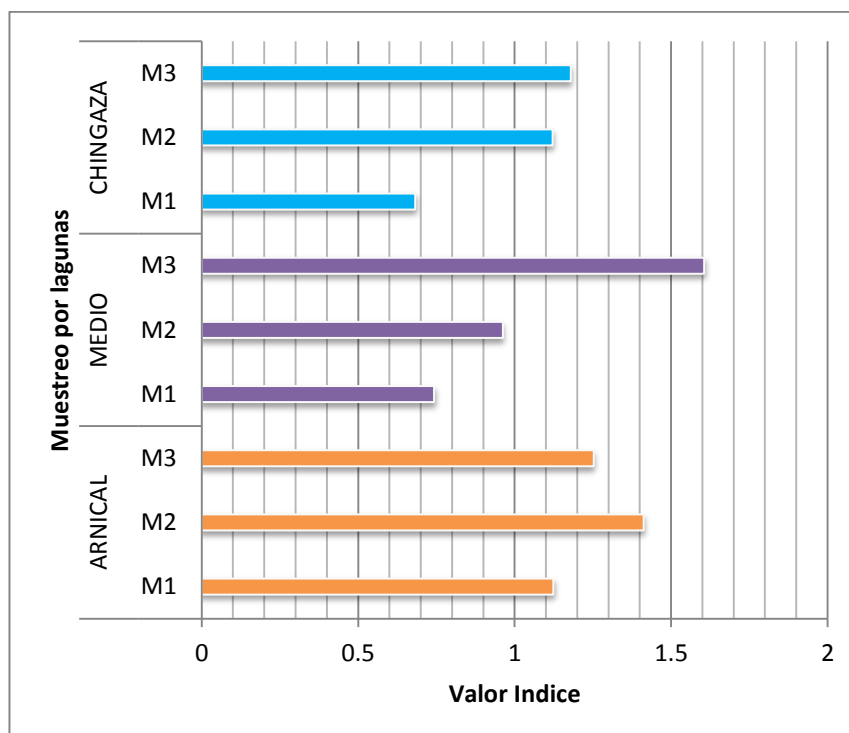
5.2 DETERMINACIÓN DEL ESTADO LIMNOLÓGICO NATURAL Y LA ESTRUCTURA BIOLÓGICA/AMBIENTAL DE LAGUNAS CHINGAZA, DEL MEDIO, Y EL ARNICAL MEDIANTE ÍNDICES DE DIVERSIDAD ESPECÍFICA.

A continuación se presenta los resultados de los índices de diversidad aplicados, evaluando tres componentes de la estructura de la comunidad: Riqueza (número de especies presentes), equitatividad (uniformidad en la distribución de los individuos entre las especies) y abundancia (número total de organismos presentes), para describir la respuesta de una comunidad a la calidad de su ambiente. [63]

Por lo anterior se plantea la hipótesis de que la diversidad se basa en la no alteración de los ambientes, caracterizados por tener una distribución uniforme de individuos entre las especies, una alta riqueza y una buena cantidad de individuos.

5.2.1 Índice de diversidad de Shannon-Wiener.

Gráfico 13. Índice Shannon- Wiener para las lagunas el Arnical, del Medio y Chingaza

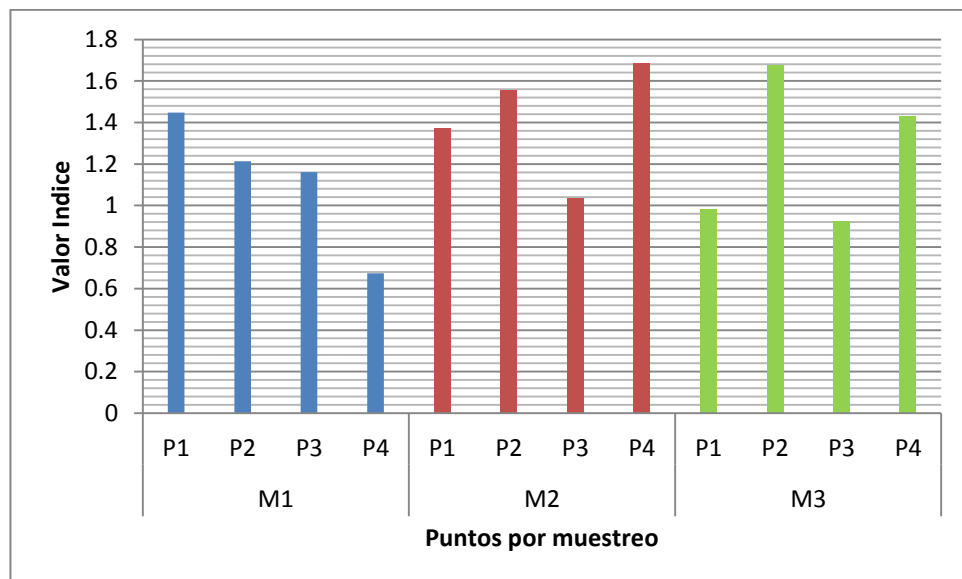


Fuente: Propia

El índice de Shannon-Wiener expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección [23] [44]. En la gráfica anterior se puede observar que el valor más alto del índice se obtuvo en la época de transición en

la laguna del Medio (1.60 bits/ind) y el valor más bajo se obtuvo en la época lluviosa en la laguna Chingaza (0.68 bits/ind). Estos valores indican una baja diversidad con respecto a los valores promedio, pero así mismo argumentan la premisa de que las condiciones temporales del medio influyen en este comportamiento, ya que como se mencionó anteriormente, en época lluviosa se obtuvo el valor más bajo del índice de Shannon, argumentando el hecho de que el aumento de caudal o lámina de agua produce una mayor distribución espacial de especies lo que limita la abundancia o diversidad de las mismas. [64] [59] En el estudio del estado limnológico de cuatro humedales de la sabana de Bogotá calculó valores de 1.53 bits en épocas de lluvias altas, un patrón contrario al encontrado en este estudio, pero que sirve de referencia ya que las características comunes de estos cuerpos de agua eran de alta carga de DBO5. Con base en lo anterior una DBO5 muy alta, es indicativo de una alta contaminación, y teniendo en cuenta la baja carga de DBO5 obtenida en la laguna Chingaza en época de lluvia (2.0 mg/L) se puede afirmar que la poca diversidad de organismos allí encontrada corresponde a especies pioneras que indican una calidad de agua promedio y que presentan baja contaminación.

Gráfico 14. Índice Shannon- Wiener para la laguna el Arnical.



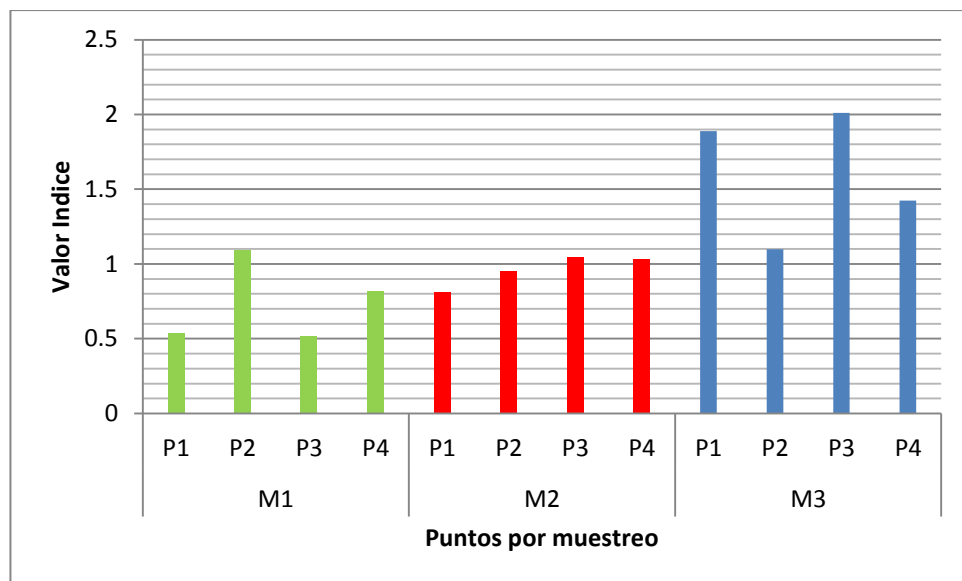
Fuente: Propia

En la gráfica anterior se observa que el valor de los índices en cada uno de los puntos por muestreo es considerablemente alto y se relacionan entre sí, por ejemplo el punto con mayor diversidad en los diferentes muestreos fue el punto dos (1.48 bits/indv), esto puede deberse al fácil acceso que se presentó para realizar el muestreo en este punto, el espacio y las condiciones de terreno fueron favorables para la realización de la investigación en la laguna. Por otro lado, el punto uno y cuatro presentaron una diversidad muy semejante (1.267 bits/ind) y (1.262 bits/ind) respectivamente, por lo que se puede afirmar que las

condiciones espacio temporales dadas allí están relacionadas o son semejantes entre sí.

El comportamiento del índice de diversidad entre fechas de muestreo no tuvo variaciones significativas presentándose (1.12 bits/ind) en la época lluviosa, (1.41 bits/ind) en época seca y finalmente (1.25 bits/ind) en época de transición. Como se definió anteriormente la época seca (muestreo 2) tuvo la mayor diversidad, esto coincide con la normalidad de los datos, representados con un valor de desviación de (0.28), el cual fue el menor valor con relación a los muestreos restantes en los cuales su desviación estándar supera el valor de (0.32) para cada uno.

Gráfico 15. Índice Shannon- Wiener para la laguna del Medio.

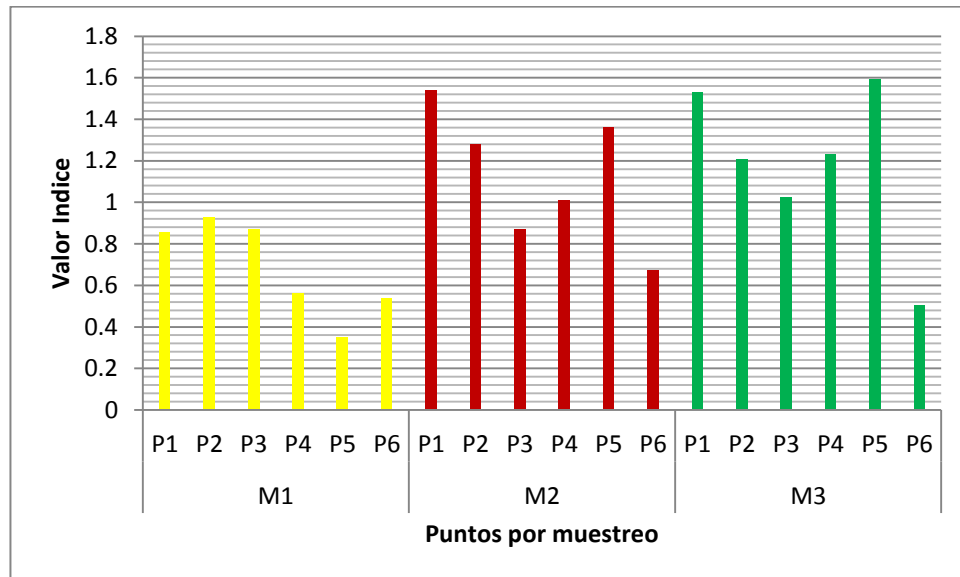


Fuente: Propia

En esta gráfica se presenta el índice de Shannon-Wiener para la laguna del Medio observándose la dominancia de diversidad en el punto tres con un promedio de (1.19 bits/Ind), caso contrario al punto dos el cual tuvo un promedio de (1.04 bits/ind). De esta manera se puede afirmar que la diversidad de especies en esta laguna no tiene una gran variación entre sus puntos ya que el rango de variación entre el mayor valor del índice y el menor es de (0.1411 bits/ind). El comportamiento dentro de la laguna es uniforme teniendo en cuenta la desviación estándar de sus datos para cada muestreo: (0.2725) para el muestreo en época de lluvia, (0.1071) para la época seca y (0.4217) para la época de transición. La época con la mayor diversidad fue la época de transición (1.60 bits/indv), pero si se observa la variación entre sus puntos y el valor de su desviación estándar se puede afirmar que tiene datos muy dispersos que no tienen un comportamiento normal. Esto puede estar determinado por diferentes variables estacionales que influyen en estos cambios, ya que si evaluamos el comportamiento de la laguna en el muestreo dos (época seca), el resultado obtenido en la desviación estándar, el cual fue el

más bajo en relación con los otros dos muestreos, es coherente con el índice de diversidad encontrado (0.96 bits/indv).

Gráfico 16. Índice Shannon- Wiener para la laguna Chingaza.



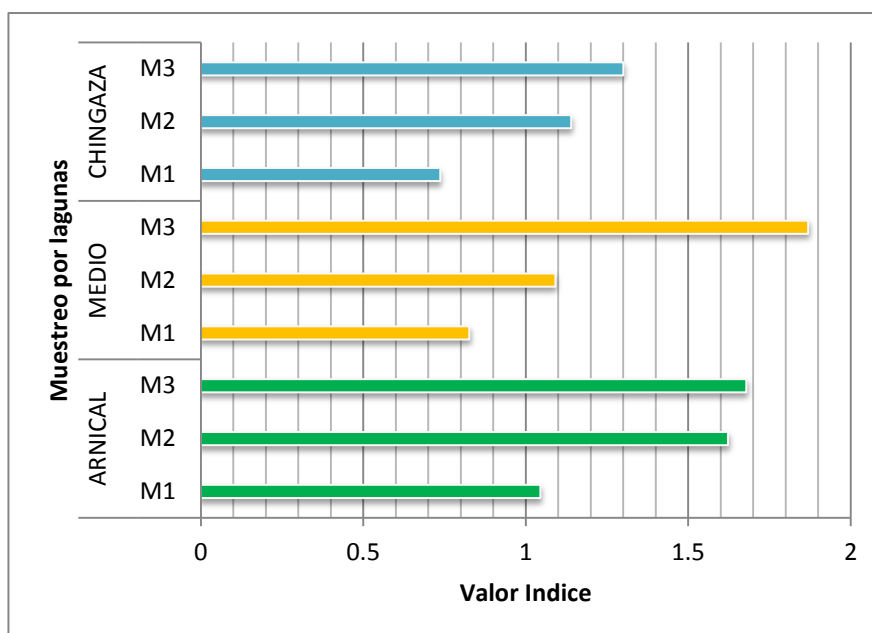
Fuente: Propia

Para la laguna Chingaza se obtuvieron datos de diversidad uniformes, los cuales no tuvieron mayor diferencia. En el caso de sus puntos de muestreo más representativos se obtuvieron los mayores promedios de diversidad en los puntos uno (1.30 bits/ind) y dos (1.13 bits/ind), cabe destacar que estos puntos se encontraban en una zona de musgo y mucha vegetación acuática, lo que facilitaba la recolección directa del sustrato mediante el uso de pinzas entomológicas. Como el objetivo es registrar la mayor cantidad de taxa las recolectas directas son importantes para poder obtener aquellos organismos que se encuentran fuertemente adheridos al sustrato (Larvas) [65].

El menor valor de diversidad se presentó en el muestreo uno (época lluviosa) (0.68 bits/ind), debido a que las condiciones de la laguna obligaban a obtener los macroinvertebrados directamente del sustrato, y al tener una mayor lámina de agua se dificultaba el acceso al mismo. Caso contrario a los muestreos realizados en época seca y de transición donde se obtuvo un valor que casi dobla al resultante en el primer muestreo (1.17 bits/ind) en época seca y (1.3 bits/ind) en época de transición. El comportamiento de los datos en cada muestreo fueron similares ya que su desviación estándar varía (+/- 0.068) entre los meses de muestreo, lo que demuestra la baja dispersión de datos presentada.

5.2.2 Índice de riqueza de Margalef

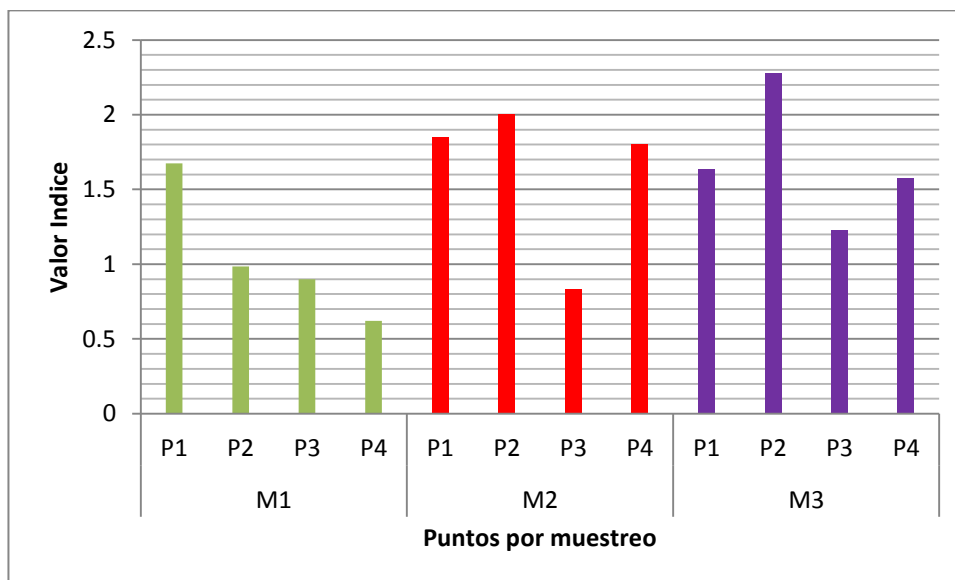
Gráfico 17. Índice Margalef para las lagunas el Arnical, del Medio y Chingaza



Fuente: Propia

El índice de Margalef relaciona el número de especies de acuerdo al número total de individuos [63], esta relación trae como resultado un valor equivalente a la riqueza específica, tomando como base el número de especies y el “número total de individuos observados”, el cual tiende a incrementar conforme aumenta el tamaño de la muestra. En la gráfica anterior se puede observar la riqueza de especies en cada laguna con respecto a los muestreos realizados. La laguna Arnical presenta más abundancia de especies con respecto a las otras dos lagunas, lo anterior puede presentarse por la baja concentración de oxígeno disuelto asociado a la abundante vegetación encontrada allí, determinando así un alto índice de riqueza (1.44), las lagunas del Medio y Chingaza presentaron índices con valores de (1.26) y (1.05) respectivamente. Aunque fueron valores diferentes para cada laguna, cabe resaltar que la diferencia de un valor a otro no excede los (0.18) del valor del índice, es un rango promedio el cual muestra la relación que hay entre las lagunas y que probablemente la diferencia de alturas que hay entre ellas sea un factor fundamental para la riqueza de especies.

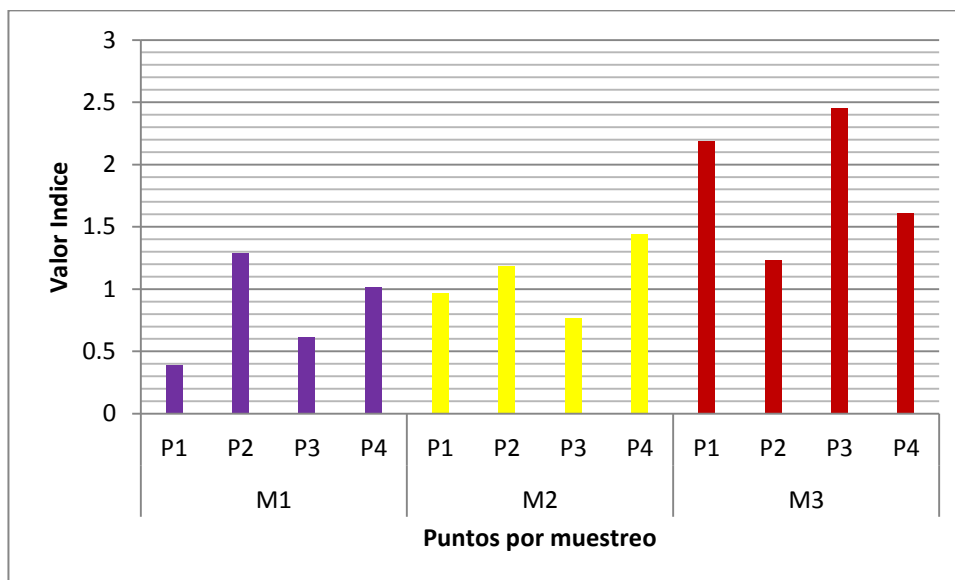
Gráfico 18. Índice Margalef para la laguna el Arnical



Fuente: Propia

En la gráfica se puede observar una gran riqueza de especies según el índice calculado, si se relacionan los puntos en cada muestreo, el punto con el valor más alto de riqueza fue el punto dos de la laguna (1.75), seguido del punto uno con (1.72), esto junto con cada uno de los muestreos demuestra que en época lluviosa hay menor abundancia de individuos (1.04), y resalta que en época seca y de transición existe mayor cantidad de individuos (1.67) y (1.62) respectivamente. Los valores de desviación estándar para cada uno de los muestreos determinan que los datos son normales, y que no tienen mayor rango de variación. Por ejemplo en el caso de los muestreos uno y tres, presentan desviaciones estándar de (0.44) y (0.43) respectivamente, lo que concluye en un comportamiento con bajas dispersiones y una relación de datos coherente con su comportamiento espacial.

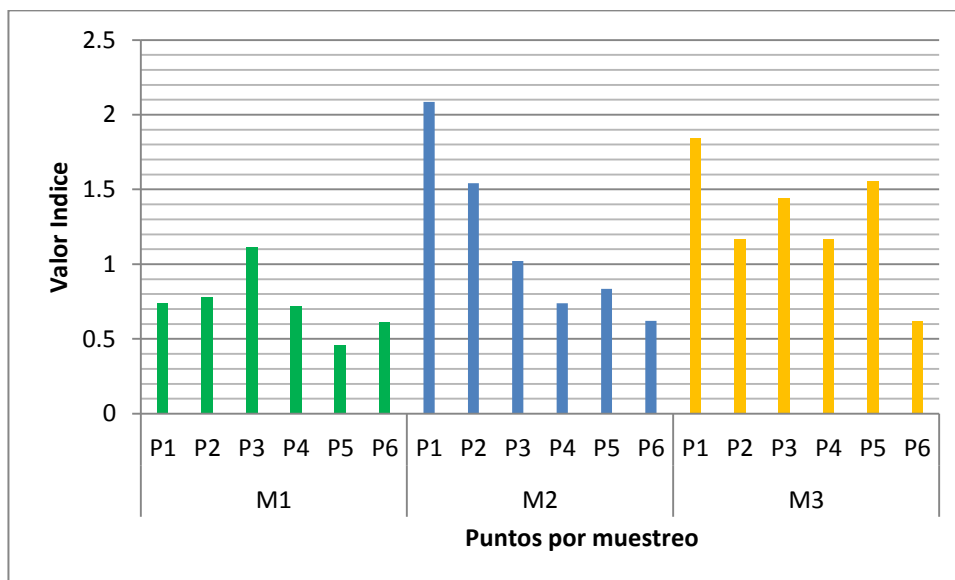
Gráfico 19. Índice Margalef para la laguna del Medio



Fuente: Propia

La gráfica anterior muestra las grandes diferencias que existen entre los muestreos realizados. El muestreo realizado en época lluviosa arrojó un valor promedio de (0.82) de abundancia en sus especies, confirmando una vez más que en esta época del año los macroinvertebrados son menos abundantes. En época seca se obtuvo un valor del índice de Margalef de (1.091) con la desviación estándar más baja de los muestreos con un valor de (0.29). Este último valor presenta una gran diferencia espacial con respecto al valor más alto de desviación, el cual pertenece al muestreo tres (0.55). Lo anterior concluye en una diferencia de (0.26), la cual es relacionada con el promedio del índice de Margalef para el muestreo en época de transición (M3) el cual fue de (1.86) proporcionando la riqueza más alta de la laguna. Pese a que los valores de abundancia de especies fueron de promedios relativamente altos, también se observó una alta dispersión de datos, de esta manera es notable que el comportamiento con respecto a riqueza de especies en esta laguna es muy variable en términos estacionales.

Gráfico 20. Índice Margalef para la laguna Chingaza

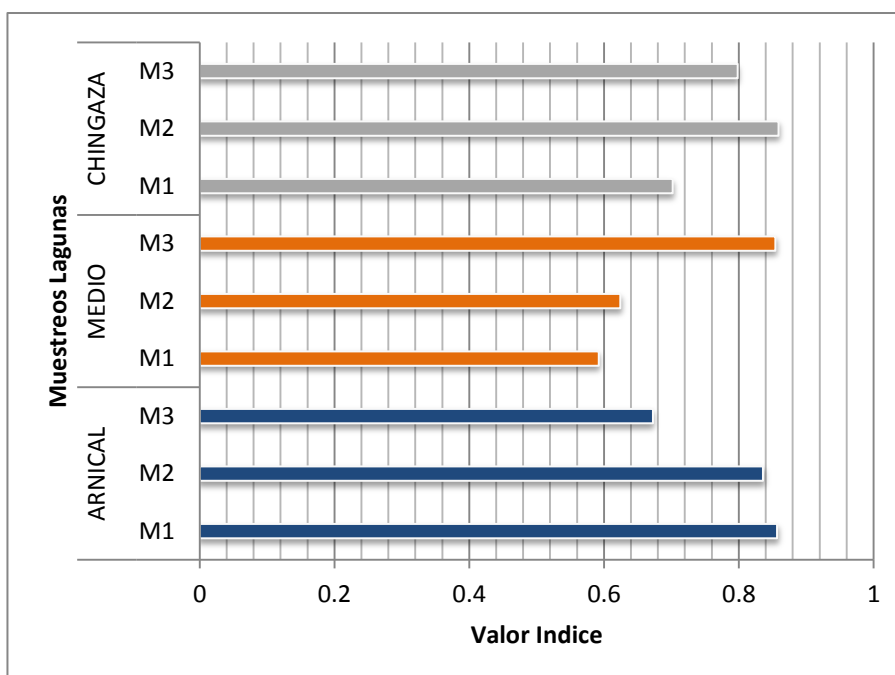


Fuente: Propia

Para la laguna Chingaza se presentan diferentes datos de interés. En el caso de los puntos de muestreo existe una tendencia en los primeros tres puntos de muestreo los cuales representan los índices de riqueza más altos, P1 (1.55), P2 (1.16) y P3 (1.19), esto puede deberse a que la mayoría de los macroinvertebrados se recolectaron directamente del sustrato debido al difícil acceso para el muestreo en esas zonas. Las zonas se caracterizaban por la abundancia de vegetación acuática y pantano. Contrario a esto sucedió en los puntos restantes 4, 5 y 6 en los cuales se obtuvieron los índices de abundancia más bajos de la investigación (0.87), (0.91) y (0.86) respectivamente, en estos puntos se realizó el barrido empujando la red dentro del sustrato para recolectar el material de fondo, buscando los macroinvertebrados entre el material acumulado en la red. [65] pero como indica el índice la recolección en estos puntos produjo una disminución en los valores del índice, y se puede evidenciar aún más si se tienen en cuenta los valores obtenidos a nivel de los muestreos, ya que para el primer muestreo (época lluviosa) se obtuvo una vez más el menor valor promedio de riqueza (0.73) con una desviación estándar de (0.21), esta última presentó un comportamiento normal con respecto a los valores de los muestreos dos y tres, los cuales fueron doblemente más altos que la desviación anteriormente mencionada, (0.56) y (0.41) respectivamente. La mayor diversidad de especies en la laguna estuvo presente en el muestreo dos (época seca) con un valor de (1.14).

5.2.3 Índice de equidad de Pielou

Gráfico 21. Índice Pielou para las lagunas el Arnical, del Medio y Chingaza.

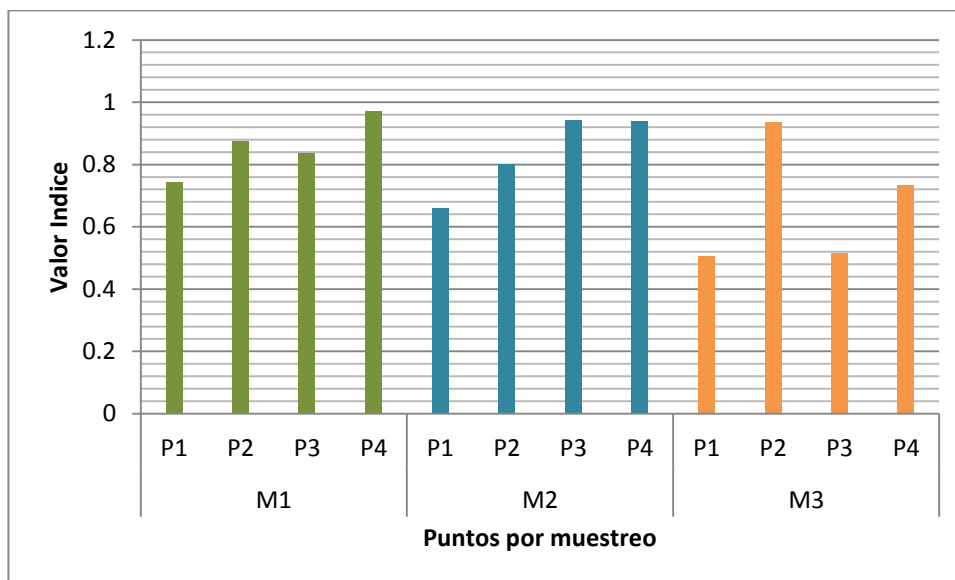


Fuente: Propia

El índice de equidad de Pielou tiene en cuenta la distribución de los individuos entre las especies, de manera que una equidad perfecta se dará cuando los individuos estén distribuidos por igual en todas las especies y su valor tenderá a 1. En la gráfica se puede observar la equidad que presenta cada una de las lagunas. En términos generales, la mayoría de los valores presentados en la gráfica muestran una equitatividad relativamente estable en cada uno de los muestreos con un valor mínimo de equitatividad de (0.59) y un valor máximo de (0.86). Estos valores se obtuvieron en las lagunas del Medio y Arnical respectivamente, pero cabe resaltar que fueron exactamente en la temporada lluviosa (muestreo uno). Esto demuestra que la altura finalmente puede ser un factor determinante en la distribución espacial de los macroinvertebrados, además de esto las condiciones temporales son también una parte fundamental de los cambios tanto en abundancia como materia estacional de las diferentes especies de macroinvertebrados.

En promedio la época que presentó mayor equitatividad fue la época lluviosa (M1) (0.79), y la que presentó menor equitatividad fue la época seca (M2) (0.68). Se puede plantear la hipótesis de que probablemente la abundancia (o riqueza) sea inversamente proporcional a la equitatividad, ya que, como se relaciona en los datos anteriores, en la época donde hubo mayor abundancia (Época seca), la equitatividad fue menor.

Gráfico 22. Índice Pielou para la laguna Arnical.

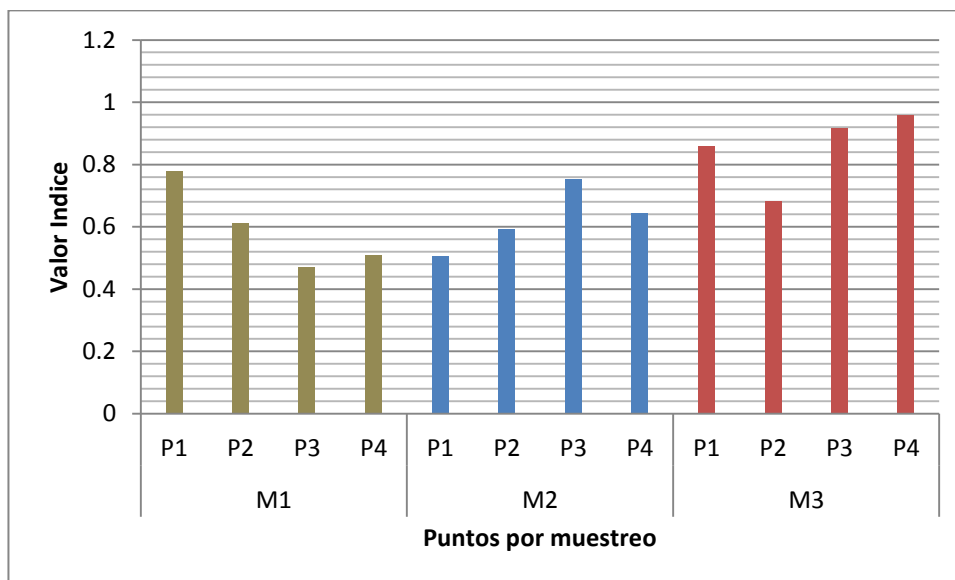


Fuente: Propia

El índice de Pielou en esta grafica muestra la gran equitatividad que existe entre puntos de muestreo, por ejemplo el punto con mayor equitatividad fue el punto cuatro, con un valor promedio de (0.89) el cual es muy cercano a 1, por otro lado, el punto uno presento el menor valor promedio del índice con (0.63). Pese a que son cifras diferentes no están totalmente alejadas una de la otra, tal y como sucede con la equitatividad entre muestreos. La mayor equitatividad se produjo en el muestreo uno, en época de lluvia (0.86) con una distribución normal de (0.093) la cual ha sido la menor desviación estándar hasta el momento. Es notable que la laguna con los comportamientos más normales y con los índices más coherentes es la laguna el Arnical teniendo en cuenta que la equitatividad en el muestreo dos es de 0.83 (época seca), valores que se asemejan mucho el uno del otro.

Se puede afirmar que en la laguna Arnical, las variaciones por causas estacionales no afectan la equitatividad de los organismos que allí habitan, pero si pueden afectar la abundancia de los mismos.

Gráfico 23. Índice Pielou para la laguna del Medio.

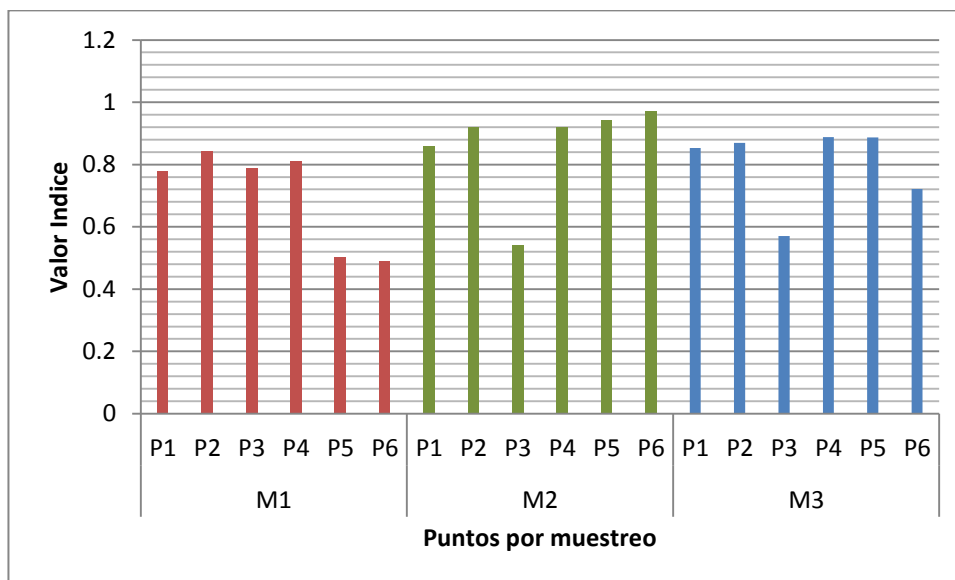


Fuente: Propia

En el gráfico anterior se observa que aunque la laguna presenta menos equitatividad de especies con respecto a la laguna el Arnical, en su conjunto como ecosistema, tiene una equitatividad normal. Esto se afirma gracias a que en los diferentes puntos de muestreo la equitatividad de organismos estuvo en un rango de 0.62 a 0.72.

Por otro lado la laguna del Medio presenta una equitatividad que va en aumento conforme las épocas de muestreo van sucediendo. Es el caso del muestreo en época lluviosa el cual presentó el nivel más bajo de equitatividad (0.59), seguido de la época seca con un valor del índice de (0.62) y finalmente en la época de transición, el valor dado es de (0.85). Aunque existe esta relación entre muestreos, cabe resaltar que los datos tienen un comportamiento normal en su conjunto ya que la desviación estándar de cada uno de los muestreos se encuentra entre el rango (0.09 a 0.12), presentando una baja dispersión con respecto a la laguna Arnical.

Gráfico 24. Índice Pielou para la laguna Chingaza.



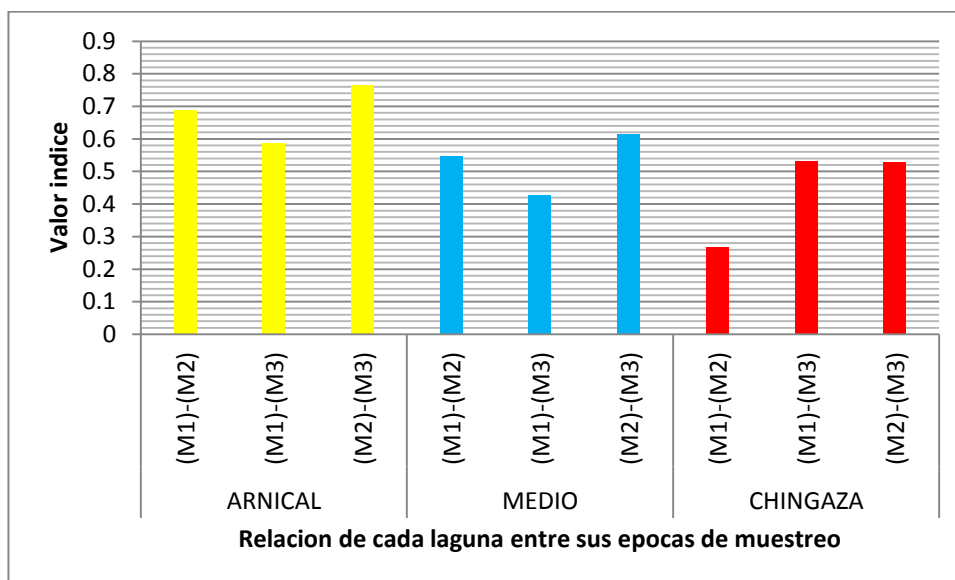
Fuente: Propia

Para la laguna Chingaza se observa una clara uniformidad entre puntos de muestreo en las diferentes épocas, en los puntos 5 y 6 de la época de lluvia se presentaron las equitatividades más bajas con valores de (0.50) y (0.48) respectivamente. A nivel general el punto con mayor equitatividad fue el punto cuatro con un promedio del índice de (0.88), este punto representa una de las estaciones donde se realizó el muestreo con la red D. La forma en que se realizaron los muestreos en esta laguna fue diferente en la mitad de los puntos, pero los resultados dados por el índice de Pielou indican que en términos de equitatividad, esta diferenciación no fue determinante, ya que los valores están en un rango de (0.77-0.87), mostrando así un comportamiento normal e incluso cercano a la equitatividad total (1) de la laguna.

Haciendo referencia a los muestreos se obtuvieron datos favorables ya que el menor valor del índice se obtuvo en el muestreo uno (0.7) (época de lluvia) y el mayor en el muestreo dos (época seca). El comportamiento de esta laguna en términos de equitatividad es diferente a la laguna el Arnical, partiendo del punto de que en época seca la laguna Chingaza presenta el valor más alto (0.86), y en época de lluvia el valor más bajo, y en la laguna el Arnical sucede todo lo contrario; la equitatividad mas alta se presenta en época de lluvia.

5.2.4 Índice de similitud de Jaccard

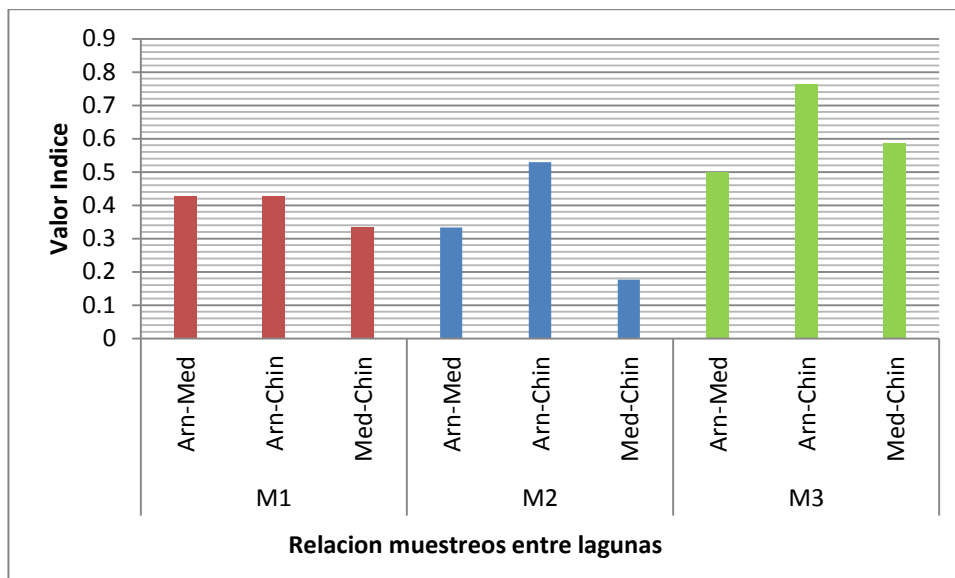
Gráfico 25. Índice Jaccard para los diferentes muestreos en las lagunas el Arnical, del Medio y Chingaza



Fuente: Propia

El índice de Jaccard es un método cualitativo el cual expresa la semejanza entre dos muestras considerando solamente su composición de especies, relacionando el número de especies compartidas con el número total de especies exclusivas. [63] Como se puede observar en el gráfico, la laguna con los valores más altos de similitud es la laguna Arnical, esta laguna presenta en promedio una similaridad del 68% entre los muestreos desarrollados, siendo el (M2) y (M3) los más similares con un valor del 76%, este valor es el más alto entre el conjunto de relaciones obtenidas dentro de las lagunas. Los (M2) y (M3) de la laguna Arnical corresponden a las épocas del año seca e intermedia, condiciones de transición de temperatura y condiciones biológicas naturales de la laguna tales como vegetación y oxígeno disuelto pueden ser los factores más determinantes en la no variación de abundancia de macroinvertebrados en esta laguna.

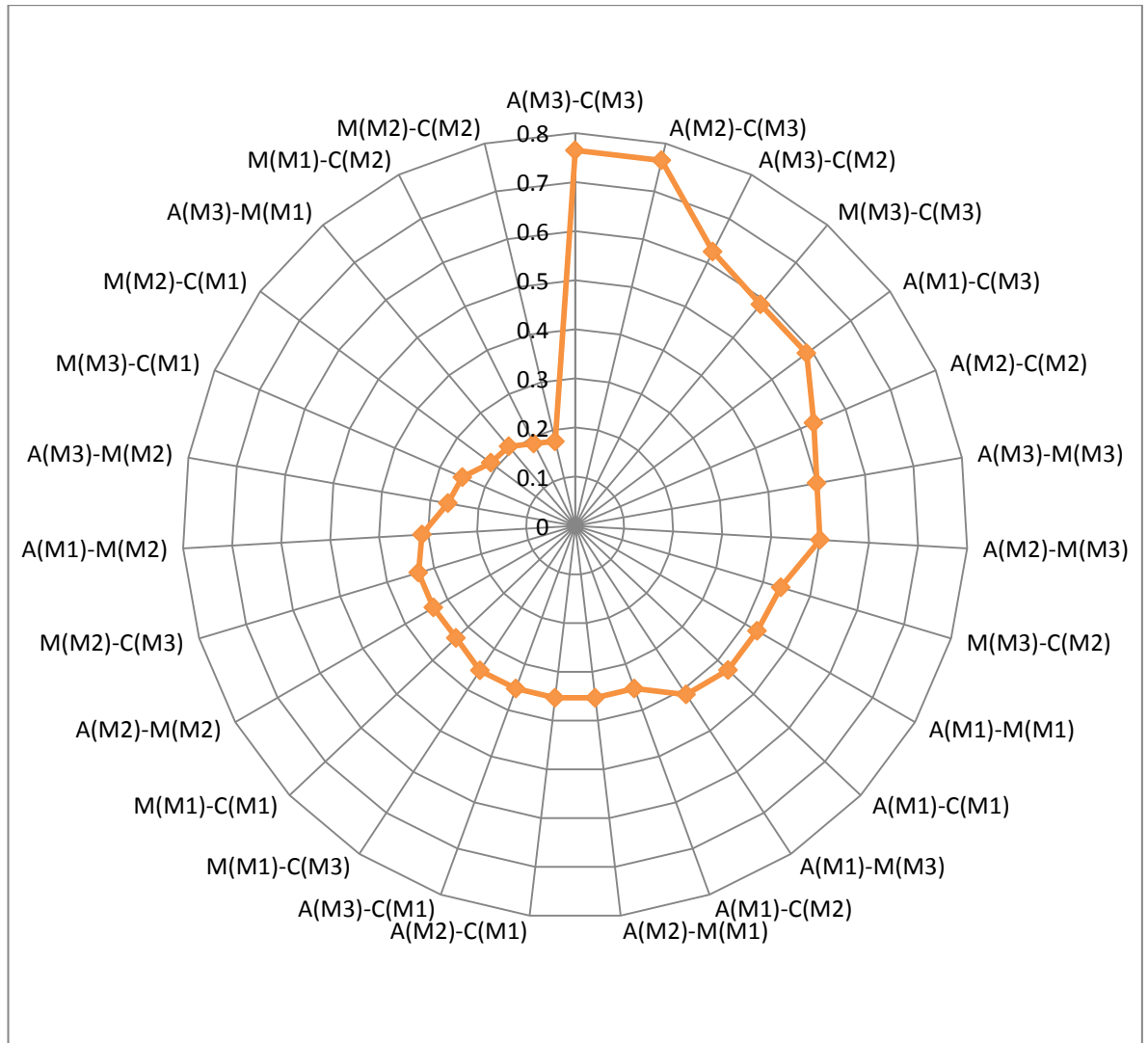
Gráfico 26. Índice Jaccard para las lagunas Arnical, del Medio y Chingaza en los diferentes muestreos o épocas del año



Fuente: Propia

En el gráfico anterior se puede observar que la similitud en composición de especies con respecto a las diferentes épocas de muestreo es bastante variable, en el caso de los muestreos (M1), (M2) y (M3) se obtuvieron los promedios de similaridad en cada uno de ellos dando como resultado un 40% de similaridad entre las lagunas para el muestreo (M1), 35% de similaridad entre las lagunas para el muestreo (M2) y finalmente para el muestreo (M3), se obtuvo un promedio de similaridad del 61%. Estos valores indican que el muestreo (M3) correspondiente a la época de transición con mayor similaridad entre las lagunas. Teniendo en cuenta que es una época de temperaturas variables, donde no hay precipitación continua y las variaciones temporales están en constante cambio se puede afirmar que las lagunas tuvieron un comportamiento semejante, esto coincide con los valores de los índices biológicos de equidad (Pielou) y de diversidad (Shannon) donde la época de transición en algunos casos fue la más representativa con respecto a los organismos que se recogieron, esto finalmente es el resultado de las variaciones de oxígeno en el ecosistema, ya que en cierta medida, este último tiende a mantenerse en equilibrio.

Gráfico 27. Índice Jaccard aplicado a la semejanza entre las lagunas Arnical, del Medio y Chingaza en las diferentes épocas de muestreo (M1), (M2) y (M3)



Fuente: Propia

El anterior gráfico radial muestra la similitud con respecto a la abundancia de macroinvertebrados entre las lagunas Arnical, del Medio y Chingaza en las diferentes épocas de muestreo sin tener en cuenta las relaciones que se puedan obtener dentro de cada laguna ya que este tema fue representado en gráficos anteriores. Para poder entender el gráfico es necesario aclarar que las letras A, M y C corresponden a las iniciales de cada laguna y los conjuntos (M1), (M2) y (M3) corresponden a las diferentes épocas de muestreo realizadas. A nivel general la relación de lagunas con mayor porcentaje de similitud fue la relación Arnical-Chingaza en la época de transición (M3) con 76% de semejanza entre la abundancia de macroinvertebrados, caso contrario a la relación Medio-Chingaza en la época seca (M2), la cual presentó el menor valor del índice con un

porcentaje de 17% de semejanza entre el número de macroinvertebrados colectados.

En el índice de Jaccard, la mayor similitud de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos se observó entre las lagunas Arnical y Chingaza con valores del índice desde 56% hasta 76% entre sus relaciones, obteniendo una gran representación de éstas en los muestreos (M2) y (M3) correspondientes a la época seca y de transición respectivamente. Las similitudes medias se registraron entre las lagunas Arnical y del Medio en épocas de transición con 50% de similaridad. Las lagunas Arnical y Chingaza pertenecen a altitudes más bajas que la laguna del Medio, así mismo poseen mayor vegetación acuática con respecto a ésta considerándose lagunas de características mesotróficas a oligotróficas obteniendo así características similares de hábitad. Aunque lo descrito anteriormente puede tomarse como factor determinante no se pueden descartar con seguridad otros factores, esta información es el resultado de cambios propios de las áreas muestreadas, tales como temperatura del agua, adaptaciones biológicas y fisiológicas de los individuos, el área del cuerpo de agua, el nivel de oxígeno y la posible corriente superficial [1].

Para información más detallada acerca de los valores específicos del índice de Jaccard y los anteriores índices de biodiversidad calculados para cada una de las relaciones presentadas en este estudio consultar los ANEXOS E, F, G y H

5.3 COMPARACIÓN DE LA RIQUEZA Y DIVERSIDAD DE MACROINVERTEBRADOS (ANOVA)

Teniendo en cuenta la caracterización de macroinvertebrados bentónicos realizado anteriormente y los resultados obtenidos de los índices de riqueza, diversidad y equidad en las diferentes épocas del año para cada una de las lagunas, se evaluó cuál es la relación de la equidad y la diversidad con la abundancia o riqueza de macroinvertebrados, con el fin de determinar diferencias significativas en los resultados y comportamientos de estos índices con respecto a cada una de las lagunas.

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) se presentan a continuación:

Tabla 11. ANOVA de la equidad y diversidad de macroinvertebrados para el factor riqueza.

Factor riqueza				
ANOVA	Sum Sq	Df	F Value	Pr(>F)
Diversidad	95.233	1	208.33	<2.2e-16
Equidad	0.8077	1	17.67	0.0001483

Fuente: Propia

Se puede concluir que las variables explicativas: índice de equidad de Pielou e índice de diversidad de Shannon, tienen un efecto significativo sobre el índice de riqueza de Margalef.

Con un nivel de confianza del 90% ($p < 0.01$) los valores $Pr(>F)$ mostrados en la tabla 11 son iguales a ($<2.2E-16$) y a (0.0001483) para índices de diversidad y equidad respectivamente, rechazando la hipótesis nula $\beta=0$ (Función del modelo: Índice de equidad e índice de diversidad no tienen relación estadística con respecto a los valores del índice de riqueza), indicando con estos resultados que los índices anteriormente mencionados aportan significativamente a los cambios de la riqueza.

Gracias al efecto significativo que tuvieron los índices de equidad y diversidad sobre el índice de riqueza, con los resultados de los datos de estimación del modelo planteado se realizó un modelo lineal de la siguiente manera:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + e$$

Dónde:

- Y= Índice de Riqueza
- El intercepto $\beta_0 = 0.4472$
- Diversidad (β_1)=1.39499
- Equidad (β_2)=-0.99553
- X_1 y X_2 = Valores de los índices de diversidad y equidad respectivamente

La relación del modelo se basa en que a valores dados de diversidad y equidad se puede calcular el índice de riqueza para cada laguna objeto de estudio, dando como resultado que según los datos obtenidos del comportamiento de las lagunas con respecto a los diferentes índices de biodiversidad, a valores de diversidad y equidad iguales a 0, la riqueza será constante con un valor estadístico estimado de 0.44722.

Luego de lo anterior se realizó un análisis de varianza incluyendo la variable Lagunas, como no se tienen datos cuantitativos de las lagunas, se identificaron como variables dummy, las cuales son variables cualitativas, también conocidas como indicativas, binarias, categóricas y dicotómicas. Sólo pueden asumir los valores 0 y 1, indicando respectivamente ausencia o presencia de una cualidad o atributo. [66] , para de esta manera identificar si las lagunas aportan significativamente al modelo de riqueza.

Tabla 12. ANOVA de la variable (Laguna) para el factor riqueza

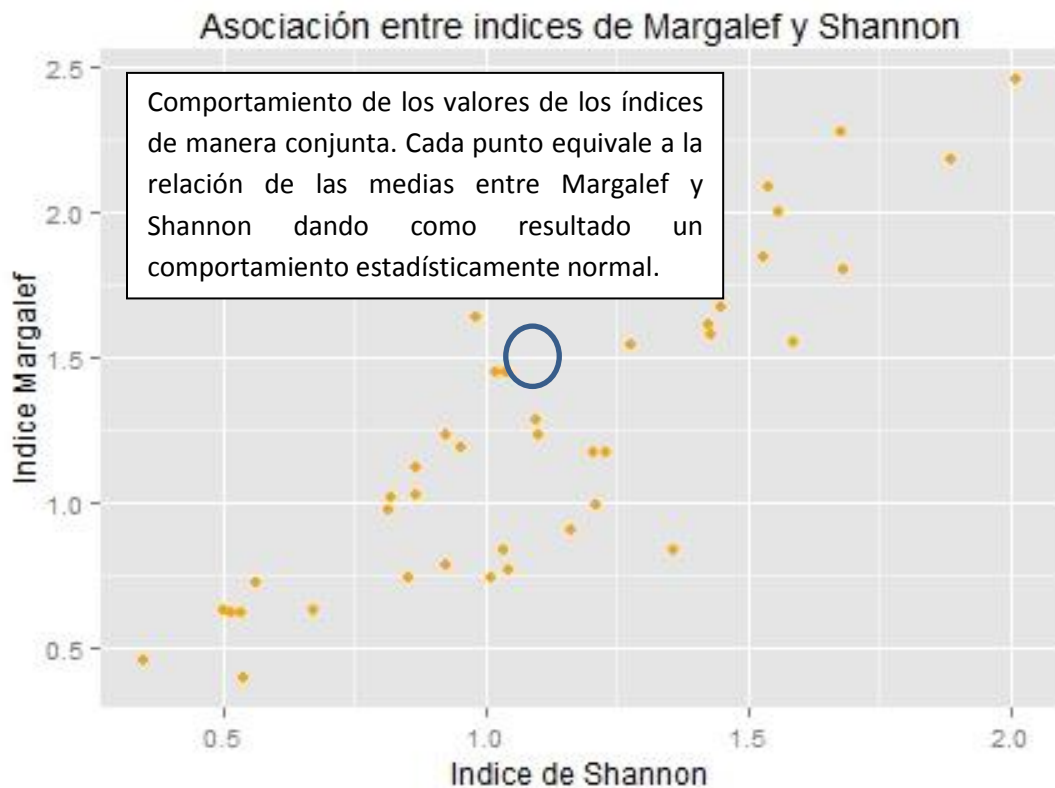
Factor Riqueza				
ANOVA	Sum Sq	Df	F Value	Pr(>F)
Laguna	11.111	2	20.184	0.1465

Fuente: Propia

Teniendo en cuenta la hipótesis nula $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3$ (con $\beta = \text{Laguna}$), con un valor de confianza del 90% y con ($P > 0.01$) no se rechaza la hipótesis nula respecto al modelo, afirmando que el aporte de las lagunas es el mismo con respecto a la riqueza entre ellas.

Finalmente se realizaron diagramas de dispersión en donde se evalúa la relación de la riqueza con las variables respuesta equidad y diversidad, los cuales se presentan a continuación:

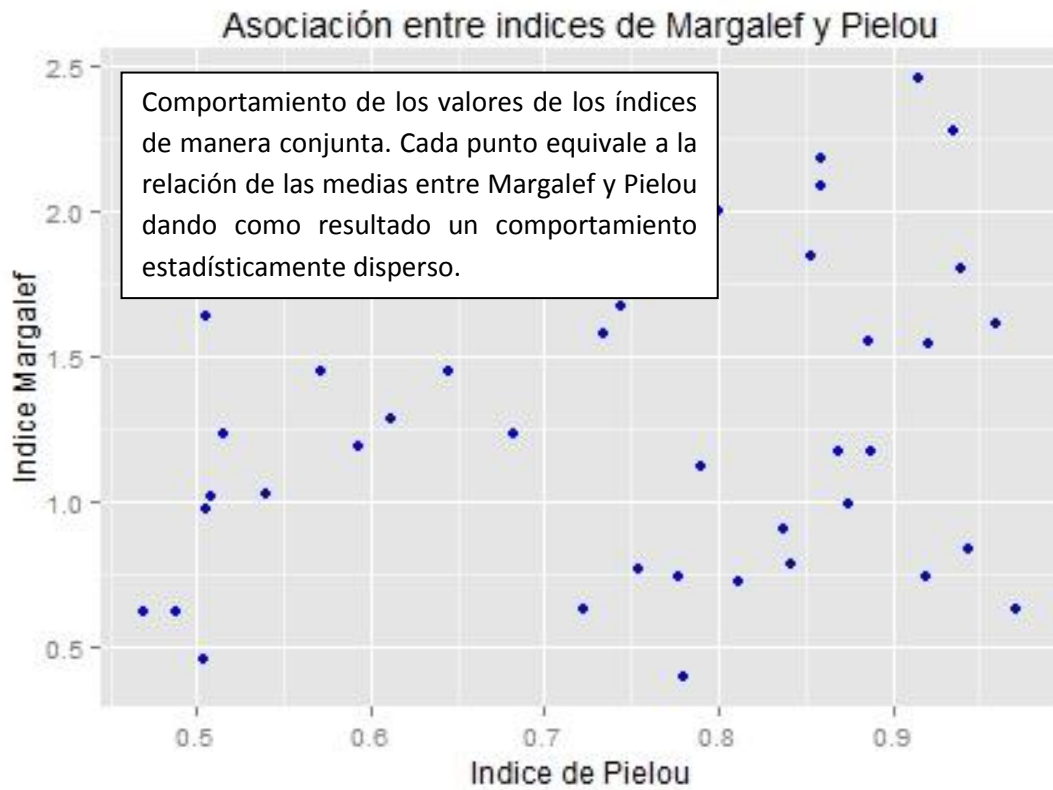
Gráfico 28. Correlación entre índices de biodiversidad Margalef y Shannon



Fuente: Propia por medio del software libre R

En la gráfica se puede observar una asociación proporcional entre los valores promedio del índice de riqueza frente a los valores del índice de diversidad, los análisis de varianza demuestran que hay una correlación entre los valores promedio de los índices, ya que su coeficiente de determinación ajustado es igual a (0.7758), caso contrario al coeficiente de determinación ajustado de la correlación entre el índice de riqueza y el índice de equidad, el cual fue (0.02167), y como se puede observar en la gráfico. 28 Correlación entre índices de biodiversidad de Pielou y Margalef no presentan una distribución normal de sus relaciones, concluyendo de esta manera que aunque la equidad sea significativa no tiene una asociación proporcional entre sus promedios con el índice de riqueza.

Gráfico 29. Correlación entre índices de biodiversidad de Pielou y Margalef



Fuente: Propia por medio del software libre R

5.4 PARAMETROS FISICO-QUIMICOS

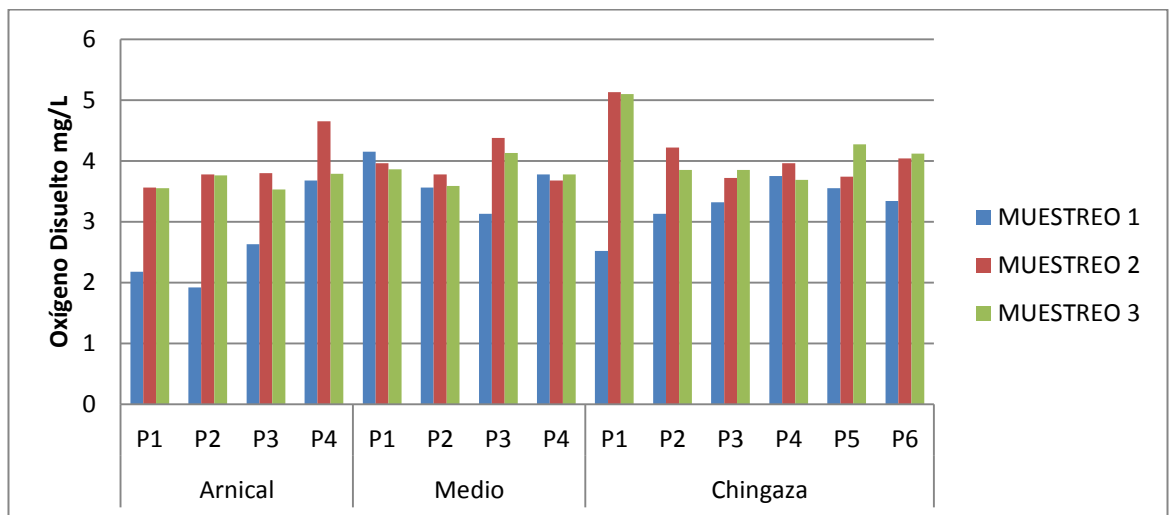
Los parámetros fisicoquímicos tomados fueron los que dio el multiparámetro Quanta dado por el Parque Nacional Chingaza. (Ver ANEXO K)

Ahora se van a analizar cada uno de los parámetros fisicoquímicos en cada una de las lagunas.

5.4.1 Oxígeno Disuelto.

A continuación en la gráfica podemos observar los valores registrados a lo largo de los muestreos:

Gráfico 30. Comparación de la variación de Oxígeno Disuelto en las tres lagunas.



Fuente: Propia

En las lagunas el DO fluctuó entre los 1.92mg/L y los 5.13mg/L, con un promedio de 3.71mg/L y un porcentaje de saturación de oxígeno que oscila entre el 11.35% y el 33.07%. Durante la época de invierno se hizo el muestreo 1 en el mes de Septiembre, en este periodo los niveles de oxígeno disuelto fueron los más bajos, especialmente en la laguna del Arnical con un promedio en el porcentaje de saturación del 15.51%, donde el valor más bajo se presentó en el punto de muestreo 2 con tan solo, 1.92mg/L (11.35%OD), siendo este el valor más bajo obtenido a lo largo del periodo de investigación. Durante este periodo la laguna donde el oxígeno disuelto fue mayor fue en la laguna del Medio con un promedio en el porcentaje de saturación del 21.79%, donde el valor más alto se obtuvo en el punto 1 con 4.15mg/L (24.89%OD).

Durante la época de sequía se realizó el muestreo 2 en el mes de Marzo, en este periodo los niveles de oxígeno disuelto fueron los más altos obtenidos en todo el proceso investigativo, la laguna que presentó un mayor valor de

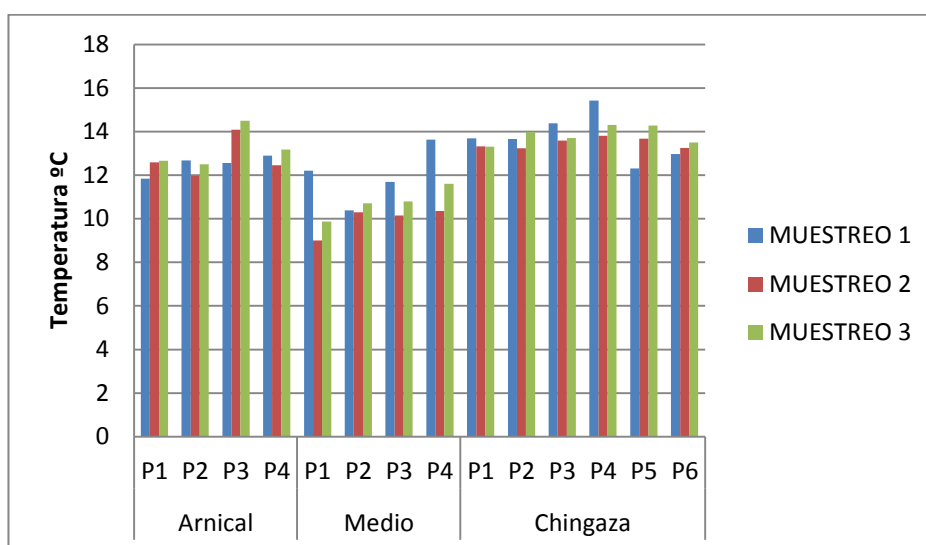
oxígeno disuelto fue la de Chingaza con un promedio de porcentaje de saturación de oxígeno del 26.84%, en esta se presentó un valor de 5.13mg/L (33.28%OD) en el punto 1. La laguna que presentó un menor valor de oxígeno disuelto fue la del Arnical con un porcentaje de oxígeno disuelto del 23.86%, en esta se obtuvo un valor de 3.56mg/L (21.39%) en el punto 1, siendo este el valor más bajo obtenido en este muestreo.

Durante la época de transición se realizó el muestreo 3, en el mes de Abril. En este periodo la laguna que obtuvo los valores más bajos de oxígeno disuelto fue la laguna del Arnical con un porcentaje promedio de oxígeno disuelto del 22.29%, en esta el punto 1 tuvo un valor de 3.55mg/L (221.37%), mientras que la laguna que más valor de oxígeno disuelto tuvo fue la de Chingaza con un promedio de saturación de oxígeno del 27.12%, en esta se presentó un valor de 5.1mg/L en el punto 1, siendo este el valor más alto en el muestreo.

Se evidencia que el oxígeno disuelto es bajo con respecto a valores que naturalmente se encontrarían en agua superficiales sin contaminación, por lo general dicho valor es de <7mg/L o un porcentaje de saturación del 40%. Estos valores tan bajos se debieron a que el agua muestreada se tomó en puntos no propicios como las orillas de las lagunas en vez de tomar las muestras un poco más hacia lo profundo de las lagunas, sin embargo, esto no se podía hacer dado que no se contaba con un bote o yate que nos transportara hacia la parte más profunda de las lagunas, adicional a esto no sabemos con certeza si el multiparametro prestado por Parques Naturales estaba en óptimas condiciones.

5.4.2 Temperatura. En la gráfica se observan los valores registrados a lo largo de los muestreos en las tres lagunas

Gráfico 31. Comparación de la variación de Temperatura en las tres lagunas



Fuente: Propia

La temperatura del agua en las lagunas fluctuó entre los 9°C y los 15.42°C, con un promedio de 12,47°C. Durante el periodo de sequía se presentó la mayor temperatura en el agua con un promedio de temperatura de 12.74°C, mientras que en el periodo de invierno se presentó la menor temperatura con un promedio de 12.07°C.

Durante el muestreo 1, la laguna que presentó una menor temperatura fue la laguna del Medio, esto se pudo dar, ya que, esta laguna es la que se encuentra a una altura mayor, el punto donde se presentó la menor temperatura fue el 1 con 9°C. La laguna que tuvo la mayor temperatura fue la de Chingaza con 13.48°C, esto se pudo haber presentado porque esta laguna es la que se encuentra a menor altura.

Durante el muestreo 2, la laguna que tuvo la temperatura del agua más elevada fue la de Chingaza con una temperatura promedio de 13.48°C, y en el punto 4 fue donde se presentó la mayor temperatura en todo el muestreo con 15.42°C, esto como se mencionó anteriormente se podría deber a que la laguna es la que se encuentra a una altura menor. Por otro lado la laguna que tuvo una temperatura menor fue la del Medio, donde en el punto 3 fue donde se registró el menor valor de temperatura con 11.69°C.

Durante el muestreo 3, la laguna que presento valores más bajos en la temperatura del agua fue la laguna Del Medio con un promedio de 10.74°C, siendo el punto 1 de esta laguna donde se registró el valor más bajo con 9.87°C. La laguna con la temperatura del agua más elevada fue la de Chingaza con un promedio de 13.84°C, siendo el punto 2 el que más valor registró con 13.97°C

En la laguna del Medio fue donde se registraron los valores más pequeños, ya que, como se explicó anteriormente esta laguna se encuentra ubicada a una gran altitud, lo que hace que la temperatura baje, adicional a esto otros factores que influyen en la temperatura son la radiación solar y la precipitación, cabe resaltar que la precipitación en la laguna del Medio es mucho mayor que el brillo solar que hay sobre esta, haciendo así que el cuerpo hídrico tenga bajas temperaturas a lo largo del año. Pese a que en la Laguna de Chingaza fue donde se presentó los mayores valores de temperaturas del agua, este hecho no se da directamente al brillo solar, ya que, las condiciones climáticas en las tres lagunas son similares, lo que si cambia afectando en gran medida todo el entorno es la altura, y así como se mencionó anteriormente la laguna de Chingaza es la que se encuentra a una menor altitud, por lo tanto, la temperatura no era tan baja.

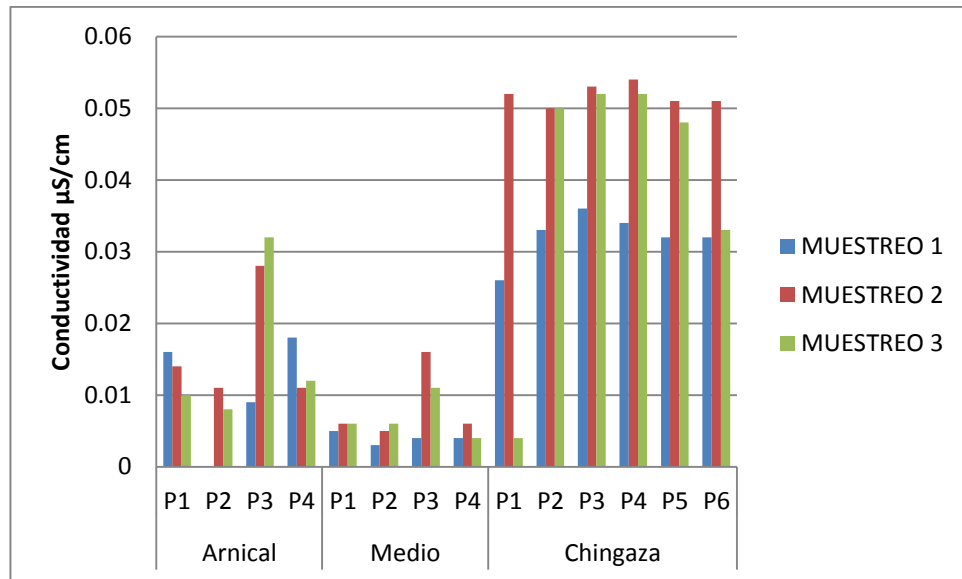
5.4.2 Conductividad.

En las lagunas de alta montaña tropical existe una estrecha relación entre este parámetro con la naturaleza geoquímica del terreno y su variación está determinada por los periodos de precipitaciones y sequías, junto con el estado trófico, variando en ecosistemas oligotróficos entre los 10 y los 50 $\mu\text{s}/\text{cm}$ [67].

Según esto observamos que los datos se ajustan, a lo presentado en otros trabajos realizados en páramos como los de Boyacá.

A continuación en la gráfica podemos observar los valores registrados a lo largo de los muestreos.

Gráfico 32. Comparación de la variación de la Conductividad en las tres lagunas.



Fuente: Propia

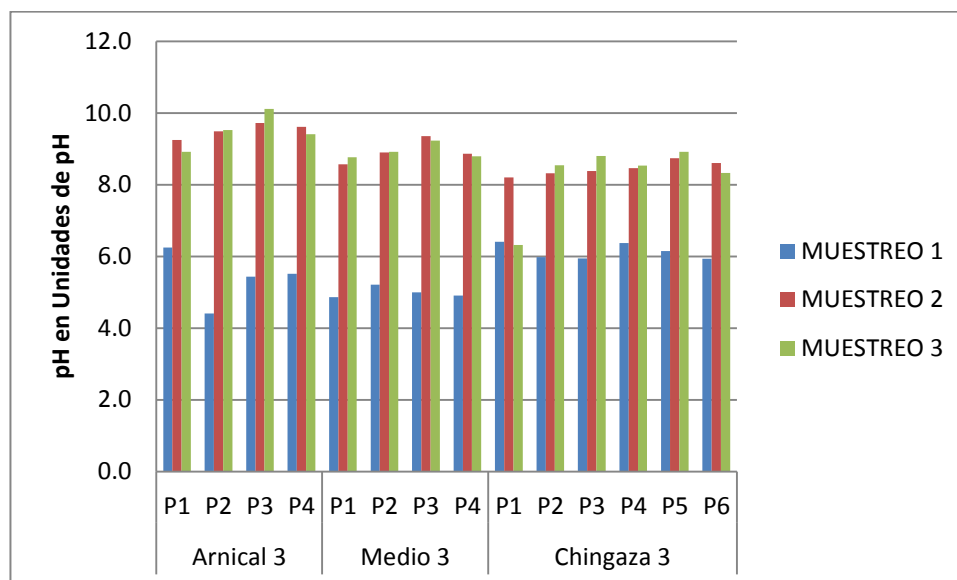
La conductividad registró valores bajos, con un promedio de 0.024 $\mu\text{S/cm}$. Como se evidencia estos son valores pequeños, lo cual indica que las lagunas tienen un bajo movimiento iónico, sin embargo, esto es característico en las lagunas de páramos, ya que, la temperatura en estas lagunas no son muy altas, lo cual hace que la conductividad tampoco lo sea, dado que estos dos parámetros son directamente proporcionales. Adicional a esto como se observa en la gráfica vemos que en la laguna donde se presentaron mayores valores de conductividad fue en la laguna de Chingaza, mientras que los valores más bajos se presentaron en la laguna del Medio.

5.4.3 pH.

En cuerpos hídricos de paramos este varía entre los 5.5 y los 7.5 mientras que en las turberas presenta valores entre los 4 y 5, por acción de los ácidos húmicos formados a partir de la descomposición vegetal. La acidez en las aguas naturales de alta montaña produce cambios drásticos y fatales para muchas especies, ya que, baja la productividad primaria ocasionando condiciones oligotróficas e incremento en la transparencia de los cuerpos hídricos. [67]. Como se observa a lo largo del estudio los valores de pH fueron mucho más altos que los 5, lo cual indica que las lagunas tienden a ser ácidas.

A continuación en la gráfica podemos observar los valores registrados a lo largo de los muestreos.

Gráfico 33. Comparación de la Variación de pH en las tres lagunas.



Fuente: Propia

Los valores en las lagunas fluctuaron entre los 4.41 y los 10.11 con un promedio de 7.8. En el muestreo 1, la laguna que tuvo el valor más alto de pH fue laguna de Chingaza con un promedio de 6.130, donde en el punto 1 se presentó el valor más alto con 6.41, tal como se evidencia en este primer muestreo la alguna de Chingaza se puede clasificar con un pH un poco ácido. Por otro lado la laguna que registró un valor menor fue la del Medio con un promedio de 4.995, siendo el punto 1 de esta laguna la que tuvo el menor valor de muestreo con 4.86, sin embargo, como en la laguna de Chingaza, la laguna del Medio también tiene un pH ácido. En el segundo muestreo los valores de pH incrementaron en todas las lagunas, a tal modo que el pH para este muestreo fue alcalino, la laguna que registró un mayor valor de pH fue la laguna del Arnical con un promedio de 9.518, mientras que la laguna que registró los menores valores fue laguna de Chingaza con 8.450. En el muestreo tres los valores de pH en la laguna siguieron alcalinos, sin embargo, estos fueron un poco más bajos que en el muestreo dos, al igual que en el muestreo anterior la laguna que tuvo valores más altos fue la del Arnical y la laguna que tuvo los valores más bajos fue la de Chingaza.

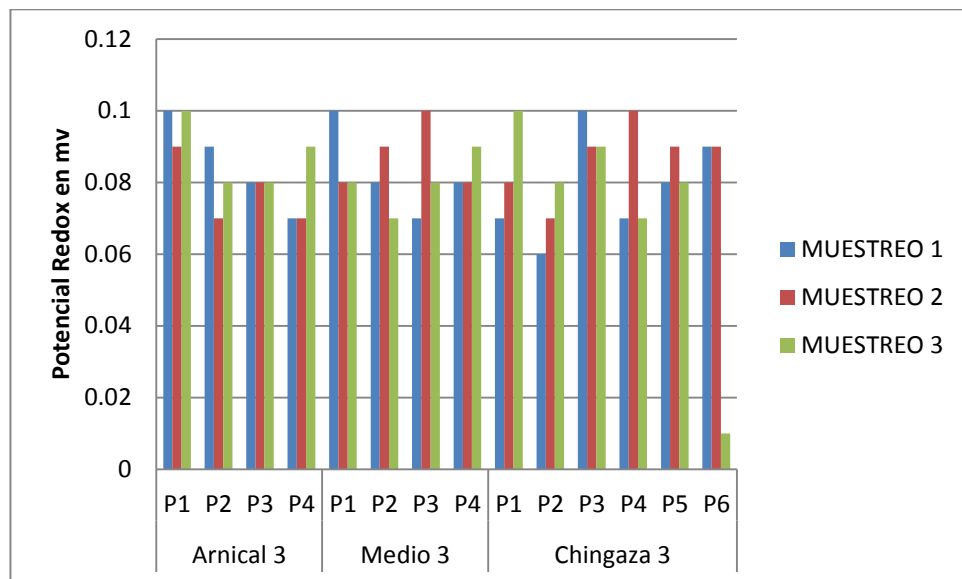
Según Flanagan [68], el pH puede fluctuar entre los 6.5 a los 8 unidades de pH, para la supervivencia de organismos acuáticos, sin embargo, a lo largo del muestreo hay valores en los puntos de que sobrepasan las 8 unidades de pH, esto se pudo haber dado en primer lugar, por error en la medición con el multiparámetro ya que, a medida que se van tomando los datos, estos van bajando a la medida sugerida por Flanagan. Además de esto se puede decir

que las tres lagunas tienden a tener un pH alcalino, en la mayoría de los casos encima de 6, lo cual es propicio para que en el proceso de desnitrificación, el nitrógeno no sea liberado como óxido nítrico y ocasione efecto invernadero.

5.4.4 Potencial Redox.

A continuación en la gráfica podemos observar los valores registrados a lo largo de los muestreos.

Gráfico 34. Comparación de la variación del Potencial Redox en las tres lagunas



Fuente: Propia

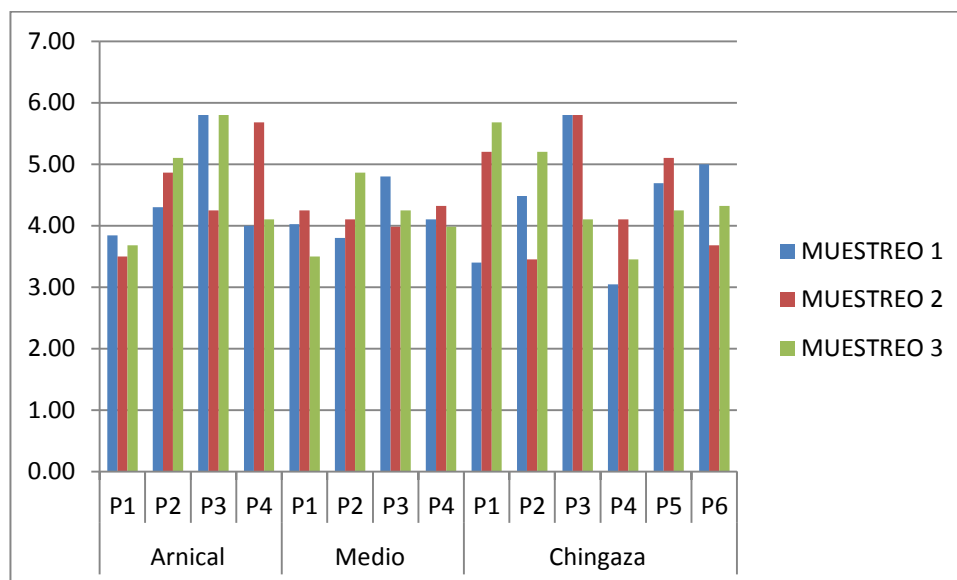
Los valores en las lagunas fluctuaron entre los 145mv a los 424mv con un promedio de 260.04mv. Durante el muestreo 1 fue donde se presentó valores de potencial de óxido-reducción más altos, mientras que en los muestreos 2 y 3, el comportamiento de los valores fue muy parecido. Este parámetro se ve afectado por la concentración de oxígeno disuelto, ya que, a medida que el oxígeno disuelto baja se presenta una reducción en los iones y moléculas importantes para la nutrición de microorganismos

5.4.5 Turbidez.

En cuerpos hídricos de alta montaña los niveles turbidez no tienden a ser muy altos, sin embargo, se presentan debido a la actividad microbiana y vegetativa que hay en estos lagos, además de los sólidos suspendidos que se hacen que el agua no se encuentre con cierto nivel de transparencia. [69]. Lo anterior respalda lo que se evidenció en los datos tomados a lo largo de los muestreos.

A continuación en la gráfica podemos observar los valores registrados a lo largo de los muestreos.

Gráfico 35. Comparación de la Variación de la Turbidez en las tres lagunas.



Fuente: Propia

Los valores en las lagunas fluctuaron entre los 3.05 NTU y los 5.80 NTF con un promedio de 4.41 NTU.

En el muestreo 1, la laguna que presentó valores más altos fue la laguna del Arnical con un promedio de 4.49NTU, mientras que la laguna que registró valores más bajos fue la del Medio con 4.19NTU.

Durante el muestreo 2 la laguna que presentó los valores más altos fue la del Arnical con un promedio de 4.57 NTU y la laguna que presentó los menores valores fue la del Medio.

En el muestreo 3 el comportamiento fue similar al de los otros dos muestreos, la laguna del Arnical fue la que presentó mayor valor con un promedio de 4.67NTU y la del Medio fue la que presentó el menor valor con un promedio de 4.15NTU.

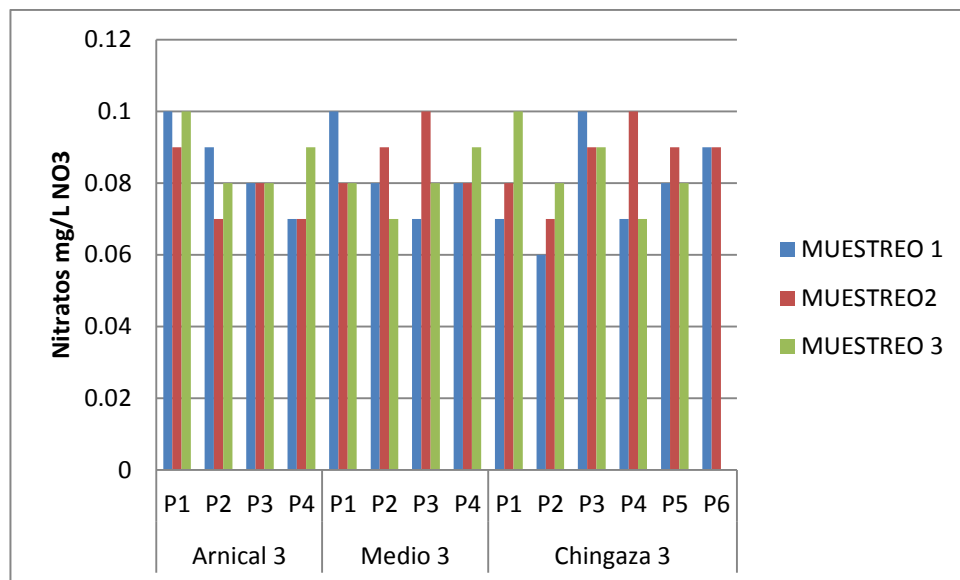
Como se evidencia en la gráfica la turbidez en las tres lagunas tiene un comportamiento muy similar, con esto podemos concluir que las lagunas presentan una buena calidad, ya que, ninguna sobrepasa el valor establecido para la conservación de flora y fauna según el artículo 36 del decreto 1594 de 1984, el cual es 10 NTU. Sin embargo, las lagunas presentan esta turbiedad debido a varios factores como el crecimiento de algas, y el material orgánico que se encuentran sobre todo en las orillas de las lagunas, lugar donde se hicieron los muestreos para esta investigación.

5.4.6 Nitratos.

En aguas superficiales la concentración de nitratos es por lo general baja, lo cual indica cómo se encuentra el agua respecto a su calidad teniendo en cuenta que a menor cantidad de concentración de nitratos, la calidad de agua va a ser mejor. [69]. Dicho lo anterior se evidencia que la calidad de agua en las lagunas es buena, dado, que los niveles de nitratos fue baja [70] a lo largo de los muestreos en las tres lagunas.

A continuación en la gráfica podemos observar los valores registrados a lo largo de los muestreos.

Gráfico 36. Comparación de la variación de nitratos en las tres lagunas.



Fuente: Propia

Los valores en las lagunas fluctuaron entre los 0.07mg/L NO₃ y los 0.1mg/L NO₃ con un promedio de 0.08 mg/L NO₃. Durante el muestreo 1, la laguna que presentó valores más altos fue la laguna del Arnical con un promedio de 0.085mg/L NO₃, mientras que la laguna que presentó valores más bajos fue la laguna de Chingaza con un promedio de 0.078mg/L NO₃. En el muestreo 2 la laguna que registró valores más bajos fue la del Arnical con un promedio de 0.077mg/L NO₃, mientras que la laguna que registró los valores más altos fue la de Chingaza con un promedio de 0.086mg/L NO₃. En el muestreo 3 la laguna que presentó valores más altos fue la del Arnical con un promedio de 0.087mg/L NO₃, mientras que la laguna que presentó los valores más bajos fue la de Chingaza con un promedio de 0.0741mg/L NO₃. Los valores de nitratos en las tres lagunas se pueden considerar como bajos, lo cual podría indicar que hay poca materia orgánica en estas lagunas, adicional a esto se presumen que

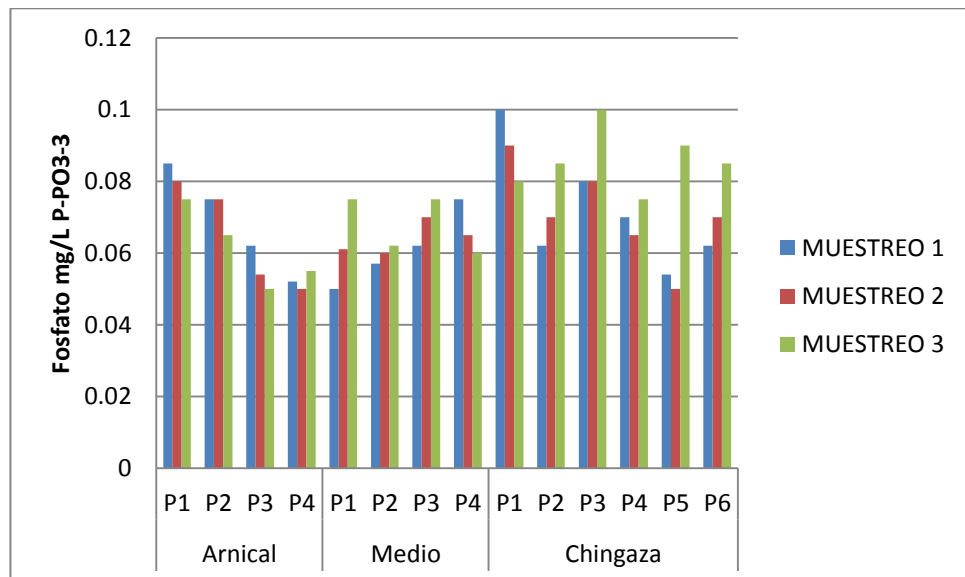
las tres lagunas tienen poco enriquecimiento de nutrientes, especialmente de nitrógeno.

5.4.7 Fosfatos.

En aguas superficiales la concentración de fosfatos es por lo general baja [70], lo cual indica que los niveles de eutrofización son bajos. [69]. Dicho lo anterior se evidencia que la calidad de agua en las lagunas es buena, dado, que los niveles de fosfatos es baja a lo largo de los muestreos en las tres lagunas.

A continuación en la gráfica podemos observar los valores registrados a lo largo de los muestreos.

Gráfico 37. Comparación de la variación de fosfatos en las tres lagunas.



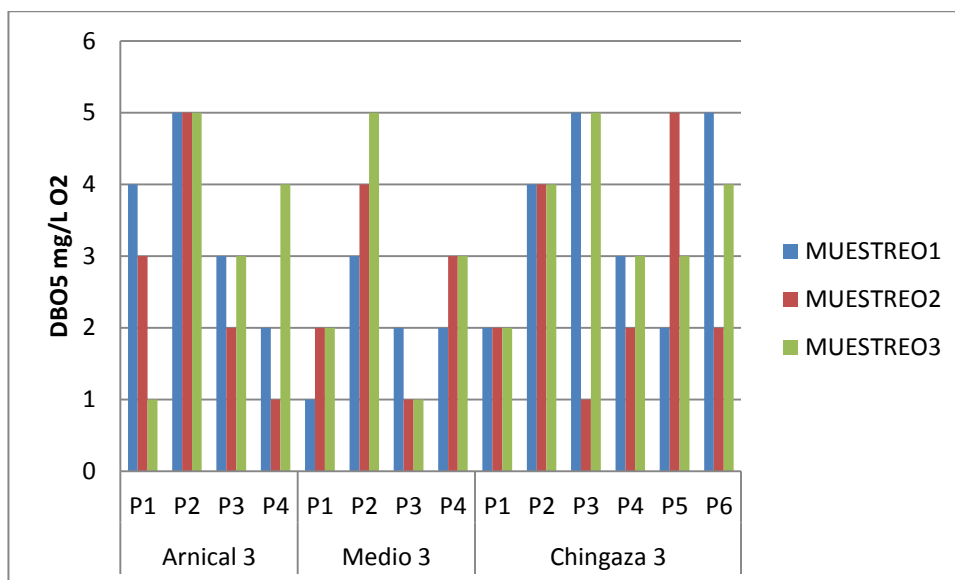
Fuente: Propia

Los valores de las lagunas fluctuaron entre los 0.06mg/L P-PO₃-3 y 0.1mg/L P-PO₃-3 con un promedio de 0.085mg/L P-PO₃-3. Durante el muestreo 3 se registró los valores más altos de fosfatos, siendo en la laguna de Chingaza donde se registraron los valores más altos durante este muestreo con un promedio de 0.085mg/L P-PO₃-3, por otro lado en el muestreo 2 fue donde se registraron los valores más bajo con un promedio de 0.067 mg/L P-PO₃-3, siendo en la laguna del Medio donde se registraron los valores más bajos durante este periodo. Como se evidencia en la gráfica los valores de fosfatos son bajos, esto al igual que en el parámetro anterior indica que las lagunas no están muy eutrofizadas. A lo largo de todos los muestreos la laguna que tuvo una mayor cantidad de fosfatos fue la laguna de Chingaza, lo cual indica que en esta podría haber más materia orgánica, esto se puede dar gracias a su fácil acceso tanto a animales como a seres humanos

5.4.8 DBO₅.

A continuación en la gráfica podemos observar los valores registrados a lo largo de los muestreos.

Gráfico 38. Comparación de la variación de DBO₅ en las tres lagunas



Fuente: Propia

Los valores en las lagunas fluctuaron entre 1mg/L O₂ y 5mg/L O₂ con un promedio de 2.90 mg/L O₂. Durante el muestreo 1 la laguna que registró valores más altos fue la laguna del Arnical con un promedio de 3.5 mg/L O₂, mientras que la laguna que presentó los valores más bajo fue la laguna del Medio con un promedio de 2mg/L O₂. En el muestreo 2 la laguna que registró valores más altos fue la laguna de Chingaza con un promedio de 2.66mg/L O₂, y la laguna que registró los valores más bajos fue la del Medio con un promedio de 2.5mg/L O₂. En el muestreo 3 la laguna que presentó valores más bajo fue la laguna del Medio de con un promedio de 2.75 mg/L O₂, mientras que la laguna que presentó valores más alto fue la laguna de Chingaza con un promedio de 3.5mg/L O₂. Como se evidencia en la gráfica el comportamiento de DBO₅ para las tres lagunas es similar, presentando en todas valores bajos, lo cual indica que en estas lagunas la concentración de materia orgánica es muy poca. [70]

5.5 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Se hizo un análisis de componentes principales a cada una de las lagunas para poder determinar cuáles son los parámetros físico-químicos que tienen mayor incidencia en el comportamiento de cada una de estas lagunas. Cabe resaltar que para que la asociación lineal entre variables sea buena debe tener al menos un 90% de extracción. A continuación se muestra el ACP para cada una de las lagunas.

5.5.1 Laguna del Arnical

Tabla 13 Prueba de adecuación muestral y esfericidad

Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin.		,220
	Chi-cuadrado aproximado	68,723
Prueba de esfericidad de Bartlett	GI	36
	Sig.	,001

Fuente: Propia en el programa libre spss

La medida de adecuación muestral KMO indica la incidencia de la varianza en los datos analizados, en este caso esta medida es un poco baja, lo cual nos indica que los datos no tuvieron una reducción considerable, sin embargo, con la prueba de esfericidad de Bartlett nos indica que hay entre los datos una correlación significativa

Tabla 14 Varianza total explicada de cada factor

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	3,594	39,931	39,931	3,594	39,931	39,931	2,468	27,418	27,418
2	2,053	22,814	62,744	2,053	22,814	62,744	2,131	23,682	51,101
3	1,203	13,363	76,107	1,203	13,363	76,107	1,926	21,402	72,502
4	1,069	11,878	87,985	1,069	11,878	87,985	1,393	15,483	87,985
5	,470	5,226	93,211						
6	,348	3,868	97,079						
7	,173	1,923	99,001						
8	,087	,966	99,967						
9	,003	,033	100,000						

Fuente: Propia en el programa libre spss

En esta tabla se presenta los valores de los factores extraídos y el porcentaje de la varianza total explicada para cada uno de los factores, los cuales son la representación de 9 parámetros fisicoquímicos. Estos factores se distribuyeron en cuatro componentes principales explicando el 87.98% del total de la varianza para la laguna del Arnical, en el primer componente se explicó el 39.93%, en el segundo el 22,81%, en el tercer el 13.36% y en el cuarto 11,87% de la varianza. Como se evidencia en los primeros dos componentes es donde se explica la mayor cantidad de factores que afectan la laguna. Sin embargo, para hacer una mejor interpretación del análisis de los factores, los componentes fueron rotados con el fin de apreciar la correlación que hay entre los mismos.

Tabla 15 Matriz de componentes rotados

	Componente			
	1	2	3	4
OD	,396	,061	,780	-,460
Temp	,119	,943	,100	-,067
Conductividad	,039	,841	,223	-,171
pH	,038	,240	,951	-,014
Redox	,600	-,264	-,548	-,405
Turbidez	,817	,187	,044	,249
Nitratos	-,903	-,002	-,154	,138
Fosfatos	-,671	-,549	-,119	,333
DBO5	,016	-,260	-,114	,889

Fuente: Propia en el programa libre spss

En el primer componente los factores que tuvieron una importancia positiva alta fueron el potencial de redox(0,6) y la turbidez(0,817), mientras que la mayor importancia negativa estuvo relacionada con los fosfatos (-0.671) y los nitratos(-0.903), siendo este último el factor que tiene una mayor incidencia en la laguna pese a las bajas concentraciones de nutrientes que en esta hay, sin embargo, pese a la poca cantidad de nitratos que se presentan en el cuerpo de agua, esta origina una cantidad baja de materia orgánica lo que ocasiona la turbidez en el agua.

En el segundo componente los factores que tuvieron la mayor importancia positiva fueron la temperatura (0,943) y la conductividad (0,841) siendo la temperatura el segundo componente más relevante en el cuerpo hídrico.

En el tercer componente los factores importantes fueron el pH(0,951) y el oxígeno disuelto (0,780) y en el cuarto componentes el factor más importante fue la DBO5(0.0889), lo cual significaría que hay una cantidad considerable de materia orgánica en descomposición. En este orden de ideas los parámetros fisicoquímicos que tienen una mayor incidencia en la laguna del Arnical son los nitratos, la temperatura, el pH y la DBO5, lo cual indica que en esta laguna la contaminación no puede ser muy alta, salvo los niveles normales de

contaminación por los procesos que en esta se lleva como por ejemplo la materia orgánica que se puede presentar.

5.5.2 Laguna del Medio.

Tabla 16 Prueba de adecuación muestral y esfericidad

Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin.		,380
Prueba de esfericidad de Chi-cuadrado aproximado		69,531
Bartlett	gl	36
	Sig.	,001

Fuente: Propia en el programa libre spss

La medida de adecuación muestral KMO indica la incidencia de la varianza en los datos analizados, en este caso esta medida es un poco baja, lo cual nos indica que los datos no tuvieron una reducción considerable, sin embargo, con la prueba de esfericidad de Bartlett nos indica que hay entre los datos una correlación significativa

Tabla 17. Varianza total explicada de cada factor

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	3,532	39,243	39,243	3,532	39,243	39,243	3,035	33,722	33,722
2	2,339	25,986	65,229	2,339	25,986	65,229	2,818	31,311	65,034
3	1,275	14,172	79,401	1,275	14,172	79,401	1,293	14,367	79,401
4	,925	10,275	89,676						
5	,583	6,479	96,155						
6	,170	1,889	98,044						
7	,119	1,318	99,362						
8	,046	,508	99,870						
9	,012	,130	100,000						

Fuente: Propia en el programa libre spss

En esta tabla se presenta los valores de los factores extraídos y el porcentaje de la varianza total explicada para cada uno de los factores, los cuales son la representación de 9 parámetros fisicoquímicos. Estos factores se distribuyeron en tres componentes principales explicando el 79.40% del total de la varianza para la laguna del Medio, en el primer componente se explicó el 39.24%, en el segundo el 25,98% y en el tercer el 14,17% de la varianza. Como se evidencia en los primeros dos componentes es donde se explica la mayor cantidad de factores que afectan la laguna. Sin embargo, para hacer una mejor

interpretación del análisis de los factores, los componentes fueron rotados con el fin de apreciar la correlación que hay entre los mismos.

Tabla 18 Matriz de componentes

	Componente		
	1	2	3
OD	,837	,434	,016
Temp	-,582	,553	,401
Conductividad	,824	,036	,251
pH	,751	-,588	,021
Redox	-,812	,544	-,050
Turbidez	-,397	-,481	,022
Nitratos	,545	,687	-,301
Fosfatos	,015	-,208	,926
DBO5	-,370	-,674	-,314

Fuente: Propia en el programa libre spss

En el primer componente los factores que tuvieron una importancia positiva alta fueron el oxígeno disuelto (0,837) y la conductividad (0,817), mientras que la mayor importancia negativa estuvo relacionada únicamente con el potencial de redox (-0,812) asociado a poca actividad de óxido-reducción en la laguna, esto se puede dar principalmente a que no hay suficiente oxígeno disuelto que sirva para poder generar el proceso de la oxido-reducción en la laguna, lo que a su vez afecta la conductividad de la misma ya que, el movimiento electrones no es bueno.

En el segundo componente el factores que tuvo la mayor importancia positiva fue nitratos (0,687) y la importancia negativa fue DBO₅ (-0.674), sin embargo, en este componente estos dos parámetros tienen valores a penas aceptables para influir de forma significativa en la laguna, sin embargo, en este componente predominan los nitratos, pese a su baja concentración en la laguna.

En el tercer componente el factor más importante fue fosfato con (0.926), lo cual indica que tiene una gran relevancia. En este orden de ideas los parámetros fisicoquímicos que tienen una mayor incidencia en la laguna del Medio son el oxígeno disuelto, los nitratos y los fosfatos, lo cual indica que en esta laguna no hay un grado alto de contaminación, predominan los nutrientes como un factor importante y la concentración de oxígeno disuelto.

5.5.3 Laguna de Chingaza.

Tabla 19 Prueba de adecuación muestral y esfericidad

Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin.		,542
Chi-cuadrado aproximado		51,535
Prueba de esfericidad de Bartlett	gl	36
	Sig.	,045

Fuente: Propia en el programa libre spss

La medida de adecuación muestral KMO indica la incidencia de la varianza en los datos analizados, en este caso esta medida es un poco baja, lo cual nos indica que los datos no tuvieron una reducción considerable, y la prueba de esfericidad de Bartlett lo respalda ya que, la correlación de los datos no fue tampoco muy buena.

Tabla 20 Varianza total explicada de cada factor

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	2,771	30,792	30,792	2,771	30,792	30,792	2,661	29,567	29,567
2	1,939	21,540	52,332	1,939	21,540	52,332	1,837	20,407	49,973
3	1,229	13,657	65,988	1,229	13,657	65,988	1,293	14,368	64,341
4	1,117	12,411	78,400	1,117	12,411	78,400	1,265	14,058	78,400
5	,651	7,234	85,634						
6	,545	6,059	91,692						
7	,489	5,431	97,123						
8	,164	1,818	98,941						
9	,095	1,059	100,000						

Fuente: Propia en el programa libre spss

En esta tabla se presenta los valores de los factores extraídos y el porcentaje de la varianza total explicada para cada uno de los factores, los cuales son la representación de 9 parámetros fisicoquímicos. Estos factores se distribuyeron en cuatro componentes principales explicando el 78.40% del total de la varianza para la laguna del Medio, en el primer componente se explicó el 30.79%, en el segundo el 21.54%, en el tercer el 13,65% y en el cuarto el 12.41% de la varianza. Como se evidencia en los primeros dos componentes es donde se explica la mayor cantidad de factores que afectan la laguna. Sin embargo, para hacer una mejor interpretación del análisis de los factores, los

componentes fueron rotados con el fin de apreciar la correlación que hay entre los mismos.

Tabla 21 Matriz de componentes rotados

	Componente			
	1	2	3	4
OD	,340	,492	-,512	,126
Temp	,055	-,304	,347	,695
Conductividad	,915	-,191	,148	-,051
pH	,924	,037	-,129	,158
Redox	-,912	-,160	,089	-,045
Turbidez	-,109	,830	,049	-,167
Nitratos	,063	,851	,026	,028
Fosfatos	,064	,088	-,219	,841
DBO5	,030	,135	,902	,011

Fuente: Propia en el programa libre spss

En el primer componente los factores que tuvieron una importancia positiva alta fueron el pH (0,924) y la conductividad (0,817), mientras que la mayor importancia negativa estuvo relacionada con el potencial de redox (-0.912), asociado a que hay poco procesos de óxido reducción en esta laguna, sin embargo, el factor más importante en este componente es el pH, ya que, es donde los valores más altos durante toda la investigación, sin embargo, esto se puede dar a que es la laguna que se ve más afectada por acciones antrópicas.

En el segundo componente los factores que tuvieron la mayor importancia positiva fueron la turbidez (0,830) y los nitratos (0,841) siendo los nitratos el segundo componente más relevante en el cuerpo hídrico.

En el tercer componente el factor más importantes fue la DBO₅ (0,902) lo cual indica que hay materia orgánica en descomposición y en el cuarto componente los factores más importantes fueron los fosfatos (0.841) y la temperatura (0.695). En este orden de ideas los parámetros fisicoquímicos que tienen una mayor incidencia en la laguna de Chingaza son el pH, los nitratos, la DBO₅ y los fosfatos lo cual indica que en esta laguna hay más procesos biológicos que en las otras dos lagunas, adicional a esto los valores de los parámetros fisicoquímicos en esta laguna pueden variar debido a la actividad antrópica que en ella hay.

5.6 EVALUACIÓN DE ÍNDICES BIOLÓGICOS DE CALIDAD DE AGUA

5.6.1 Índice BMWP/col. Y ASTP.

Las familias de macroinvertebrados colectadas en las diferentes lagunas definieron la calidad del agua para cada una de ellas, las tablas (17, 18 y 19). Muestran los puntajes para cada familia encontrada en el estudio y el puntaje total BMWP/Col junto con el puntaje ASPT indicando de esta manera la calidad del agua. Se utilizó la asignación de valores de indicación calculados para cada familia en estudios realizados por Riss, Ospina y Gutiérrez [71] para la sabana de Bogotá y los valores propuestos en la adaptación realizada del BMWP/Col para macroinvertebrados en Colombia, publicados en el libro de Roldán (2003) donde se designa un valor establecido para cada familia identificada [38] (ver tabla ANEXO I) y se realiza la suma de los puntajes de todas las familias, para así determinar el puntaje total BMWP. Así mismo se calculó el puntaje promedio por taxón ASPT (Average Score per Taxon), siendo éste el puntaje total BMWP dividido entre el número de los taxa, es un índice particularmente valioso para la evaluación del sitio. Los valores ASPT van de 0 a 10 (ver ANEXO J). [67] [27]

Tabla 22. Resultados del índice BMWP/Col y ASTP para la laguna el Arnical

LAGUNA ARNICAL			
FAMILIAS	PUNTAJES	# FAMILIAS	PUNTAJE TOTAL
Lestidae	8	1	8
Haylellidae, Baetidae, Corixidae, Notonectidae, Coenagrionidae, Planariidae	7	6	42
Aeshnidae	6	1	6
Lumbricidae, Sphaeriidae	4	2	8
Ceratopogonidae, Erpobdellidae, Physidae	3	3	9
Chironomidae	2	1	2
TOTAL INDICE BMWP/Col			75
TOTAL TAX		14	
TOTAL INDICE ASTP		5,357142857	
AGUAS LIGERAMENTE CONTAMINADAS			

Fuente: Propia

Tabla 23. Resultados del índice BMWP/Col y ASTP para la laguna del Medio

LAGUNA DEL MEDIO			
FAMILIAS	PUNTAJES	# FAMILIAS	PUNTAJE TOTAL
Gyrinidae	9	1	9
Lestidae	8	1	8
Haylellidae, Corixidae, Notonectidae, Planariidae	7	4	28
Aeshnidae	6	1	6
Lumbricidae	4	1	4
Erpobdellidae, Glossiphoniidae	3	2	6
TOTAL INDICE BMWP/Col.			61
TOTAL TAX		10	
TOTAL INDICE ASTP			6,1
AGUAS LIGERAMENTE CONTAMINADAS			

Fuente: Propia

Tabla 24. Resultados del índice BMWP/Col y ASTP para la laguna Chingaza

LAGUNA CHINGAZA			
FAMILIAS	PUNTAJES	# FAMILIAS	PUNTAJE TOTAL
Gyrinidae	9	1	9
Lestidae	8	1	8
Haylellidae, Corixidae, Notonectidae, Coenagrionidae, Planariidae	7	6	42
Aeshnidae	6	1	6
Lumbricidae, Sphaeriidae	4	2	8
Ceratopogonidae, Erpobdellidae, Physidae	3	3	9
Chironomidae	2	1	2
TOTAL INDICE BMWP/Col			84
TOTAL TAX		14	
TOTAL INDICE ASTP			6
AGUAS LIGERAMENTE CONTAMINADAS			

Fuente: Propia

A continuación se presentan los resultados puntuales de índice BMWP/Col para cada laguna (Tabla 20), y el índice ASTP (Tabla 21), especificando el puntaje total del índice, la calidad y el significado de esa calidad según su clase.

Tabla 25. Valores de BMWP/Col para las lagunas Arnical, del Medio, Chingaza pertenecientes al Parque Nacional Natural Chingaza

LAGUNA	BMWP/Col	CLASE	CALIDAD	SIGNIFICADO
Arnical	75	II	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas
Medio	61	II	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas
Chingaza	84	II	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas

Fuente: Propia

Como se puede observar en la tabla, las tres lagunas en general presentaron aguas ligeramente contaminadas de calidad aceptable, en las que las condiciones de los ecosistemas pueden ser limitantes en el desarrollo de diferentes organismos con necesidades ecológicas más específicas y sensibles. Estos organismos son de las familias correspondientes a los órdenes (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera), los cuales son macroinvertebrados de especial indicación de calidad del agua debido a su sensibilidad a los contaminantes, y en las diferentes lagunas se presentaron familias como Baetidae y Gyrinidae las cuales viven por lo regular en aguas corrientes, limpias y bien oxigenadas. [72]

El Orden Plecóptera es el más exigente de todos los grupos por vivir en aguas limpias y con muy alto nivel de oxígeno. El género más extendido a nivel mundial es *Anacroneria sp.* y posiblemente sea el más común en América del Sur. [72]

Tabla 26. Valores de ASTP para las lagunas Arnical, del Medio, Chingaza pertenecientes al Parque Nacional Natural Chingaza

LAGUNA	ASTP	CLASE	CALIDAD	SIGNIFICADO
Arnical	5.3	III	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas
Medio	6.1	III	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas
Chingaza	6	III	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas

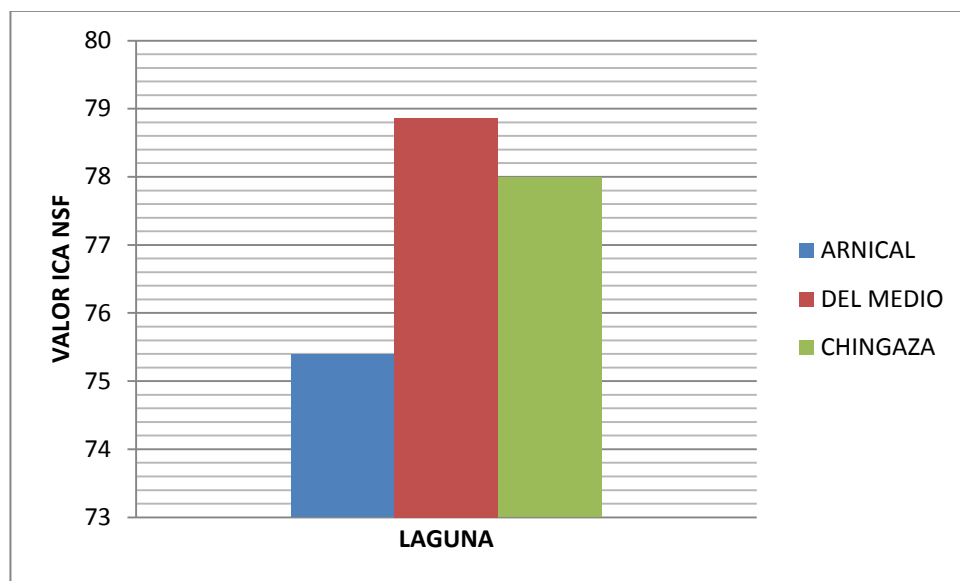
Fuente: Propia

En la tabla de resultados del índice ASTP se observan aguas moderadamente contaminadas de calidad dudosa para las tres lagunas del parque, en las que según el índice, el establecimiento de organismos con rangos amplios de tolerancia a la contaminación se está viendo favorecido.

Aunque llama la atención los valores de los índices anteriores, hay diferentes causas que pueden ser determinantes en el grado de “contaminación” de las lagunas, tales como la cantidad de materia orgánica en descomposición ya sea por vegetación, procesos eutróficos del cuerpo de agua e incluso la misma materia producida por los macroinvertebrados, ya que las diferentes lagunas aquí estudiadas no presentan intervención antrópica y son de origen glaciar.

5.7 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE ICA_{NSF} DE CALIDAD DE AGUA

Gráfico 39. Comparación índice ICANSF de las lagunas Arnical, del Medio y Chingaza



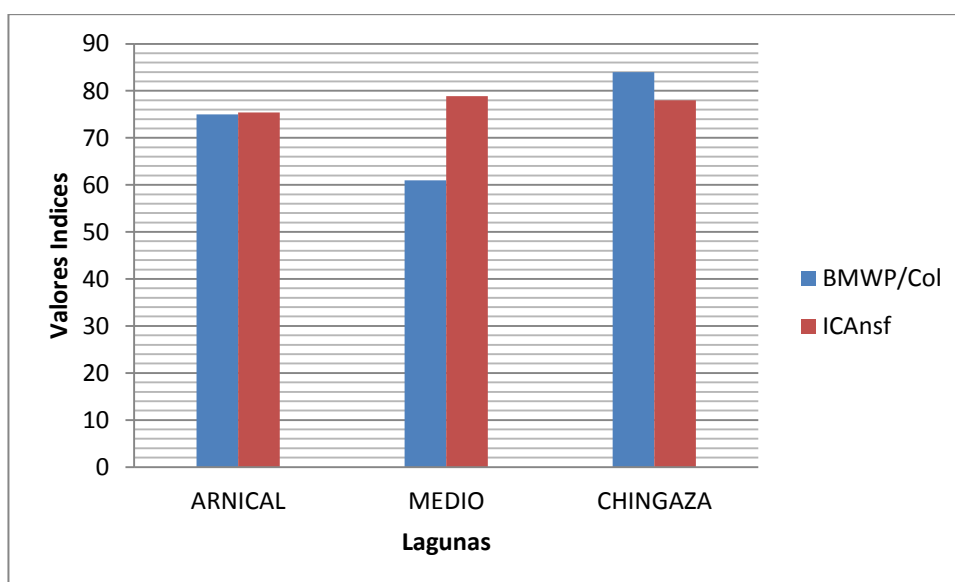
Fuente: Propia

El índice NSF se usa para determinar la calidad de agua para el consumo humano. Como se evidencia en la gráfica las tres lagunas están en el rango de 71-90 siendo este un rango bueno en cuanto a la calidad del. En la laguna del Arnical se observó que la calidad del agua está en un rango de 71-90, obteniendo una clasificación como buena, con un puntaje de 75.39. En la laguna del Medio el rango fue el mismo que en el Arnical, la diferencia está en que esta laguna tiene valor mayor, siendo este 78.86 y la laguna de Chingaza obtuvo el mismo rango pero con un valor de 77.99. Con esto se evidencia que la calidad de agua en las tres lagunas es buena y apta para el consumo

humano, lo cual es una característica propia de los cuerpos hídricos en alta montaña. Adicional a esto en las tres lagunas se presentaron valores bajos de fosfatos y nitratos, lo cual ocasiona que en las mismas no haya procesos de eutrofización y los demás parámetros se comportaron según lo esperado dadas las condiciones ecológicas y ambientales del ecosistema. Por otro lado cabe recordar que estas lagunas, principalmente el Arnical y la del Medio, tienen una intervención muy baja por actividades antrópicas, esto se da gracias a que estas lagunas se encuentran en un parque catalogado como área protegida, lo cual favorece precisamente a que la calidad de estas sea buena, beneficiando a los seres vivos que adquieren los servicios de estas lagunas. Con esto además se contribuye a la preservación de la flora y fauna, ya que, al presentar todas las lagunas esa buena calidad, no hay razón para que se cause alguna alteración al ecosistema propio ni a los alrededores.

5.8 COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA_{NSF} Y BMWP/col.

Gráfico 40. Comparación del índice BMWP/Col y el ICA_{NSF}



Fuente: Propia

Finalmente, en las diferentes lagunas se obtuvieron valores que indican buena calidad del agua, aunque se obtuvo un promedio de abundancia que no es muy alta, los organismos recolectados determinaron que hay moderada contaminación, que probablemente se mantenga estable o al contrario su calidad mejore. Por lo que la presencia de familias intolerantes a la contaminación, indican que es posible cambios ecológicos positivos en las lagunas objeto de estudio, estos cambios en la biodiversidad que al mismo tiempo indican una determinada calidad de agua pueden estar relacionados con diferentes actividades, ya sean turísticas o antrópicas, así como también los cambios en el paisaje y el aumento en los valores de los parámetros químicos. [73]

Como se puede observar en el gráfico, lo anterior sustenta el hecho de que los índices biológicos de calidad de agua están estrechamente relacionados con los índices fisicoquímicos, en este caso ICA_{NSF} debido a que tienen un comportamiento similar, relacionando el metabolismo y desarrollo de los macroinvertebrados con el estado físico, químico y biológico del ecosistema. [73]

[74] En un estudio de bioindicación de la calidad del agua del río Cali, en el Valle del Cauca con macroinvertebrados, afirma que existe una correlación positiva fuerte entre el ICA y el índice BMWP con correlaciones de 0.94, demostrando dependencia de los organismos a condiciones fisicoquímicas óptimas.

En los ecosistemas acuáticos variables como temperatura y sólidos disueltos, son las encargadas de afectar o hacer fluctuar el gradiente ambiental de manera considerable, estas están relacionadas de manera natural pero en mayor medida, determinadas por la actividad antrópica [75]. Con base en los resultados obtenidos anteriormente en cada uno de los índices BMWP/Col e ICA_{NSF} se afirma que las variables anteriormente mencionadas ejercen poca presión ambiental en las lagunas Arnical, del Medio y Chingaza. Teniendo en cuenta que los sólidos disueltos arrojaron valores casi nulos y que los cambios de temperatura están ya determinados por la zona estudiada (Páramo), esta última se define como uno de los factores ambientales más importantes que influyen en la proliferación y supervivencia de los microorganismos. A medida que la temperatura aumenta, aumentan también sus reacciones enzimáticas y las tasas de reproducción. [67]

En conclusión, la vida acuática de macroinvertebrados sensibles a la contaminación en cada una de las laguna es diversa y abundante ya que según el BMWP/Col. El cual varía entre 62 y 85 determinó un puntaje de aguas ligeramente contaminadas, por lo anterior y teniendo en cuenta que valores entre 40 y 70 del ICA_{NSF} permiten el sostenimiento de especies resistentes, y en valores sobre 70 la vida acuática es abundante con especies sensibles (intolerantes a la contaminación) [76], se puede afirmar que los cuerpos de agua presentan condiciones de calidad que podrían ser aptas para el consumo.

6. CONCLUSIONES

- La complementariedad de los métodos biológicos con los métodos fisicoquímicos permite una mayor y mejor utilización de los recursos financieros para la gestión de los recursos hídricos ya que en los procesos de evaluación de la calidad de las aguas, los organismos pueden reflejar diferentes alteraciones en el ecosistema, complementando la precisión y determinación de las sustancias contaminantes y cuantificación de las mismas logrado con los métodos fisicoquímicos.
- Por medio de los estudios realizados en las tres lagunas, se puede concluir que tienen un comportamiento similar con respecto al oxígeno disuelto desarrollado en ellas. Presentan valores medios los cuales afirman una condición mesotrófica-oligotrófica, lo suficiente para el desarrollo de macroinvertebrados con sensibilidad a los contaminantes. Lo anterior se pudo comprobar por medio de los índices Shannon-Wiener (Diversidad) y Margalef (Riqueza) ya que claramente se evidencia riqueza de organismos y alta diversidad que conlleva a una calidad de agua media.
- El índice BMWP/Col. Probó ser un indicador robusto en el momento de dar un concepto de la calidad del agua de las lagunas Arnical, del Medio y Chingaza, debido a que presentó valores correspondientes a aguas ligeramente contaminadas en los tres cuerpos de agua, presentando niveles de materia orgánica relativamente bajos, determinando así la nula intervención antrópica, atribuyendo los aportes de materia orgánica a elementos como la vegetación y los propios residuos de los procesos metabólicos de los organismos que allí habitan.
- El índice ICA_{NSF} muestra tendencias similares al índice biológico BMPW/Col. en el espacio, aunque, para poder determinar mediante un análisis multivariado, relaciones entre variables físicas, químicas y biológicas como es el caso de los macroinvertebrados, se requieren monitoreos robustos, con más soporte y ayuda experimental, donde se evalúen detenidamente variables espacio-temporales de tal manera que resulten datos sólidos que aporten a la hora de tomar decisiones acerca de la planificación del uso del recurso hídrico.

7. RECOMENDACIONES

- Revisando la bibliografía se evidencio que en el Parque Nacional Natural Chingaza no hay estudios sobre la caracterización de la comunidad de macroinvertebrados en las lagunas del Medio, el Arnical y en Chingaza, por lo que es de vital importancia desarrollar más estudios investigativos en el Parque, ya que, este Parque es uno de los ecosistemas más importantes del país.
- Que el Parque Nacional Natural Chingaza cuente con más elementos que faciliten el proceso de investigación dentro del Parque con el fin de poder realizar un mejor trabajo y mucho más ágil.
- La Universidad Santo Tomás debería contar con los instrumentos y reactivos necesarios para poder realizar un adecuado análisis de los parámetros fisicoquímicos de agua.

8. GLOSARIO

- **Biodiversidad:** Es el número de especies que se encuentran en un ecosistema, esta es dinámica por lo que pueden variar en tiempo y espacio en relación de varios factores como: la extensión de las especies, y su evolución en el tiempo y espacio. Hoy en día, el número de especies no es todo en la biodiversidad, sino, que también tienen en cuenta todos los niveles de organización biológica. [22]
- **Bioindicador:** Indicador cuya presencia da información de algunas características ecológicas del medio ambiente o el impacto de ciertas actividades sobre el mismo, estos pueden ser una especie de hongo, animal o vegetal o un grupo de especies. [77]
- **Conductividad del agua:** Es la habilidad de conducir calor, electricidad o sonido. Sus unidades son Siemens por metro (S/m). A medida que aumenta la concentración de iones también aumenta la conductividad. [78]
- **DBO₅:** Es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable existente en agua durante 5 días y a 20°C.
- **Índice Biological Monitoring Working Party score (BMWP):** Método para determinar la calidad del agua por medio de la bioindicación usando macroinvertebrados. Este método es cualitativo ya que, solo depende de la presencia- ausencia de los organismos y su aplicación es fácil, ya que, se clasifican los macroinvertebrados hasta familia y dependiendo de los resultados de la clasificación se les da un valor de 1 a 10 según lo establecido por este método.
- **Índice de Calidad de Agua:** “Es una expresión simple de una combinación compleja de un número de parámetros, los cuales sirven como una medida de la calidad del agua” [79]
- **Macorinvertebrados Acuáticos:** Aquellos organismo que se pueden identificar fácilmente a simple vista, ya que, tienen un tamaño superior a los 0.5mm de longitud. Estos organismos vive principalmente en ríos y lagos, en el fondo, rocas, troncos sumergidos, en la vegetación flotante o se encuentran nadando. [12].
- **Oxígeno Disuelto (OD):** Cantidad de oxígeno que se encuentra en el agua sin combinarse con el hidrogeno ni cualquier otro elemento y es de suma importancia para la vida, se mide en miligramos por litro (mg/L) [80]
- **Potencial Redox:** Es una medida de la actividad de los electrones, su unidad de medida es voltio (V).
- **Turbidez:** Falta de transparencia en un líquido por la presencia de sólidos suspendidos, fitoplancton, crecimiento de algas. Su unidad es NTU (unidades nefelométricas de turbidez). [17]

9. BIBLIOGRAFIA

- [1 Roldán Pérez G., Bioindicación de la calidad del agua en Colombia-Usos del método
] BMWP/Col, Medellín: Universidad de Antioquia, 2003.
- [2 Vargas Rios O. y Pedraza P., El Parque Nacional Natural Chingaza, Bogotá: Gente Nueva
] Editorial, 2004.
- [3 P. Naturales, «www.guiatodo.com,» 23 2015. [En línea]. Available:
] <http://www.guiatodo.com.co/parquesnaturales/detalles/parquenacionalnaturalchingaza>.
[Último acceso: 5 6 2015].
- [4 Google, «Google Maps,» [En línea]. Available: <https://www.google.com/maps/>. [Último
] acceso: 15 06 2014].
- [5 Ahumada M., Aguirre F. y Contreras M., Guía para la conservación y seguimiento ambiental
] de humedales andinos, Ciudad de Chile: División de Recursos Naturales y Biodiversidad del
Ministerio de Medio Ambiente, 2011.
- [6 S. C. d. Ramsar, Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la convención sobre los
] humedales, Suiza: Secretaría Convención de Ramsar, 2013.
- [7 Ministerio Agricultura, «<http://www.magrama.gob.es>,» 3 2 2015. [En línea]. Available:
] [http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-
conectividad/conservacion-de-humedales/ch_hum_convenio_ramsar.aspx](http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/conservacion-de-humedales/ch_hum_convenio_ramsar.aspx). [Último acceso:
4 6 2015].
- [8 P. Nacionales, «Parques Nacionales,» 7 Febrero 2010. [En línea]. Available:
] <http://www.parquesnacionales.gov.co/PNN/portel/libreria/pdf/PNNChingaza.pdf>. [Último
acceso: 10 Junio 2014].
- [9 FAO, «www.fao.org,» 2 17 2015. [En línea]. Available:
] <http://www.fao.org/climatechange/micca/peat/es/>. [Último acceso: 2015 3 25].
- [1 Cataño E., Uribe J. y Campos L., «Diversidad de Hepáticas y Musgos en Turberas del Nevado
0] del Tolima, Colombia,» *Revista Unal*, 11 Noviembre 2013.
- [1 Roldán Pérez G., Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del
1] Departamento de Antioquia, Antioquia: Presencia Ltda, 1988.
- [1 Cortolima, «www.cortolima.gov.co,» 21 Abril 2007. [En línea]. Available:
2] [http://www.cortolima.gov.co/2006/images/stories/centro_documentos/coello/2_10_BIOD
IVERSIDAD.pdf](http://www.cortolima.gov.co/2006/images/stories/centro_documentos/coello/2_10_BIODIVERSIDAD.pdf). [Último acceso: 17 Mayo 2014].

- [1 Puig A., Enciclopedia Del Ambiente, Buenos Aires: Editorial Croquis, 2011.
3]
- [1 National S. Foundation, «www.nsf.org,» 9 Mayo 1970. [En línea]. Available:
4] <http://www.nsf.org/services/by-industry/water-wastewater/onsite-wastewater>. [Último
acceso: 12 Junio 2014].
- [1 G. d. E. RHC, «Universidad del Cauca,» [En línea]. Available:
5] <http://attachments.wetpaintserv.us/qEGuFAEEV9dRQOQjIjN1pA==450156>. [Último acceso:
14 06 2014].
- [1 Ramirez R., «Cuatro Indices de contaminacion para caracterizacion de aguas continentales-
6] Formulas y aplicacion,» *Ciencia, Tecnologia y Futuro*, pp. 135-153, 1997.
- [1 Arango M. C., Álvarez L. F. , Arango G. A., Torres O. E. y Monsalve A. , «Calidad del Agua de
7] las Quebradas La Cristalina y la Risaralda, San Luis, Antioquia,» *EIA*, p. 9, 2008.
- [1 Guerrero F., «LOS MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS DE POZO AZUL (CUENCA DEL RÍO
8] GAIRA, COLOMBIA) Y SU RELACIÓN CON LA CALIDAD DEL AGUA,» *asActa Biológica
Colombiana, Vol. 8 No. 2*, 2003.
- [1 Henry A. M., «El uso de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua,»
9] *Revista Biocenosis*, vol. 20, p. 96, 2007.
- [2 Roldan Perez G., «Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del
0] agua,» *Revista Academia Colombiana De Ciencias*, vol. 1226, pp. 3-4, 2000.
- [2 Peña Sanchez de Rivera D., Estadística. Modelos y Métodos. Volumen 2, Madrid: Alianza ,
1] 1987.
- [2 Pearcey R., Mooney A. y Rundel P., Plant Physiological Ecology: Field methods and
2] instrumentation, Champan and Hall, 1991.
- [2 Marrugan A., Ecological diversity and its measurement, Nueva Jersey: Princenton University
3] Press, 1988 .
- [2 Moreno C., Métodos para medir la biodiversidad, Zaragoza: Orcyt/unesco&sea, 2001.
4]
- [2 P. N. N. Colombia, «Parques Nacionales,» 3 2 2015. [En línea]. Available:
5] <http://www.parquesnacionales.gov.co/PNN/portel/libreria/pdf/POLITICANACIONALDEBIODIVERSIDAD.pdf>. [Último acceso: 15 Febrero 2015].
- [2 «Cancilleria,» 2 3 2015. [En línea]. Available: <http://www.cancilleria.gov.co/convencion->

- 6] ramsar-sobre-humedales-importancia-internacional. [Último acceso: 12 Febrero 2015].
- [2 Reyes C. C., Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua,
7] Quito: EcoCiencia, 2001.
- [2 Terrell C. y B., «Water Quality Indicators Guide: Surface Waters.» Washington D.C., United
8] States Department of Agriculture. Soil Conservation Service., 1989.
- [2 LUCAS R. M., Toma de muestras- Laboratorio de calidad de agua, Córdoba: CVS, 2012.
9]
- [3 CCME, Manual de criterios para evaluar sitios contaminados, 1993.
0]
- [3 Darrigran G., «Guía para el estudio de macroinvertebrados- Metodología de muestreo y
1] análisis de datos,» *Serie Técnica didáctica*, p. 35, 2010.
- [3 Zúñiga F. B., Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales., Universidad
2] Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma de Yucatán: Consejo Nacional de
Ciencia y Tecnología y Instituto Nacional de Ecología., 2004.
- [3 P. N. Colombia, Plan de manejo parque nacional natural Chingaza, 2009.
3]
- [3 SUAREZ D. S., «MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS, DETERMINACIÓN TAXONÓMICA-
4] CONTEO,» *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*, p. 15, 2006.
- [3 Zaixso H., «Manual de campo para el muestreo del bentos,» *Universidad Nacional de la
5] Patagonia San Juan Bosco*, p. 191, 2002.
- [3 Tercedor J. A., Protocolos de muestreo y análisis para invertebrados bentónicos, Granada,
6] 2005.
- [3 Barbour M. y Gerritsen J., Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable
7] Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish - Second Edition, Washington D.C:
Environmental Protection Agency; Office of Water, 1999.
- [3 GÓMEZ J. A. G., «DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE VARIABLES FÍSICO
8] QUÍMICAS, Y LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS COMO BIOINDICADORES DE
CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO GARAGOA,» Universidad de Manizales, 2014.
- [3 McCafferty W. P. y Lugo Ortiz C. R., New species, subspecies, and stage description of Texas
9] baetidae (Ephemeroptera), Texas: McGrawill, 1995.
- [4 Dominguez E. y Fernández H., Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática

- 0] y biología, Uruguay: Comunicaciones de la Sociedad Malacológica del Uruguay, 2009.
- [4 Garcia N. M., «Macroinvertebrados acuáticos como sistema de evaluación de
1] contaminación del balneario Hurtado,» Universidad Industrial de Santander, 2010.
- [4 Rice W., Métodos estándar para el análisis de aguas y aguas residuales., Clesceri Editorial,
2] 2012.
- [4 E. (D. P. A. d. I. E. U. América.), Monitoreo y restauración de lagos y embalses, Washington
3] D.C, 1990.
- [4 Pennak R., Fresh-Water Invertebrates of the United States, New York: McGraw-Hill, 1980.
4]
- [4 Dominguez E. y Fernández H., Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos
5] Sudamericanos, Tucuman: Universidad Nacional de Tucuman, 2001.
- [4 Durán C., Clave Dicotómica para la identificación de macroinvertebrados de la cuenca del
6] Ebro, Zaragoza: Confederación Hidrográfica del Ebro, 2011.
- [4 Barrios E., Catálogo y claves de identificación de organismos utilizados como elementos de
7] calidad en las redes de control del estado ecológico, Madrid: Ministerio de Agricultura,
Alimentación y Medio Ambiente de Madrid, 2012.
- [4 León Gudberto., Apuntes de métodos estadísticos-Contraste de hipótesis, Universidad de
8] los Andes, 2011.
- [4 Jongman R. y Tongeren O., Data analysis in community and landscape ecology,
9] Wageningen: Cambridge University Press, 1987.
- [5 Torres P., Cruz C. y Patiño P., Bioindicadores de calidad de aguas en fuentes superficiales
0] utilizadas en la producción de agua para consumo humano, Medellín: Universidad de
Medellín, 2009.
- [5 Fernandez N., «Índices de Calidad del Agua ICAs e ICOs,» de *Índices de Calidad del Agua*
1] *ICAs e ICOs*, Universidad de Pamplona.
- [5 Pino S. B., Estadística descriptiva e inferencial, 2008.
2]
- [5 Inhaber H., An approach to a water quality index for Canada., Toronto: McGraw-Hill, 1976.
3]
- [5 Aguirre A. A., Comparación estacional de la comunidad macroinvertebrados epibentónicos

- 4] asociados a praderas, Universidad Javeriana, 2006.
- [5 Posey N. H., Temporal variability diversity and guild structure of a benthic community in the
5] northeastern gulf of Mexico, Ciudad de México: Panamericana, 1998.
- [5 Ortiz L. L., «La bioindicación de la calidad del agua: importancia de los macroinvertebrados
6] en la cuenca alta del río Juan Amarillo,» *Umbral científico*, 2005.
- [5 Guinard J. C., «Diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos del río Gariche,»
7] *Revista Gestión y ambiente*, 2013.
- [5 BEDOYA O., «Estudio de los dípteros acuáticos (Diptera) en diferentes pisos altitudinales en
8] el departamento de Antioquia.,» *Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas. Vol. 2,*
1984.
- [5 Rivera-Usme J. J., «ENSAMBLAJE DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS Y SU RELACIÓN
9] CON LAS VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS EN EL HUMEDAL DE JABOQUE-COLOMBIA,»
Caldasia 35, 2013.
- [6 RIVERA USME J. J., «GRUPOS TRÓFICOS DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN UN
0] HUMEDAL URBANO ANDINO DE COLOMBIA,» *ACTA BIOLOGICA COLOMBIANA*, 2013.
- [6 Hahn-vonHessberg C. M., «DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE
1] INDICADORES BIOLÓGICOS Y FÍSICOQUÍMICOS, EN LA ESTACIÓN PISCÍCOLA, UNIVERSIDAD
DE CALDAS, MUNICIPIO DE PALESTINA, COLOMBIA,» *Boletín científico museo de historia
natural*, 2009.
- [6 Paggi A. C., Guía para la determinación de los Artrópodos Bentónicos Sudamericanos,
2] Tucumán: Universidad de Tucumán, 2001.
- [6 INSTITUTO V. HUMBOLDT, Métodos para el análisis de datos: una aplicación para
3] resultados provenientes de caracterizaciones de biodiversidad, 2011.
- [6 Venegas E. M., «Estado limnológico de cuatro humedales de la sabana de Bogotá utilizando
4] macroinvertebrados como bioindicadores.,» Departamento de Biología, Facultad de
Ciencias, Universidad Nacional de Colombia., Bogota, 2008.
- [6 Ramirez A., Metodos de Recoleccion macroinvertebrados, Puerto Rico, 2010.
5]
- [6 Sharma S. G., «A SMART GUIDE TO DUMMY VARIABLES: FOUR APPLICATIONS AND A
6] MACRO,» *Murray Hill, New Jersey*, 1997.
- [6 Roldán G., Fundamentos de limnología neotropical, Medellín: Uniantioquia, 1992.

7]

[6 Flanagan P., Parameters of Water Quality, Irlanda, 1992.

8]

[6 Donato J. C., «Los Sistemas Acuáticos en Colombia,» U. Javeriana, Bogotá, 1991.

9]

[7 Vergara Olaya D. L. , «ENTOMOFAUNA LÓTICA BIOINDICADORA DE LA CALIDAD DEL,»

0] Universidad Nacional, Bogotá, 2009.

[7 Riss W., Ospina R. y Gutierrez J. D., «Establecimiento de valores de bioindicación para los

1] macroinvertebrados acuáticos de la Sabana de Bogotá.,» *Caldasia*24, pp. 135-156, 2002.

[7 Yugan J. L., Estudio de la calidad del agua en los afluentes de la microcuenca del rio blanco

2] para determinar las causas de la degradacion, Riobamba-Ecuador, 2010.

[7 Acevedo J. L., «Índice BMWP, FBI y EPT para determinar la calidad del agua en la laguna de

3] Coyuca de Benítez, Guerrero, México,» *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2014.

[7 Mosquera Duberly., «BIOINDICACIÓN DE LA CALIDAD DELAGUA DEL RÍO CALI, VALLE DEL

4] CAUCA, COLOMBIA; USANDO MACROINVERTEBRADOSACUÁTICOS,» *Asociacion Colombiana de Ciencias Biologicas*, 2008.

[7 Medina O. J. y Camacho J. Z., Caracterización preliminar cualitativa de las lagunas

5] identificadas en la zona de páramo y subparámo de la cuenca del Río Chicamocha en el departamento de Boyacá, Tunja: UPTC-Inderena, 1994.

[7 Mosquera D., Palacios M. L. y Soto A., «BIOINDICACIÓN DE LA CALIDAD DELAGUA DEL RÍO

6] CALI,VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA; USANDO MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS,» *Grupo de Investigación en Estudios Ambientales para el Desarrollo Sostenible (GEADES)*., p. 130, 2008.

[7 Crespo A. y Barreno L., Establecimiento de una red de valoración de pureza atmosférica en

7] la provincia de La Coruña (España) mediante bioindicadores líquénicos, Malaga: Lazaroa, 1981.

[7 APHA, AWWA y WEF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater,

8] nUEVA yORK: Mc Graw-Hill, 2005.

[7 Universidad de Pamplona, «www.unipamplona.edu.co,» 15 6 2015. [En línea]. Available:

9] http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/pag_c contenido/libros/06082010/icatest_capitulo2.pdf.

10. ANEXOS

Ver Archivo Word Adjunto