

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					
	CARTA DE AUTORIZACIÓN					
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA 1 de 1

Neiva, 16 de enero de 2018

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Andrés Mauricio Vargas Álvarez, con C.C. No. 7.719.042 autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o titulado Composición y estructura de macroinvertebrados bentónicos en el embalse de Betania departamento del Huila presentado y aprobado en el año 2.017 como requisito para optar al título de Magister en Ecología y Gestión de Ecosistemas Estratégicos;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____



Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 4

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Composición y estructura de macroinvertebrados bentónicos en el embalse de Betania departamento del Huila

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Vargas Álvarez	Andrés Mauricio

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Sánchez Ramírez	Mario

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
León Cuellar Valbuena	Vladymeer Rubén Darío

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Magister en Ecología y Gestión de Ecosistemas Estratégicos

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Maestría en ecología y gestión de ecosistemas estratégicos

CIUDAD: Neiva **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 14 diciembre de 2017 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 110

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Vigilada mieducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 4

Diagramas X Fotografías X Grabaciones en discos__ Ilustraciones en general X Grabados__
 Láminas__ Litografías__ Mapas X Música impresa__ Planos__ Retratos__ Sin ilustraciones__ Tablas
 o Cuadros X

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

Español

1. Macroinvertebrados bentónicos
2. Embalse de Betania
3. Estructura ecológica
4. Indicadores ecológicos
5. Limnología

Inglés

- Benthic macroinvertebrates
 Betania reservoir
 Ecological structure
 Bioindicators
 Limnology

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

Actividades como la piscicultura intensiva, el vertimiento de aguas residuales al embalse de Betania han deteriorado notablemente la calidad del agua y acelerado los procesos de eutrofización. Estos aspectos permiten enfatizar en la necesidad e importancia de recolectar y analizar información que conduzca a establecer los referentes biológicos del embalse a partir de la fauna bentónica y como estos pueden diagnosticar el estado de la calidad del mismo. En esta investigación se realizaron muestreos de la fauna bentónica con draga tipo Eckman en dos periodos hidrológicos contrastantes, con el fin de establecer la estructura y composición de los mismos presentes en las siete estaciones de muestreo ubicados a lo largo del embalse, de igual forma se realizaron mediciones de doce parámetros físicoquímicos relacionando estos con el componente taxonómico.

Mediante los resultados cuantitativos, cualitativos y estadísticos se evidencia que el subembalse Magdalena presenta mejores condiciones de habitabilidad para el desarrollo de comunidades bénticas, esto originado por el aporte de nutrientes de origen alóctono y el tipo

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA						
	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						
DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO							
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 4

de sustrato presente en el sedimento. De igual manera se registran la mayor cantidad de individuos en época de lluvia (aguas altas) comparado con valores bajos en la época de estiaje. Sin embargo, el conocimiento de la estructura y composición de las comunidades bénticas y su relación con los parámetros físicos y químicos en el embalse representan un punto de inicio en la comprensión ecológica y da las bases para posteriores investigaciones tanto a nivel taxonómico, ecológico como de bioindicación.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

Activities such as intensive fish farming, the dumping of wastewater into the Betania reservoir have significantly deteriorated the quality of water and accelerated the processes of eutrophication. These aspects allow emphasizing the need and importance of collecting and analyzing information that leads to establish the biological referents of the reservoir from the benthic fauna and how they can diagnose the status of the quality of the reservoir. In this investigation, samplings of the benthic fauna with an Eckman type dredger were carried out in two contrasting hydroclimatic periods, with the purpose of establishing the structure and composition of the same in the seven sampling stations located throughout the reservoir. They made measurements of twelve physicochemical parameters relating them to the taxonomic component.

Through the quantitative, qualitative and statistical results it is evident that the sub-basin Magdalena presents better habitability conditions for the development of benthic communities, this originated by the contribution of nutrients of allochthonous origin and the type of substrate present in the sediment. In the same way, the highest number of individuals is recorded during the rainy season (high water) compared to low values during the dry season. However, knowledge of the structure and composition of benthic communities and their relationship with the physical and chemical parameters in the reservoir represent a starting point in ecological understanding and provide the basis for further research at both the taxonomic, ecological and bioindication.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Jurado: Vladymeer León Cuellar

Firma: 

Vigilada mieducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					    	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	4 de 4

Nombre Jurado: Rubén Darío Valvuela

Firma:



Vigilada mieducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

**COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE MACROINVERTEBRADOS
BENTÓNICOS EN EL EMBALSE DE BETANIA DEPARTAMENTO DEL
HUILA**

Presentado por:
ANDRÉS MAURICIO VARGAS ÁLVAREZ
Licenciado en Biología y Química
Universidad Surcolombiana

**Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar al título de
Magister en Ecología y Gestión de Ecosistemas Estratégicos**

**MAESTRÍA EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN DE ECOSISTEMAS
ESTRATÉGICOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
NEIVA
2017**

**COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE MACROINVERTEBRADOS
BENTÓNICOS EN EL EMBALSE DE BETANIA DEPARTAMENTO DEL
HUILA**

Presentado por:
ANDRÉS MAURICIO VARGAS ÁLVAREZ
Licenciado en Biología y Química
Universidad Surcolombiana

Director:
MARIO SÁNCHEZ RAMÍREZ
Ph. D in Biology

**Tesis de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Magister en Ecología y Gestión de Ecosistemas Estratégicos**

**MAESTRÍA EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN DE ECOSISTEMAS
ESTRATÉGICOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
NEIVA
2017**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Ph. D Vladymeer León Cuellar
JURADO

M.Sc. Rubén Darío Valbuena
JURADO

Ph.D Marío Sánchez Ramírez
DIRECTOR

Neiva, octubre de 2017

AGRADECIMIENTOS

Mi gratitud y agradecimiento a:

Ph D. Mario Sánchez Ramírez. Profesor y director de esta tesis, quien me inspira un profundo respeto y una gran admiración. Por su siempre disposición en la revisión y orientación de este trabajo.

A la Ingeniera Andrea Baquero Peñaloza por su aporte, colaboración y apoyo en todos y cada uno de los procesos requeridos para el desarrollo de este trabajo.

Al Msc. Augusto Prado de la Universidad del Cauca por su valiosa colaboración frente a mis dudas e inquietudes, por brindarme material bibliográfico indispensable para el desarrollo de este trabajo.

Al Msc. Juan Carlos Alonso Gonzales y a la Msc. Claudia Rodríguez, por la ayuda en la realización de las actividades en la fase de campo y el préstamo de los materiales requeridos para el desarrollo del proyecto.

A los jurados Msc. Ruben Dario Valvuela y Ph. D Vladymeer León Cuellar Villarreal por las sugerencias realizadas para el documento final de la tesis.

A la Msc. Patricia Pelayo por sus orientaciones al componente estadístico indispensables en la interpretación de los resultados de la investigación.

A la Msc Alix Solano Figueroa de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, por las primeras directrices y consejos para el desarrollo de este trabajo.

Al Ph D.Nelson Aranguren y al Ph D. Santiago Gaviria de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) y la Unidad de Ecología en Sistemas Acuáticos (UDESa) por los conocimientos adquiridos en el curso sobre invertebrados bentónicos en Colombia: Diversidad taxonómica, ecología y bioindicación.

A todos los colaboradores que contestaron mis inquietudes vía e-mail principalmente del componente taxonómico.

A mis compañeros y amigos Eduardo Pastrana y Carlos Paredes por su colaboración y grata compañía en la fase de campo.

A el señor Armando Walles por la logística en el desplazamiento dentro del embalse y a todas aquellas personas que aportaron de una y otra manera en el desarrollo de este trabajo de investigación. Muchas gracias.

DEDICATORIA

A Dios por la oportunidad de aprender cada día y poder construir una sociedad más armónica con nuestro ambiente.

A mi esposa, amiga y confidente, por su entrega incondicional y acompañamiento en estas largas horas de aprendizaje, por su muestra de disciplina y perseverancia, llenando mis días de energía y ganas de seguir adelante. A ella que aprendió en este tiempo a valorar los instantes más sencillos y demostró con su sensibilidad el amor hacia lo natural. Para ella esta dedicatoria con cariño y profundo amor.

Al profesor Mario Sánchez Ramírez por toda una vida dedicada a la enseñanza del saber en la limnología y al conocimiento de la ecología en los ecosistemas hídricos del departamento. Por ayudarnos a entender mejor nuestro entorno como parte inicial en los procesos de conservación de nuestros principales ambientes naturales.

A mis padres Mario Alberto y Betty Cecilia, a mis hermanos Carolina y Carlos Mario que estuvieron apoyándome en esta etapa de mi vida dándome alegría y esperanza.

A doña Marlén Peñaloza por sus buenos deseos y oraciones para que este proyecto saliera adelante a ella mil gracias y muchas bendiciones.

Por el sueño de ver un mundo diferente alejado de los vicios del consumismo, donde algún día podremos entender el verdadero significado de nuestra existencia y el papel que tenemos en este planeta.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	4
DEDICATORIA	5
RESUMEN	11
SUMMARY	13
INTRODUCCIÓN	15
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
2. OBJETIVOS	18
2.1. Objetivo General	18
2.2. Objetivos Específicos	18
3. MARCO REFERENCIAL	19
3.1. Descripción del embalse de Betania y su zona de influencia	19
3.2. Antecedentes	24
3.3. Referentes Bibliográficos	27
4. METODOLOGÍA	37
4.1. Descripción del área de estudio	37
4.1.1. Estaciones de muestreo	37
4.1.2. Caracterización del hábitat	45
4.1.3. Caracterización Fisicoquímica	45
4.1.4. Caracterización biológica	45
5. RESULTADOS	53
5.1. Caracterización del hábitat	53
5.2. Identificación taxonómica a nivel de familia y genero	53
5.2.1. Abundancia y Riqueza	54
5.3. Resultados de parámetros fisicoquímicos	77
5.3.1. Dureza Total, Calcio y Magnesio	78
5.3.2. Amonio y nitritos	80
5.3.3. Sistema Dióxido de carbono, pH y Alcalinidad	81
5.3.4. Cloruros	83

5.3.5.	Oxígeno Disuelto y Temperatura	84
5.3.6.	Conductividad.....	86
6.	CONCLUSIONES	89
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	93
	ANEXOS.....	100
	ANEXO A. FOTOGRAFÍAS MACROINVERTEBRADOS EMBALSE DE BETANIA	100
	Phylum Anélida – Clase Clitellata – Subclase Hirudinea	100
a.	Orden Rhynchobdellida – Familia Glossiphoniidae	100
	Phylum Anélida – Clase Clitellata – Subclase Oligochaeta.....	100
a.	Orden Haplotaxida – Familia Naididae	100
b.	Orden Haplotaxida – Familia Tubificidae.....	102
	Phylum Mollusca – Clase Gastropoda – Subclase Pulmonata	102
a.	Orden Basomastophora – Familia Physidae	102
b.	Orden Basomastophora – Familia Planorbiidae	103
	Phylum Mollusca – Clase Gastropoda – Subclase Prosobranchia.....	103
a.	Orden Mesogastropoda – Familia Hydrobiidae.....	103
b.	Orden Mesogastropoda – Familia Thiaridae	103
	Phylum Mollusca – Clase Bivalvia – Subclase Heterodonta	104
a.	Orden Veneroida – Familia Sphaeriidae	104
	Phylum Artrópoda – Clase Insecta – Subclase Pterygota	104
a.	Orden Díptera – Familia Culicidae	104
b.	Orden Díptera – Familia Ceratopogonidae.....	104
c.	Orden Díptera – Familia Chaoboridae	105
d.	Orden Díptera – Familia Chironomidae	105
e.	Orden Ephemeroptera – Familia Polymitarcyidae	105
f.	Orden Trichoptera – Familia Hydropsychidae	106
	ANEXO B. Formato para la caracterización del hábitat del área de estudio.....	107
	ANEXO C. Formato para la caracterización fisicoquímica del área de estudio.	108
	ANEXO D. FOTOGRAFÍAS PROCESO METODOLÓGICO.....	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Descripción del área de estudio. Fuente: Autor	19
Figura 2. Indicador de calidad del agua. Fuente: IAGUA material de consulta - Ajustes de Autor	32
Figura 3. Bioindicadores - Macroinvertebrados Bentónicos. Fuente: Autor	33
Figura 4. Anomalías del comportamiento de la lluvia durante marzo de 2013. Fuente: IDEAM	37
Figura 5. Estación de muestreo Nueva York M1 (marzo). Fuente: Autor	38
Figura 6. Estación de muestreo Nueva York M1 (junio). Fuente: Autor	39
Figura 7. Estación de muestreo Macó M2 (marzo). Fuente: Autor	39
Figura 8. Estación de muestreo Macó M2 (junio). Fuente: Autor	40
Figura 9. Estación de muestreo Caraguaja M3 (marzo). Fuente: Autor.....	40
Figura 10. Estación de muestreo Caraguaja M3 (junio). Fuente: Autor.....	41
Figura 11. Estación de muestreo Tortugas Y1 (marzo). Fuente: Autor.....	41
Figura 12. Estación de muestreo Tortugas Y1 (junio). Fuente: Autor.....	41
Figura 13. Estación de muestreo Las Moyas Y2. Fuente: Autor.....	42
Figura 14. Estación de muestreo La Vaga Y3. Fuente: Autor.....	42
Figura 15. Estación de muestreo Planadas Y4. Fuente: Autor.....	43
Figura 16. Mapa de localización geográfica de las siete estaciones de muestreo en el Embalse de Betania. Fuente: Google Earth 2017. Modificaciones: Autor	44
Figura 17. Abundancia por familias. Fuente: Autor.....	55
Figura 18. Composición Taxonómica en % de la abundancia de la muestra. Fuente: Autor. .	55
Figura 19. Abundancia de especies por estaciones. Fuente: Autor.....	56
Figura 20. Riqueza entre estaciones. Fuente: Autor.....	56
Figura 21. Abundancia de géneros. Fuente: Autor.....	58
Figura 22. Representación gráfica de todas las muestras en los dos periodos de los 4 componentes de la diversidad (rareza, heterogeneidad, equitatividad y diversidad taxonómica) Fuente: Autor.....	60
Figura 23. Índices de Rareza. Fuente: Autor.....	63
Figura 24. Índices de Heterogeneidad. Fuente: Autor.....	63
Figura 25. Índices de Equitatividad. Fuente: Autor.....	64
Figura 26. Índices de diversidad taxonómica. Fuente: Autor.....	64
Figura 27. Variabilidad del índice de rareza. Fuente: Autor.....	65
Figura 28. Variabilidad del índice de Heterogeneidad - Margalef. Fuente: Autor.....	66
Figura 29. Variabilidad del índice de equitatividad McIntosh. Fuente: Autor.....	67
Figura 30. Variabilidad del índice de diversidad taxonómica. Fuente: Autor.....	67
Figura 31. Variabilidad del índice de Shannon Wiener para diversidad. Fuente: Autor.....	68
Figura 32. Índice de similaridad de Jaccard entre estaciones. Fuente: Autor.....	68

Figura 33. Índice de similaridad de Jaccard entre estaciones de muestreo y periodos hidroclimáticos. Fuente: Autor.....	69
Figura 34. Índice de similaridad de Jaccard entre géneros encontrados. Fuente: Autor.....	70
Figura 35. Diagrama de Correlación Canónica de géneros y parámetros fisicoquímicos. Fuente: Autor.	71
Figura 36. Abundancia de géneros M1. Fuente: Autor.....	72
Figura 37. Abundancia de géneros M2. Fuente: Autor.....	73
Figura 38. Abundancia de géneros M3. Fuente: Autor.....	74
Figura 39. Abundancia de géneros Y1. Fuente: Autor.	74
Figura 40. Abundancia de géneros Y2. Fuente: Autor.	75
Figura 41. Abundancia de género Y3. Fuente: Autor.....	76
Figura 42. Abundancia por géneros Y4. Fuente: Autor.....	76
Figura 43. Variación de Dureza, calcio y magnesio en el Embalse de Betania. Fuente: Autor.	79
Figura 44. Variación de los parámetros de amonio y nitritos en el Embalse de Betania. Fuente: Autor	81
Figura 45. Variación de CO ₂ , pH y Alcalinidad en el Embalse de Betania. Fuente: Autor.....	82
Figura 46. Valores de cloruro para los siete puntos de muestreo. Fuente: Autor.	83
Figura 47. Variación de OD - Temperatura. Embalse de Betania. Fuente: Autor	85
Figura 48. Variación de la conductividad Embalse de Betania. Fuente: Autor.	86
Figura 49. Variabilidad de los parámetros fisicoquímicos en los 7 puntos de muestreo. Fuente: Autor.	88
Figura 50. Fotografía género <i>Hellobdella</i>	100
Figura 51. Fotografías géneros A. Aulophorus y B. Chaetogaster.	100
Figura 52. Fotografía género <i>Dero</i>	101
Figura 53. Fotografía géneros: A. <i>Nais</i>	101
Figura 54. Fotografía género <i>Pristina</i> A. Fuente Autor B. Fuente Conservation Society of Metro Halifax	101
Figura 55. Fotografía género <i>Branchiura</i>	102
Figura 56. Fotografía género <i>Physa</i>	102
Figura 57. Fotografía género <i>Helisoma</i>	103
Figura 58. Fotografía género <i>Pyrgophorus</i>	103
Figura 59. Fotografía género <i>Melanoides</i>	103
Figura 60. Fotografía género <i>Shaerium</i>	104
Figura 61. Fotografía género <i>Culex</i>	104
Figura 62. Fotografía género <i>Sphaeromias</i>	104
Figura 63. Fotografía género <i>Chaoborus</i>	105
Figura 64. Fotografía géneros: A. Subfamilia Chironominae y B. Subfamilia Tanypodinae.	105
Figura 65. Fotografía género <i>Ephoron</i> . A. Etapa inmadura y B. Edad Adulta.	105
Figura 66. Fotografía género <i>Hydropsyche</i>	106

Figura 67. Toma de muestras mediante draga Eckman (Izq.) y posterior conservación (der). Fuente: Autor.	109
Figura 68. Separación y lavado de las muestras Fuente: Autor.	109
Figura 69.. Individuos listos para su identificación: Gastropodos y Bivalvos (izq) – Anélidos Oligoquetos (Der). Fuente: Autor.	110
Figura 70. Identificación taxonómica. Fuente: Autor	110
Figura 71. Identificación de géneros de oligoquetos por medio de quetas dorsales (izq) y ventrales (der). Fuente: Autor.	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cobertura vegetal y usos del suelo. Fuente: Dahnia Ltda.	23
Tabla 2. Índices de calidad del agua. Fuente: Autor	36
Tabla 3. Localización geodésica de las estaciones de muestreo para el presente estudio. Fuente: Autor	43
Tabla 4. Índices de Rareza, Heterogeneidad, Equitatividad y Diversidad Taxonómica. Fuente: Guisande, 2017	47
Tabla 5. Índices de rareza. Fuente: (Guisande, 2017) Modificado: Autor.	48
Tabla 6. Índices de Heterogeneidad. Fuente: Guisande 2017. Modificaciones: Autor.	50
Tabla 7. Índices de Equitatividad. Fuente: Guisande, 2017. Modificaciones: Autor	51
Tabla 8. Índices de diversidad taxonómica. Fuente: Guisande, 2017. Modificaciones: Autor.	51
Tabla 9. Caracterización del hábitat (Profundidad, material del fondo y actividades antrópicas) Fuente: Autor.	53
Tabla 10. Clasificación taxonómica de la fauna bentónica encontrada en los puntos de muestreo Embalse Betania. Fuente: Autor	58
Tabla 11. Cálculo de los índices de diversidad según Guisande, 2017. Fuente: Autor.	62
Tabla 12. Parámetros fisicoquímicos en los siete puntos de muestreo. Fuente: Autor	77
Tabla 13. Valores promedio Dureza Total, Calcio y Magnesio. Brazo Magdalena y Yaguará Embalse de Betania. Fuente: Autor	79
Tabla 14. Rangos de concentración de oxígeno disuelto y consecuencias ecosistémicas frecuentes. Fuente: Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos RED MAPSA	84
Tabla 15. Dependencia de la concentración de oxígeno disuelto respecto a la temperatura del agua (Bain y Stevenson 1999)	86

RESUMEN

Los embalses son ecosistemas poco conocidos en Colombia, especialmente en cuanto a sus componentes biológicos, no obstante, el incremento de estos ecosistemas artificiales, hace necesario el monitoreo y conocimiento de su estado ecológico. El presente trabajo de investigación busca obtener información acerca de la estructura y composición de las comunidades bénticas en el embalse de Betania, ya que, este cuerpo de agua se convierte en uno de los ecosistemas más importantes en el departamento del Huila, no solo para la generación energética sino también para la producción pesquera regional.

Para este estudio se establecieron siete estaciones de muestreo buscando que los datos obtenidos fueran los más precisos y representativos al tener estaciones ubicadas en las tres zonas del embalse (Riverina, Transición y Lacustre) y en los dos subembalses que lo conforman. Los muestreos se realizaron durante los meses de marzo y junio del 2013 correspondientes a periodos de estiaje y lluvias respectivamente. Los macroinvertebrados de la zona bentónica se recolectaron con draga tipo Eckman, efectuando tres replicas en cada punto de muestreo ubicados a diez metros de la orilla, los ejemplares se limpiaron y se clasificaron de acuerdo a las diferentes guías taxonómicas disponibles para la zona del neotrópico. Se realizaron mediciones de doce parámetros fisicoquímicos: cinco in situ utilizando equipo multiparamétrico y los restantes mediante análisis de laboratorio.

Se calcularon índices de diversidad multivariados, tanto tradicionales como taxonómicos incluyendo índices de rareza, heterogeneidad, equitatividad y diversidad taxonómica. Además, se realizó análisis cualitativos de las muestras mediante índices de similitud y disimilitud (diversidad beta) y se aplicó análisis de correlación canónica para expresar la relación que existe entre el componente taxonómico del estudio y los parámetros físico – químicos del embalse; este análisis se realizó mediante el paquete estadístico del programa RWizard, el software estadístico para biólogos PAST y el complemento para Microsoft Excel 2016 XLSTAT.

Los grupos de organismos identificados en el embalse de Betania corresponde en orden de abundancia a los Phylum Anélida, Molusca y Artrópoda con un total de 1677 individuos recolectados. Las familias con mayor número de individuos fueron Tubificidae con el 24% e Hidrobiidae con el 21%.

Los resultados obtenidos muestran que la estación con mayor número de géneros raros es la Vaga (Y3), la estación Nueva York (M1) no presenta cambios en los géneros colectados durante las dos épocas de muestreo. El índice de heterogeneidad de Margalef muestra que la estación Caraguaja presenta la mayor diversidad de géneros, pero a su vez presenta valores muy distantes entre las dos épocas de colecta, mientras las estaciones Las Moyas (Y2) y Planadas (Y4) presentan los valores de diversidad más bajos. El índice de equitatividad de McIntosh, señala que las muestras obtenidas en la estación Caraguaja (M3) y La Vaga (Y3) presentan altos índices de equidad respecto a la representación de los diferentes géneros encontrados dentro de la muestra. Las estaciones con mayor diversidad taxonómica son: Macó (M2), Caraguaja (M3), Tortugas (Y1), Las Moyas (Y2) y Nueva York (M1), esta última con una alta desviación estándar entre los periodos de muestreo, caso contrario a lo que ocurre en La Vaga (Y3) y Planadas (Y4), estaciones con muy bajos niveles de diversidad. En términos generales las estaciones Macó y Caraguaja presenta mejores criterios para los diferentes índices seleccionados.

De acuerdo a los resultados obtenidos en todos los índices se determina que el subembalse Magdalena presenta mejores condiciones de habitabilidad para el desarrollo de comunidades bénticas, esto originado por el aporte de nutrientes de origen alóctono y por el tipo de sustrato presente en el sedimento, siendo el fango y la arcilla ambos con material vegetal los sustratos ideales para el establecimiento de comunidades bénticas. De igual manera se registran la mayor cantidad de individuos en época de lluvia (aguas altas) comparado con valores bajos en la época de estiaje.

Los macroinvertebrados bentónicos son usados en la evaluación de la calidad del agua en embalses como organismos potencialmente bioindicadores, debido a la poca diversidad y la alta abundancia de individuos pertenecientes a las familias Tubificidae y Chironomidae, los cuales responden de manera positiva al enriquecimiento orgánico o al estrés generado por sustancias tóxicas, se hace indispensable especificar los tipos de sustrato o biotopos y especialmente clasificar estos organismos a nivel de especie, ya que, la determinación taxonómica hasta género no garantiza un diagnóstico a priori del estado trófico del embalse.

Sin embargo, el conocimiento de la estructura y composición de las comunidades bénticas y su relación con los parámetros físicos y químicos en el embalse representan un punto de inicio en la comprensión ecológica y da las bases para posteriores investigaciones tanto a nivel taxonómico, ecológico como de bioindicación.

Palabras clave: Macroinvertebrados bentónicos, embalse de Betania, estructura ecológica, indicadores ecológicos.

SUMMARY

The reservoirs are little known ecosystems in Colombia, especially in terms of their biological components, however, the increase of these artificial ecosystems, makes necessary the monitoring and knowledge of their ecological status. The present research work seeks to obtain information about the structure and composition of the benthic communities in the Betania reservoir, since, this body of water becomes one of the most important ecosystems in the department of Huila, not only for the energy generation but also for regional fisheries production.

Seven sampling locations were used in the study, according to three water zones in the reservoir (river input, transition and lentic zones) and which were distributed in the two affluent sections. M1, M2 and M3 in Magdalena section; Y1, Y2, Y3 and Y4 in Yaguará section. Samples were taken in March and June 2013, time periods related to low- and high-water regimes. Benthic macroinvertebrates were collected with an Ekman dredge with three subsamples at each station. Organisms were cleaned and classified at the laboratory by using known taxonomic keys. Besides, twelve physicochemical parameters were measured: five of them in situ with field equipment and the other seven through laboratory analysis.

Multivariate biotic indices were calculated in four categories: rarity, heterogeneity, equity and taxonomic diversity. Statistical analysis was also performed by similarity index and canonical correlation, in order to assess relations between the taxonomic components and physicochemical parameters. These analyses were accomplished by using statistical software RWizard, PAST and Microsoft Excel 2016 XLSTAT.

Main biological groups identified in Betania Reservoir were Phyla Annelida, Mollusca and Arthropoda which reached a total of 1677 individuals collected. Families with highest abundance were Tubificidae and Hydrobiidae with 24% and 21% of individual numbers respectively.

Results showed that Y3 was the station with highest variation in genera collected (Rarity index), while M1 didn't have variation in genera between the two sampling periods. In the Heterogeneity index used (Margalef), station M3 showed very different values between the two periods, while Y2 and Y4 showed lowest values in this index. Stations M3 and Y3 showed highest values for the Equity Index among different genera in samples. For the Taxonomic Diversity Index, highest values were found in stations M2, M3 and Y2 while Y3 and Y4 showed low values. In general values, stations M2 and M3 showed best criteria for the indices used.

According to results from all indices, the Magdalena section of the reservoir showed better habitat conditions for the development of invertebrate communities, probably due to the allochthonous nutrient input and the characteristics of substrate which had better distribution of mud, clay and plant materials. Furthermore, the high-water period produced higher number of individuals than the low water.

Benthic macroinvertebrates are used in the evaluation of water quality in reservoirs as potentially bioindicating organisms, due to the low diversity and high abundance of individuals belonging to the Tubificidae and Chironomidae families, which respond positively to organic enrichment or Stress generated by toxic substances, it is essential to specify the types of substrate or biotopes and especially classify these organisms at the species level, since the taxonomic determination up to gender does not guarantee an a priori diagnosis of the trophic status of the reservoir.

However, knowledge of the structure and composition of benthic communities and their relationship with the physical and chemical parameters in the reservoir represent a starting point in ecological understanding and provide the basis for further research at both the taxonomic, ecological and bioindication.

Key words: Benthic macroinvertebrates, Betania reservoir, ecological structure, bioindicators

INTRODUCCIÓN

El embalse de Betania es un ecosistema estratégico para el departamento del Huila, debido a los aportes de servicios y funciones ambientales, fundamentales para el desarrollo de la región. Estos aportes se encuentran agrupados mediante criterios ecológicos, socioculturales y económicos, los cuales comprenden la diversidad natural, la oferta hídrica, el agua para la agricultura y ganadería, el turismo y la recreación, la producción de energía eléctrica, la producción piscícola y el reconocimiento académico, entre otros aspectos (Olaya & Sánchez, 2005).

Sin embargo, actividades como la piscicultura intensiva y el vertimiento de aguas residuales provenientes de actividades domésticas y agrícolas aledañas al embalse han deteriorado notablemente la calidad del agua y acelerado los procesos de eutrofización.

Los anteriores aspectos, permiten enfatizar en la necesidad e importancia de recolectar y analizar información que conduzca a establecer los referentes biológicos del embalse y a partir de los conocimientos que se tenga sobre ellos, diagnosticar el estado de la calidad de sus aguas.

Uno de los grupos del cual existe una limitada investigación desde el punto de vista taxonómico, ecológico y de bioindicación en embalses son los llamados macroinvertebrados del bentos (asociados al fondo). Este grupo de individuos cumple un papel crucial en el reciclado de nutrientes o de degradación y mineralización de los detritos, de igual forma hacen parte de la intrincada red trófica de estos ecosistemas.

Este estudio se realizará con la finalidad de conocer el estado actual de los macroinvertebrados del bentos en el embalse de Betania y como éstos se relacionan con las principales variables fisicoquímicas, obteniendo de esta manera fundamentos que puedan determinar la situación de este gran cuerpo de agua.

El presente estudio basará su análisis en muestras que se obtendrán bajo dos condiciones hidrológicas contrastantes y en siete estaciones (tres en el brazo Magdalena y cuatro en el brazo Yaguará). Para evaluar las comunidades de manera cualitativa se harán capturas utilizando draga tipo Eckman, los especímenes colectados se identificarán al máximo nivel taxonómico posible

y se registrarán en una base de datos con su respectiva clasificación dependiendo de la literatura disponible para cada grupo. De las morfoespecies se efectuarán descripciones e ilustraciones de los caracteres diagnósticos. Para la identificación taxonómica y verificación de la distribución neotropical de los macroinvertebrados bentónicos se usarán las claves destinadas para tal fin (Merritt y Cummins, 1978; Domínguez y Fernández, 2009).

A partir de los datos obtenidos sobre densidad numérica de individuos recolectados se calcularán los principales índices evaluadores de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, además se realizará análisis de agrupación entre los sitios muestreados y si se pueden presentar diferencias significativas entre estaciones (variación espacial) y épocas de muestreo (variación temporal) entre el número promedio de individuos colectados. Para los análisis fisicoquímicos del agua se realizarán mediciones en superficie *in situ* y en laboratorio con diversos métodos colorimétricos y potenciómetros.

Una vez concluidos los análisis correspondientes a los resultados obtenidos, se procederá a realizar las respectivas conclusiones que permitan determinar el estado fisicoquímico y biológico de los puntos muestreados tratando de establecer ciertas condiciones que puedan ser generales para el embalse y que sirvan de criterios o puntos base para futuros estudios o planes de preservación o mantenimiento de este gran ecosistema.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las actividades antrópicas generadas en el embalse de Betania y su área de influencia han degradado notablemente la calidad de este gran ecosistema. Es importante tomar acciones para determinar con exactitud las condiciones de salubridad presente en sus aguas. Es por esto que el uso de herramientas diagnósticas de fácil acceso y bajos costos representan una alternativa viable y segura. Las herramientas a la que se hace referencia son de carácter biológico y están dedicadas al estudio de las comunidades que habitan en el agua y que presentan adaptaciones evolutivas a unas determinadas condiciones ambientales, presentando unos límites de tolerancia a las diferentes alteraciones de las mismas (Alba-Tercedor J. , 1996).

Para el caso en particular, este proyecto se centra en el estudio de las comunidades de macroinvertebrados presentes en el fondo del embalse. Se hace importante conocer la estructura y composición de estos organismos ya que la variedad de especies y las características que poseen frente a ciertos parámetros físicos o químicos del sistema acuático generan información y criterios para la evaluación de la contaminación basados en su integridad biológica. Las razones de escoger a los macroinvertebrados del bentos como punto central de este estudio radica principalmente al poco conocimiento que se tiene de estas comunidades en los embalses colombianos y como estos individuos pueden servir en el control y vigilancia de la contaminación como organismos bioindicadores. Las facilidades en el muestreo que no requieren equipos costosos, el tamaño relativamente grande de los individuos (visibles a simple vista), ciclos de desarrollo suficientemente largos permitiendo detectar cualquier alteración y la diversidad de especies que presentan forman una gran variedad de situaciones de tolerancia frente a diferentes parámetros de contaminación (Alba-Tercedor J. , 1996), son ventajas que presentan los estudios de este tipo.

De acuerdo a esto el presente estudio busca determinar la composición y estructura de los macroinvertebrados bentónicos para establecer la calidad del agua en el embalse de Betania. Este estudio busca analizar la comunidad de bentos del embalse y determinar la relación que tiene con la naturaleza del sedimento y el grado de eutrofización del mismo.

Por lo anterior surgen las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cómo es la estructura y composición de la comunidad de los macroinvertebrados del bentos en el embalse de Betania en las escalas espacial y temporal?
- ¿Cómo se pueden analizar estos organismos para evaluar la calidad del agua presente en el embalse de Betania?

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Realizar un estudio sobre la composición y estructura de la fauna bentónica como herramienta para diagnosticar el estado de la calidad del agua en el embalse de Betania en dos periodos climatológicos.

2.2. Objetivos Específicos

- Realizar una comparación en la distribución espacial y temporal de la comunidad de macroinvertebrados en cada uno de los puntos muestreados.
- Identificar los diversos grupos que conforman la fauna bentónica al máximo nivel taxonómico posible dependiendo de la literatura disponible para cada grupo.
- Determinar los indicadores ecológicos como Abundancia de especies, Diversidad de especies, Riqueza de especies, Índice Biótico de la fauna de macroinvertebrados bentónicos.
- Establecer algunas de las características fisicoquímicas del agua en el embalse.

3. MARCO REFERENCIAL

3.1. Descripción del embalse de Betania y su zona de influencia

A continuación, se hará una breve descripción de aspectos relevantes para el conocimiento integral del embalse de Betania.

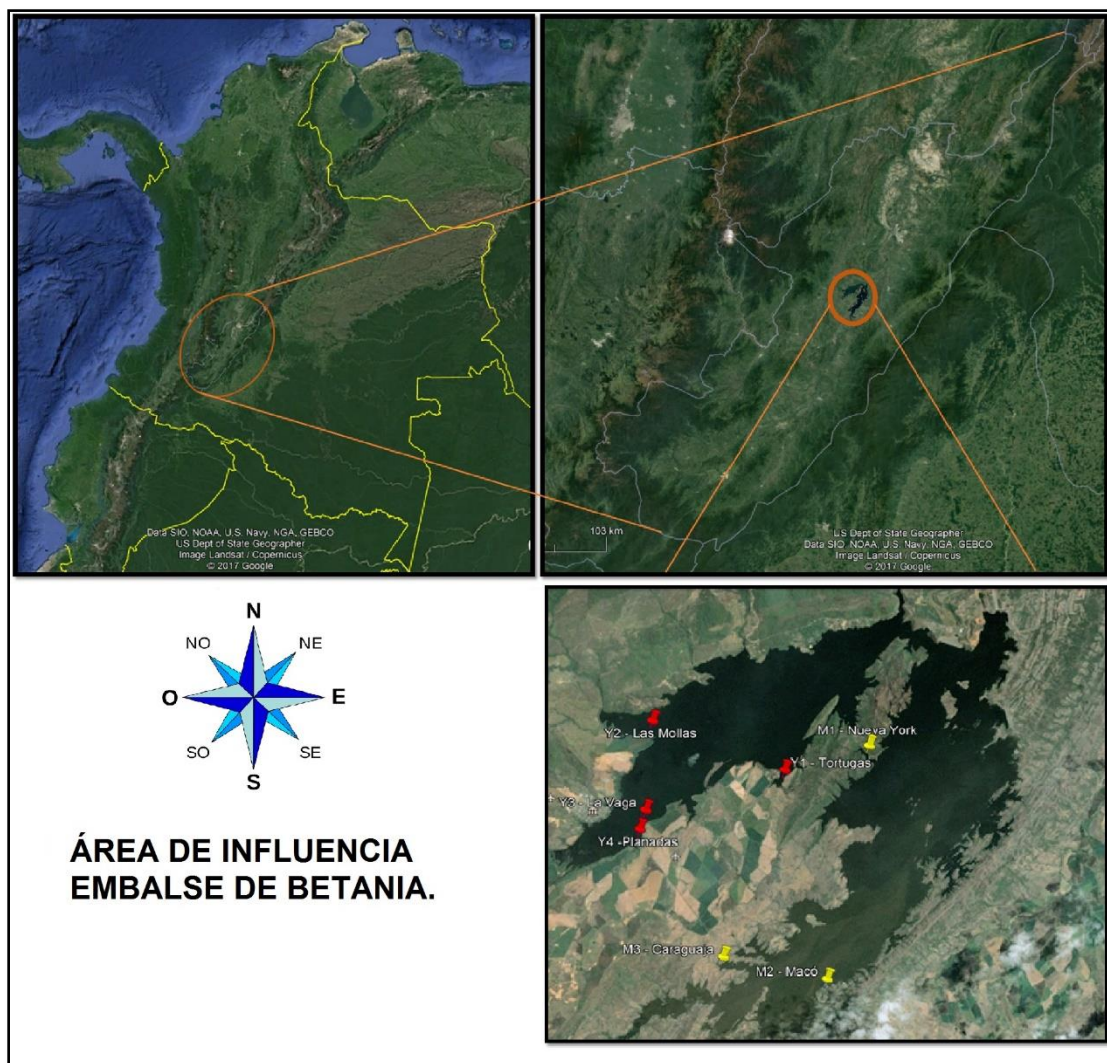


Figura 1. Descripción del área de estudio. Fuente: Autor

El embalse de Betania está localizado en el sur occidente del departamento del Huila, en la cuenca alta del Río Magdalena a $2^{\circ}42'$ de latitud norte y $75^{\circ}26'$ de longitud oeste. Tiene un volumen total hasta la cota de vertedero (557 msnm) de 2.000 millones de m^3 , un área media de 7.424 Ha, profundidad

máxima y media de 90 y 28 m, longitud máxima de 22 Km y su tiempo de retención hidráulico promedio es de 50 días con un valor máximo de retención de 130 días y mínimo de 24 días, valores que reflejan el grado de estabilidad en el manejo hidráulico del sistema (Cala, 1995).

El embalse de Betania presenta dos zonas bien diferenciadas, producto del origen de las aguas de los ríos que lo conforman: una zona comúnmente conocida como subembalse del Magdalena de 5.278 Ha. Este afluente nace en el Macizo Colombiano a 3.600 msnm al sur del departamento del Huila y sus aguas aumentan en caudal gracias al aporte de los ríos Guarapas, Timaná, Suaza y Páez. El subembalse del Yaguará de 2.146 Ha, formado por el río Yaguará, este nace en las estribaciones del Nevado del Huila en jurisdicción del Municipio de Nátaga, recorre los municipios de Tesalia, Iquíra y Yaguará, durante su trayecto recibe las aguas de los ríos Iquíra, Pedernal y las quebradas Salada, la Limonada, el Arenoso, Machuelo, el Juguito, Agua dulce, San Cayetano y Agua Negra. Confluyen directamente al embalse las microcuencas Quebrada la Mochila, Agua Hedionda, Chichallaco, el Medio, el Capote, la Boba, la Caraguaja, las Damas, la pacha, la Brisa, la Montañita, la verde y el Oval. El río Yaguará se caracteriza por ser menos profundo, con mayor desarrollo de zonas litorales y menor caudal aferente comparado con el Magdalena.

Clima e hidrografía: El área de influencia se encuentra localizada en la zona de bosque seco Tropical, con terrenos ondulados y planos (Cala, 1995) y precipitación anual de 1,000 a 2,000 mm, de carácter bimodal con picos de lluvia en los meses de Abril y noviembre, la evapotranspiración supera el promedio de estas precipitaciones, lo que ocasiona un déficit hídrico durante algunos meses del año (Larrondo, 1992). Estas características obedecen principalmente a dos regímenes estacionales diferentes; uno al sur del departamento donde se encuentran los vientos alisios de ambos hemisferios junto con los vientos de la corriente occidental en una línea llamada zona de convergencia intertropical (ZCI), trayendo consigo las primeras lluvias del año, mientras que la otra al norte del departamento se presenta el fenómeno contrario anticiclónico donde aparecen los meses de verano. Estos procesos aparecen de manera intercalada explicando el carácter bimodal estacional de las épocas de lluvias y sequía en el departamento del Huila. (Daphnia Ltda, 2003)

La temperatura promedio mensual en el departamento para la zona del embalse es de 28°C. El ciclo anual de temperaturas tanto en el departamento como en el resto de la cuenca alta del río Magdalena presenta reducidas variaciones debido a los ciclos de vientos y precipitaciones que amortiguan los valores máximos y mínimos. La variación de la humedad relativa se mantiene prácticamente constante en la zona; presenta valores promedios que oscilan entre 68% y 84% desde la divisoria de la cuenca hasta el sitio de presa.

Geología y Geomorfología: El departamento del Huila se encuentra ubicado dentro de tres grandes zonas geomorfoestructurales de carácter regional pertenecientes a las cordilleras Central en su flanco Oriental y la cordillera Oriental en su flanco occidental, separadas entre sí por la depresión tectónica perteneciente al valle superior del río Magdalena. Dentro de esta gran zona se han desarrollado unidades geomorfológicas que difieren en origen, tamaño y distribución, formando unidades paisajísticas y de relieve que le dan una identidad única y especial al departamento.

De acuerdo a los mapas geomorfoestructurales del departamento del Huila publicados por INGEOMINAS (1988) y el IGAC (1992). El embalse de Betania y su área de influencia se encuentra dentro de la categoría de Terrazas Aluviales y Abanicos de Terraza, correspondientes a geoformas de relieve plano a ligeramente inclinado, caracterizado por valles y planicies aluviales principalmente del río Magdalena y Yaguará. En estos niveles de terraza, es fácil encontrar cantos, guijarros y gravas de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, embebidas en una matriz limoarenosa a conglomerática, presentan cierta estratificación con capas y bancos de materiales arenosos tobáceos interestratificados con las capas conglomeráticas.

Principales Rasgos Estructurales: A lo largo del departamento existe una marcada tendencia de estructuras plegadas en dirección Norte – Sur, desarrollados principalmente en rocas sedimentarias del Cretáceo y Terciario, reflejan claramente los efectos de la tectónica compresiva que ha tenido lugar durante las fases de desarrollo y evolución de la cordilleras central y oriental.

Según Gómez H. (1992, citado en INCODER, 2003), existen seis grandes provincias que distinguen los principales rasgos estructurales del Departamento del Huila, dos de las cuales corresponden al área de influencia del embalse:

- **Provincia de las Minas-Tesalia:** Compuesta por bloques basculados, limitado por las fallas de la Plata -Pacarní al occidente y las fallas del Magdalena, Pital, El Agrado-Betania al este. Este bloque se desarrolla principalmente sobre rocas del Cretáceo y Terciario formando estructuras plegadas de tipo anticlinal y sinclinal.
- **Provincia de Timaná-El Hobo:** Está comprendida entre los sistemas de fallas del Magdalena-Pital, El Agrado -Betania al occidente y los sistemas de fallas de Pitalito, Altamira, Garzón y Algeciras al oriente; se extiende desde el extremo suroccidental de Timaná, donde afloran las rocas más antiguas del Macizo de Garzón y se prolonga hasta el extremo norte de Neiva, donde se encuentran las secuencias de rocas más jóvenes del valle alto del río Magdalena.

Aspectos relacionados con las amenazas naturales: Debido a la gran variedad de ambientes geológicos, geomorfológicos y tectónicos dominantes, combinado con las condiciones climáticas y los tipos de relieve, el departamento se convierte en un escenario vulnerable para que ocurran fenómenos de desastres naturales siendo el embalse de Betania susceptible a recibir daños a causa de avalanchas asociadas a los sistemas de drenaje de alta montaña.

De acuerdo a registros históricos y de eventos recientemente ocurridos, las altas precipitaciones en periodos lluviosos han obligado al embalse en varias oportunidades a abrir sus compuertas debido al aumento abrupto de los niveles de agua, trayendo como consecuencia el desbordamiento en grandes áreas adyacentes a la llanura aluvial del río Magdalena, desde inmediaciones de Neiva hasta los municipios de Aipe y Villavieja.

Vegetación y usos del suelo: Los alrededores del embalse están insertos dentro de las áreas de agroecosistemas andino e interandino que en el Huila cubren una superficie total de 1'450.507 ha y representan el 76% del área del departamento. Estos ecosistemas coinciden con la zona de producción agropecuaria ecoeficiente (ZPAE) de acuerdo con la Zonificación Ambiental del Huila. En ellas tienen lugar las principales actividades agropecuarias del departamento y corresponden a las zonas que presentan mayor amenaza por erosión (CAM, 2007).

En la actualidad se identifican trece tipos de cobertura vegetal en el área de influencia del embalse de Betania a saber: bosques secundarios intervenidos, rastrojo, pastos naturales, pastos manejados, cultivos intensivos, cultivos permanentes, pastos y rastrojos, Rastrojos en afloramientos rocosos, Pastos y rastrojos en tierras eriales, Programas de reforestación, zonas de recreación y urbana, como se muestra en la Tabla 1.

	Cobertura Vegetal	Símbolo	Uso Actual	Área (km ²)	%
1	Bosque secundario	Bs	Protección de cuerpos de agua	4.27	1.03
2	Rastrojo	Ra	Protección y Descanso	32.59	7.82
3	Pastos naturales	Pn	Ganadería extensiva y temporal	44.33	10.64
4	Pastos manejados	Pm	Ganadería intensiva y semintensiva	27.54	6.61
5	Cultivos intensivos	Ci	Producción de alimentos. Arroz	49.80	11.96
6	Cultivos permanentes	Cf	Producción de alimentos, Frutales, café	19.28	4.63
7	Pastos y Rastrojos	Pr	Ganadería extensiva	113.49	27.24
8	Rastrojos y pastos	Ra/Pr	Conservación y ganadería extensiva temporal	67.44	16.19
9	Rastrojos en afloramientos rocosos	Af/Ra	Conservación- Ganadería extensiva	38.31	9.20
10	Pastos y rastrojos en tierras eriales	Te/Pr	Ganadería extensiva	10.60	2.54
11	Programas de reforestación	F	Conservación y protección	2.29	0.55
12	Tierras eriales	Te	Sin Uso	1.99	0.48
13	Zonas de recreación	Zr	Recreación	0.94	0.10
14	Zonas Urbanas	Zu	Habitación	1.06	0.36

Tabla 1. Cobertura vegetal y usos del suelo. Fuente: Dahnia Ltda.

Estas coberturas evidencian el resultado de años de intervención antrópica y del cambio constante en el uso del suelo. Los bosques secundarios presentes en el área de influencia del embalse comprenden un porcentaje mínimo, pero que han tenido de igual manera una sensible recuperación debido a las actividades de reforestación y cuidado de la cobertura vegetal contemplados en los planes de manejo ambiental, generando importantes valores paisajísticos y otros servicios ecosistémicos.

Algunas especies representativas de estas áreas son el caracoli (*Anacardium excelsum*), indio desnudo (*Bursera simaruba*), ceiba (*Ceiba pentandra*), algarrobo (*Hyemenea courbaril*), guayacán (*Tabebuia* sp), hobo (*Spondias mombin*) y samán (*Phythececelobium saman*). A nivel biogeográfico, los estudios del área demuestran que se encuentran especies compartidas con el litoral Caribe y los enclaves secos del valle del Magdalena. Así mismo, se encuentran especies con distribución regional, registradas para los departamentos del Huila, Tolima, Valle y Cundinamarca.

La mayor parte del área está relacionada con pastos, rastrojos y áreas de cultivo. Todas estas zonas tienen implicaciones directas e indirectas sobre el equilibrio natural del ecosistema del embalse. En las zonas dedicadas a la agricultura se identifican dos tipos de cultivo; los intensivos como el arroz, de mayor extensión con prácticas de manejo tecnificado ubicadas en zonas más

planas sobre el borde del embalse y del Río Magdalena y los cultivos permanentes presentes en pequeñas parcelas situadas en poca pendiente.

Características socioeconómicas: La actividad principal de esta población es la pesca con el 47% de sus pobladores desempeñando esta labor y el 53% realizando otras actividades ocasionales como la agricultura, ganadería, piscicultura y trabajos varios en la industria del petróleo, comercio y minería.

Los productos pesqueros del embalse de Betania generalmente son comercializados en la misma localidad y ocasionalmente son llevados hasta la ciudad de Bogotá. Los centros de acopio y comercialización de la región se ubican en los municipios de Yaguará, Hobo y en Neiva, la capital del departamento (INCODER, 2003).

El municipio que se encuentra más influenciado por el embalse tanto en la magnitud de la zona de inundación, como en la generación de empleo e impacto ambiental y social es el municipio de Yaguará el cual posee una extensión de 32.900 Has, 105.7 Has (0.32%) en el casco urbano y 32.794,3 Has (99.68%) en el sector rural. El espejo de agua del embalse ocupa 7.400 Has que son el 22.49% del área total del municipio. El área agrícola ocupa una extensión de 1.333 Has, principalmente en cultivos de arroz riego (1.200 Has), cacao (44 Has), guanábano (52 Has), cítricos (2 Has) Mango (20 Has) y pequeños lotes de pancoger de unos 45 productores de diferente extensión que ocupa un área aproximada de 15 Has (Secretaría de Planeación Municipal - Yaguará, 2017).

Según la CAM, la capacidad de carga del embalse es de 30.000 toneladas año. Hoy solo produce unas 4.000 toneladas año de carne de pescado fresco. La producción nacional de mojarra roja es de 24.000 toneladas año, de la cual el departamento del Huila aporta 7.000 toneladas año y de este valor la represa Betania produce 600 toneladas año, con los pequeños productores, ocupando un área de 11.800 M2 de espejo de agua.

3.2. Antecedentes

Las investigaciones de macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua se encuentran en auge en varias partes del mundo, debido a sus ventajas frente a otros métodos de análisis, por la disminución de costos de implementación, la verificación de alteraciones en el cuerpo de agua a mediano y largo plazo de acuerdo a sus ciclos de vida, entre otros.

Además, se puede decir que habitualmente la calidad del agua se ha establecido mediante análisis fisicoquímicos, que son más precisos en valor

absoluto, pero proporcionan información parcial y puntual. Otra de las ventajas de los macroinvertebrados como bioindicadores es que proporcionan una visión integrada y extendida en el tiempo sobre la calidad del agua, es decir, refleja las condiciones existentes tiempo atrás del muestreo. “Por ello, lo más conveniente es combinar los análisis fisicoquímicos con la utilización de índices bióticos” (Kalinin, 2008).

Particularmente interesante es el proceso abierto en la Unión Europea donde la indicación biológica es el núcleo de todo el sistema de monitoreo y evaluación de la calidad del agua de sus 27 países, dando incluso a luz a un nuevo concepto, el “Estado Ecológico”, y ello ha significado una revolución en la forma como los gobiernos europeos deben contemplar los indicadores biológicos de calidad del agua (DOCE, 2000; citado en Prat et al. 2004).

El primer reporte limnológico para Colombia, se debe a los trabajos realizados por el profesor Joaquín Molano Campuzano, quien, por contrato con el Ministerio de Agricultura, realizó una serie de estudios en varias lagunas y ríos, los cuales se centraron en mediciones físicas y químicas del agua y observaciones del plancton (Roldan, 2009; citado en Medina, 2016). Posterior a esto, Roberto Galán Ponce, profesor de la universidad de los Andes y colaborador del profesor Molano, inició una serie de estudios limnológicos de carácter aplicado al tratamiento biológico del agua y sobre el fitoplancton en lagunas y ríos en los alrededores de Bogotá (Medina, 2016).

Solo a partir de la década de los setenta comienzan a realizarse estudios limnológicos más detallados acerca de lagos, ciénagas, ríos y embalses de Colombia. La evaluación de la calidad del agua se inició en la década de 1970 en el departamento de Antioquia. Con la asesoría de especialistas en los diferentes órdenes, varios estudiantes del Programa de Biología de la Universidad de Antioquia, a través de sus trabajos de grado, hicieron importantes aportes para la publicación de la “Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia”, la cual fue la base para el desarrollo de la bioindicación de calidad de agua en otras regiones del país y Latinoamérica (Alonso-Eguía, 2014).

Dentro de los estudios realizados en el campo de la limnología en nuestro país, Oyaga M (2002), realiza importantes indagaciones no solo en el campo de la taxonomía, sino también en aspectos específicos de los ecosistemas lénticos en mención (los embalses). El hallazgo de familias no referenciadas, por ejemplo, son aspectos muy comunes para este tipo de publicaciones, debido a la carencia de material bibliográfico en este tema y a la etapa preliminar en la que se encuentra el análisis de macroinvertebrados para tal fin en nuestro país. Además del estudio y análisis de la correlación entre los procesos de eutrofización del embalse y su progresivo deterioro con los procesos

antrópicos de su área de influencia, determinan un antecedente importante en el análisis de la calidad de las aguas de estos cuerpos hídricos.

Por otro lado, el estudio de Oyaga M. (2002) es de vital importancia para estructurar el presente proyecto, ya que las bases conceptuales y procedimentales se asemejan en contexto y desarrollo. Asimismo, las conclusiones a las que llega son muy relevantes a la hora de hacer los análisis de resultados, pues como ya se ha mencionado las claves para esta región y estos tipos de ecosistemas en específico son mínimas, por lo tanto, no aplican en todos los casos.

Situándose ya específicamente en el cuerpo de agua que corresponde al presente estudio, según (Martínez, Delgado, & Muñoz, 2016) se habla de Betania como uno de los ecosistemas estratégicos del Huila más importantes y de mayor extensión dentro de las masas de agua lénticas del país, por su diversidad y la magnitud de vertimientos orgánicos de carácter alóctono se posiciona como uno de los ecosistemas más complejos. Como conclusión relevante de este estudio se habla de un nivel avanzado de eutrofización en todo el embalse, para lo cual se recomienda disminuir la intensidad de cultivo de las piscícolas, implementar jornadas de limpieza de los alrededores del embalse y en lo posible implementar un sistema de biorremediación para carga orgánica empleando algas o macrófitas. Esto se relaciona en gran medida con las conclusiones de otros estudios en los que se habla de la alteración de la integridad biológica del embalse a causa principalmente de la “eutrofización cultural” generada especialmente por la acción antrópica de carácter industrial y agrícola del área de influencia

De acuerdo a Daphnia Ltda (2007), en cuanto a los macroinvertebrados como un nivel superior en la cadena trófica, se encuentra que el embalse de Betania está dominado por las Clases Insecta (insectos), Arachnoida (ácaros), Gastropoda (caracoles), Bivalvia (ostras) y Oligochaeta (gusanos).

En un estudio anterior (Daphnia Ltda, 2003) se habla dentro de la caracterización hidrológica del embalse de los dípteros, especialmente de la familia Chironomidae, los que, aunque no son los más numerosos, si se constituyen en el grupo predominante, ya que se encuentran presentes en casi todas las estaciones monitoreadas (8 en total correspondientes a los dos Subembalses, en la zona ribereña, de transición y lacustre).

Comparativamente, la riqueza de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos es similar para los dos subembalses, sin embargo, la abundancia es mayor en el subembalse Magdalena, determinada principalmente por los moluscos de los Ordenes Gastropoda y Unionoida, indicadores de las condiciones de mineralización que lo caracterizan, tales como altos valores de dureza, alcalinidad y conductividad.

De acuerdo con los aspectos estructurales de la macrofauna bentónica, se puede concluir que esta es una comunidad poco desarrollada, que se caracteriza por la presencia de pocas especies y bajas abundancias. Sin embargo, es importante tener en cuenta que esta es una condición común de la fauna bentónica en cuerpos lénticos profundos, debido a que no son muchas las especies que se adaptan a vivir con bajos niveles de oxígeno y limitaciones en la disponibilidad de alimento.

Comparando el comportamiento de esta comunidad, con el presentado en el monitoreo anterior de febrero de 2003, se hace evidente un mayor desarrollo para la época de mayor nivel (diciembre de 2003), debido a que los aportes provenientes de los ríos, durante este periodo, crean condiciones favorables para que esto suceda.

Por último, como conclusión de este mismo estudio se realiza una recomendación muy importante a tener en cuenta en el presente proyecto y es tener especial cuidado a la hora de caracterizar los Moluscos de la familia Thiaridae, especialmente si se determina que corresponden al género Melanoides que, de acuerdo con otros estudios, han sido considerados como invasores que desplazan poblaciones nativas de otros moluscos, mediante la competencia por el espacio y el alimento. En lo que corresponde al estudio de Daphnia Ltda (2003), la presencia de este tipo de individuos es abundante para el Embalse de Betania, aunque en este momento no se puede considerar riesgosa, ya que es muy localizada y sus abundancias no son muy altas. Se recomienda, sin embargo, continuar vigilando en los monitoreos futuros, el crecimiento o desplazamiento de estos moluscos.

3.3. Referentes Bibliográficos

La limnología ha tomado gran importancia en el área de los estudios ambientales, ya que las masas de agua continentales objeto de estudio de la disciplina en mención hacen parte de uno de los recursos “renovables” más importantes para el ser humano; en ámbitos como la economía, la sostenibilidad, la vida en comunidad, el contexto académico entre otros.

La limnología es en la actualidad un campo de la ecología de gran trascendencia, debido a los estudios que en esta ciencia se desarrollan, en tiempos en los que el ciclo del agua se ha visto tan alterado y su relación con la flora y la fauna pertenecientes a estos ecosistemas presentan marcados cambios, que merecen ser estudiados y analizados.

Es de resaltar que la limnología en el trópico americano aun es una ciencia nueva, poco conocida y de escaso desarrollo en la mayoría de los países neotropicales, aunque a raíz de la contaminación y el agotamiento del recurso hídrico se ha dado relevancia a su estudio, en especial en casos como el del

presente trabajo en los que la posibilidad de establecer relaciones de los organismos con su entorno físico y químico es su principal objetivo.

Los estudios limnológicos sobre calidad de agua, parten del principio de que a cada tipo de ecosistema acuático está asociado una comunidad particular de organismos (Margalef 1983, Wetzel 1983, Roldán 1992, citado en Posada, Roldán, & Ramírez, 2008). Entonces es preciso decir que el componente agua es una parte del ecosistema acuático en el que se desarrollan una serie de comunidades vivas que dependen de las características fisicoquímicas del mismo y pueden verse notablemente modificadas al ser alteradas (López, 1995)

En la ecología de los cuerpos de agua, la comunidad de macroinvertebrados bentónicos es de principal importancia para el entendimiento de la estructura y el funcionamiento de estos ecosistemas, como eslabón fundamental de la cadena trófica sirviendo de alimento a los peces, así como a las aves y anfibios asociados al medio acuático; como indicadores biológicos de la calidad del agua y como componentes del sistema acuático aportando riquezas y diversidad. (González y García, 1995; Rosenberg y Resh, 1993, citados en (Convenio Cortolima - CORPOICA - SENA - Universidad del Tolima, 2003)). Además, esta comunidad también provee una importante herramienta para monitoreos y programas de manejo y control de los ecosistemas acuáticos.

Para definirlos mejor podríamos decir que los macroinvertebrados son organismos acuáticos que como su prefijo lo indica “macro” se pueden observar a simple vista debido a su tamaño y estructura. (McCafferty, 1981; Roldán, 1988; 1992; González y García, 1995 citado en Convenio Cortolima - CORPOICA - SENA - Universidad del Tolima, 2003). Por tal razón, se han convertido en una de las comunidades más llamativas para los estudiosos de los ecosistemas hídricos ya sean lénticos o loticos y por aquellos interesados en obtener bioindicadores del agua, a partir de su estudio. Estos organismos viven en diferentes cuerpos de agua, 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

Los macroinvertebrados bentónicos han sido reconocidos como potenciales indicadores de la calidad biológica de los sistemas acuáticos fluviales desde hace mucho tiempo, esencialmente por su amplia distribución y diversidad, lo que les permite adaptarse a características muy definidas de calidad del agua. Además, son capaces de integrar información temporal y su sensibilidad les permite responder a varios tipos de perturbaciones y contaminantes, reflejando el efecto integrado de todas las variables ambientales (Carvacho, 2012)). Para estos organismos se usa de forma habitual el nivel taxonómico de familia como indicador de las condiciones ambientales y de la estructura de la comunidad (Carvacho, 2012).

En los embalses, los fondos suelen ser poco diversos y las comunidades litorales tienen escasa representación debido a las fluctuaciones no sistemáticas del nivel del agua. Esto implica una sensible reducción de la diversidad de hábitats respecto a otros ecosistemas acuáticos. Por ello, las comunidades bentónicas de los embalses suelen estar dominadas por escasos grupos, entre los que se destacan los anélidos (oligoquetos) y dípteros (quironómidos). Sin embargo, estas asociaciones explotan el exceso de producción primaria no utilizada y que se incorpora a la fracción detrítica, de modo que pueden alcanzar considerables densidades. (Monteoliva, 2000)

En la fauna bentónica están incluidos diversos grupos de invertebrados como moluscos, lombrices, sanguijuelas, platelmintos, crustáceos, ácaros y fundamentalmente los estados juveniles de varios ordenes de insectos. La preferencia por éste grupo se debe a varias razones, que son señaladas por Reece y Richardson (1999)¹: i) son relativamente sedentarios y por lo tanto representativos del área donde son colectados; ii) tienen ciclos de vida relativamente cortos comparados con los peces y reflejan con mayor rapidez las alteraciones del medio ambiente mediante cambios en la estructura de sus poblaciones y comunidades; iii) viven y se alimentan en o sobre los sedimentos donde tienden a acumularse las toxinas, las cuales se incorporan a la cadena trófica a través de ellos; iv) su sensibilidad a los factores de perturbación y responden a las sustancias contaminantes presentes tanto en el agua como en los sedimentos, y v) son fuente primaria como alimento de muchos peces y participan de manera importante en la degradación de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes.

Para el presente estudio además de reconocer el componente biológico también es necesario tener información específica del sistema hídrico a tratar; los embalses, que son cuerpos de agua híbridos de origen artificial, en los que se genera una transformación del ecosistema de uno lótico a uno léntico y a su vez se modifica de un hábitat terrestre a uno acuático, generando cambios ecológicos en el área de captación. Este tipo de ecosistemas se caracterizan por exportar aguas ricas en nutrientes pero carentes de oxígeno, en este orden de ideas se tiene que las comunidades de individuos se caracterizan por ser pobres, pero de gran variabilidad, en esta clase de ambientes. Además, presentan mayores niveles de sedimentación que otros cuerpos de agua similares como los lagos, debido a la cantidad de sedimentos que ingresan al sistema, provenientes de los diferentes afluentes, los cuales son de tipo alóctono que en la mayoría de los casos se acumulan en el fondo de la zona ribereña.

Las represas son conocidas por su complejo proceso de eutrofización, que en este caso en particular suele ser mayoritariamente de tipo artificial o cultural,

¹ Citado en Entomofauna lótica bioindicadora de la calidad del agua (Vergara Olaya, 2009)

es decir generado a partir de acciones antrópicas de origen doméstico, industrial, agrícola o ganadero, siendo esta una de las alteraciones más comunes y más problemáticas de los embalses. En la actualidad el análisis del cambio de variables físicas, químicas y biológicas en estos ecosistemas pueden originar datos relevantes en el estudio de la calidad del agua del cuerpo hídrico en mención.

Por lo tanto, como mecanismo de monitoreo es esencial el seguimiento a las biocenosis, ya que estas en cada nivel integran las tensiones que reciben del entorno, directamente o a través de los demás niveles con los que interactúa. La subsecuente reacción se expresa mediante mecanismos reguladores de integridad ecológica. Las comunidades biológicas que se desarrollan en el embalse se superponen a este condicionado abiótico e interactúan con él, de forma que la resultante de estas interacciones determina la calidad del agua en cada momento del ciclo anual (Monteoliva, 2000).

Otro punto relevante en el estudio de la integridad biológica y la calidad del agua radica en el análisis de las fronteras o ecotonos. Según INCODER (2003), el embalse presenta una zonificación longitudinal que abarca desde la entrada del río o zona ribereña, zona de transición (parte media) y zona lacustre. La zona ribereña se caracteriza por tener una forma alargada presente en los brazos de los ríos Magdalena y Yaguará; allí el caudal disminuye, pero conserva una alta capacidad de transporte de materiales. La zona de transición presenta procesos de sedimentación con alta penetración de la luz. La zona lacustre se comporta como un lago con alta penetración de la luz.

Desde el punto de vista de zonificación vertical, el embalse presenta estratificación térmica y química, con una zona limnética que presenta altos valores de productividad durante las horas de mayor iluminación, que se manifiestan con la sobresaturación de oxígeno, pH básico y alcalinidad total al bicarbonato. La zona de aguas profundas (Hipolimnion) varía entre hipóxica (bajas concentraciones de oxígeno) y anóxica (sin oxígeno). La zona litoral, se caracteriza por presentar pequeños sectores con desarrollo de macrófitas flotantes y emergentes en las colas del embalse que guardan relación con los vertimientos que se realizan en los municipios de Hobo y Yaguará principalmente (INCODER, 2003).

Para el presente estudio se tendrá en cuenta la zonificación longitudinal del embalse entre la zona ribereña y la de transición y las similitudes y diferencias que tengan entre sí.

Aunque el comportamiento limnológico de los embalses tropicales situados en países en desarrollo sigue siendo poco conocido (Roldán & Ramírez, 2008); debido entre muchas otras razones a la falta de interés y apoyo gubernamental

para este tipo de estudios, y la poca difusión que tienen, así como la negligencia a la hora de poner en marcha proyectos que den continuidad a las conclusiones y recomendaciones hechas en dichos estudios, estos han tomado gran relevancia en los últimos años debido a los bajos costos que generan y a la confiabilidad de los datos que se obtienen.

Esto se debe a que la mayoría de los parámetros utilizados para la evaluación de la calidad del agua son de carácter fisicoquímico, que no reflejan las posibles alteraciones existentes que hayan podido suceder tiempo atrás. Por este motivo la vigilancia y control de la contaminación del agua se complementa con organismos como bioindicadores. (Alba-Tercedor J. , 1996)

Existen multitud de metodologías que utilizan una amplia variedad de organismos: bacterias, protozoos, algas, macrófitas, macroinvertebrados y peces, entre otros. De todas las metodologías, aquellas basadas en el estudio de los macroinvertebrados acuáticos son las más usuales. Las razones fundamentales de esta preferencia radican en su tamaño relativamente grande (apreciable a simple vista), su fácil captura y a que reflejan las posibles alteraciones existentes en el medio. Por ello, los juicios respecto a la calidad del agua realizados mediante métodos biológicos son más confiables que los obtenidos con base en los métodos fisicoquímicos. (Alba-Tercedor J. , 1996)

El concepto de bioindicador aplicado a la evaluación de calidad de agua, es definido como: “especie (o ensamble de especies) que poseen requerimientos particulares con relación a uno o a un conjunto de variables físicas o químicas, tal que los cambios de presencia/ausencia, número, morfología o de conducta de esa especie en particular, indiquen que las variables físicas o químicas consideradas, se encuentran cerca de sus límites de tolerancia” (Rosemberg & Resh, 1993, citado en Gamboa, Reyes, & Arrivillaga, 2008). Es decir, que un bioindicador es aquel cuyas respuestas biológicas son observadas frente a una perturbación ecológica y están referidos como organismos o sistemas biológicos que sirven para evaluar variaciones en la calidad ambiental (Gamboa, Reyes, & Arrivillaga, 2008).

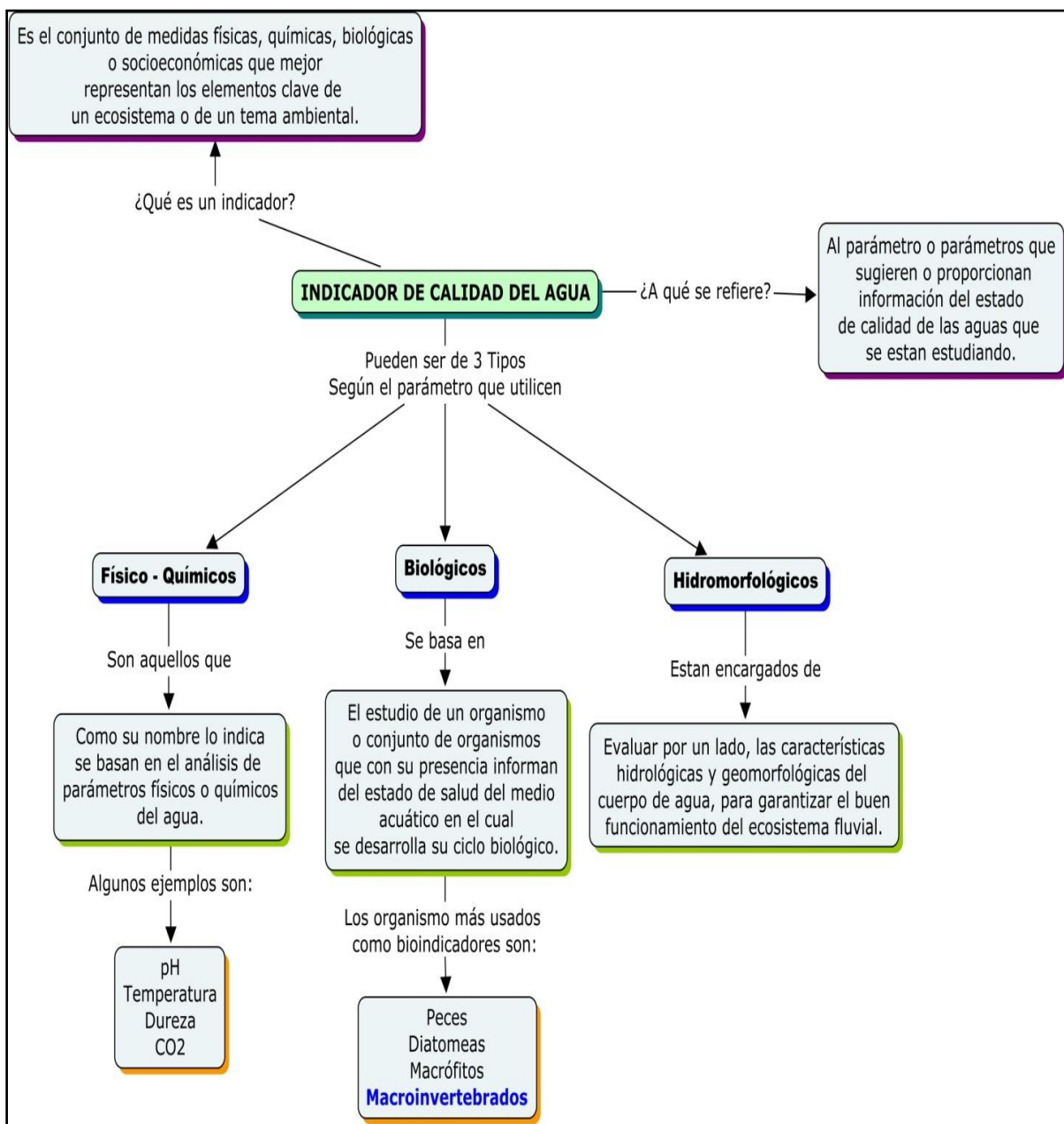


Figura 2. Indicador de calidad del agua. Fuente: IAGUA material de consulta - Ajustes de Autor

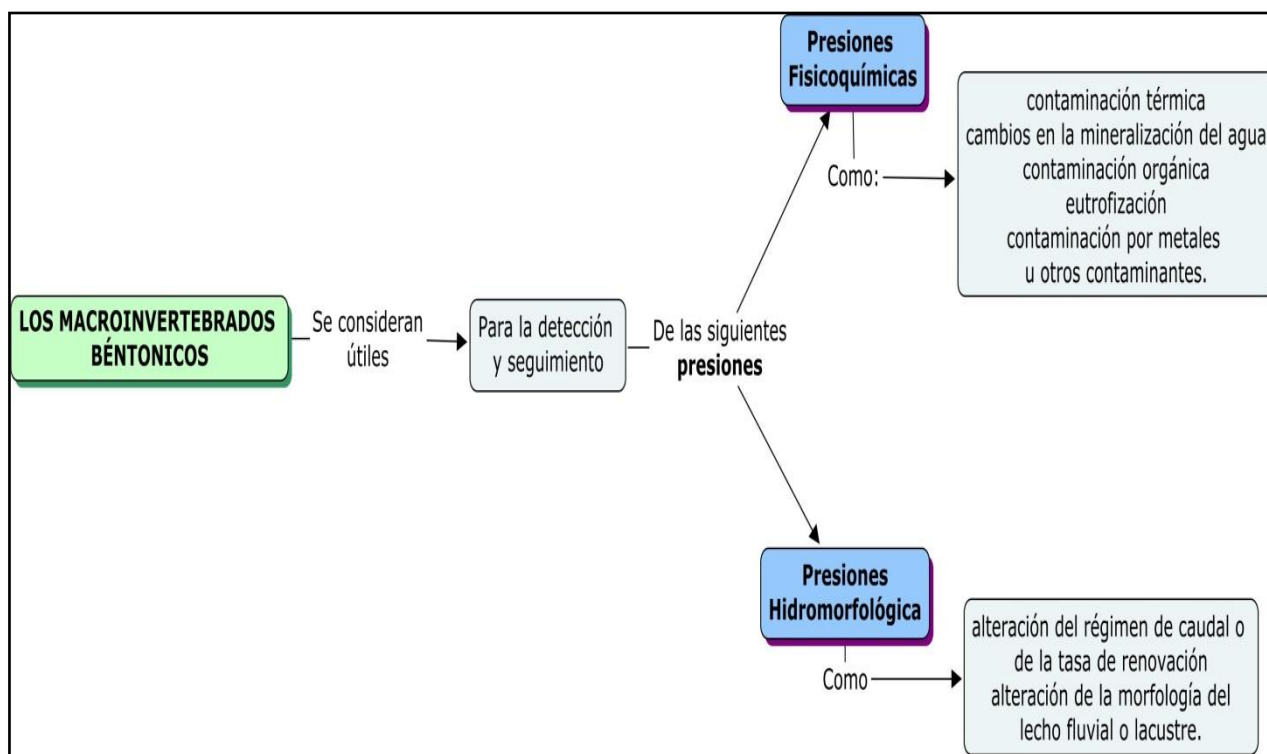


Figura 3. Bioindicadores - Macroinvertebrados Bentónicos. Fuente: Autor

En general los índices de Calidad de las Aguas se han venido utilizando desde hace algún tiempo, con el propósito de simplificar en una expresión numérica las características positivas o negativas de cualquier fuente de agua, relata Arce (2006).

Por lo general, todo organismo es indicador de las condiciones del medio en que se desarrolla, ya que de cualquier forma su existencia en un espacio y momentos determinados responden a su capacidad de adaptarse a los distintos factores ambientales.

Según Villalobos & Albéndiz (2017), el uso de índices biológicos puede llegar a requerir mayores esfuerzos por parte del grupo investigador, pero que son justificables principalmente por dos ventajas: la primera es la destreza que tienen los bioindicadores para informar las alteraciones de agentes externos sobre el cuerpo de agua no necesariamente en el mismo momento del monitoreo sino a través de un proceso de tiempo atrás, además las distintas respuestas de los contaminantes se reflejan mejor en el estudio de todo un ecosistema con sus diferentes individuos que han sido sometidos a la variación que con el análisis de unos pocos parámetros seleccionados en ocasiones de forma incorrecta.

El análisis de las comunidades requiere utilizar expresiones matemáticas sencillas, empleando para ello datos taxonómicos y de tolerancia, en general se utilizan dos tipos de índices: de diversidad e índices bióticos.

Los índices de diversidad son expresiones matemáticas que usan tres componentes de la estructura de la comunidad: riqueza (número de especies presentes), equitatividad (uniformidad de 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. La suposición del planteamiento de la diversidad es que los ambientes no alterados se caracterizan por tener una alta diversidad o riqueza, una distribución uniforme de individuos entre las especies y una moderada a alta cantidad de individuos. En ambientes contaminados con desechos orgánicos degradables, la comunidad generalmente responde con un descenso de la diversidad con pérdida de organismos sensibles, aumento en la abundancia de los organismos tolerantes las cuales ahora tienen una fuente enriquecida de alimentos, y por supuesto un descenso de la equitatividad. En contraste, la respuesta a tóxicos no degradables o polución acida, se traduce en un descenso tanto de la diversidad como de la abundancia, así como en la eliminación de organismos sensibles, además que no hay fuentes adicionales de alimento para las formas tolerantes (Arce, 2006)

ÍNDICE	EXPRESIÓN MATEMÁTICA	USOS	INTERPRETACIÓN
Índice de diversidad Shannon – Wiener (H)	$H' = - \sum_{i=1}^S (p_i \times \log_2 p_i)$	Este índice relaciona el número de especies con la proporción de individuos pertenecientes a cada especie presente en la muestra. (Vergara Olaya, 2009)	Normalmente toma valores entre 1 y 4.5. Valores encima de 3 son típicamente interpretados como “diversos”.
Dominancia Simpson (D)	$D'_{si} = \sum_{i=1}^S \frac{n_i (n_i - 1)}{n (n - 1)}$	Mide la probabilidad de encontrar dos individuos de la misma especie en dos ‘extracciones’ sucesivas al azar sin ‘reposición’. se aplica para comunidades finitas’ donde todos los miembros han sido contados, es decir que n = N. (Facultad de Ciencias Naturales y Museo, 2016)	El índice generalmente fluctúa entre 0 y 1, con los valores más altos cuando predominan unas pocas especies y con valores más bajos en la medida en que se encuentren diversas especies con distribución más uniforme.
Equidad Pielou (J)	$J' = \frac{H'}{\log_2 S}$	Mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. (Magurran A. , 1988)	Su valor va de 0 a 0.1, de forma que 0.1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes

Índice de Margalef (R)	$R_1 = \frac{S - 1}{\ln(n)}$	Expresa la riqueza específica de una muestra de una forma sencilla, teniendo en cuenta simultáneamente el número de taxas y el número de individuos. (Margalef , 1958)	Valores por debajo de 2 suelen hacer referencia a ecosistemas con poca biodiversidad y superiores a 5 representan gran biodiversidad.
Índice de Berger – Parker (B)	$B = N_{\text{máx}} / N$	Mide la dominancia de la especie o taxón más abundante.	Este índice adquiere valores comprendidos entre 0 y 1 (0 % y 100 %). Es indicador de polución orgánica, degradación en la morfología del río y degradación general.

Tabla 2. Índices de calidad del agua. Fuente: Autor

4. METODOLOGÍA

4.1. Descripción del área de estudio

Se determinaron sus características físicas y químicas como también la presencia de organismos que pueden establecer las condiciones en cuanto a calidad se refiere de acuerdo a los usos que actualmente presenta este importante ecosistema.

4.1.1. Estaciones de muestreo

Los muestreos realizados corresponden a los planteados en los objetivos de esta investigación y procuran obtener datos en espacio y tiempo del agua presente en el embalse de Betania para dos épocas climáticas contrastantes: el primero en el mes de Marzo (baja precipitación) y el segundo en el mes de Junio (alta precipitación) en el año 2013. Es de aclarar que en contextos normales las condiciones hidroclimáticas se encuentran de forma inversa a las presentadas durante el año 2013, ya que según el IDEAM (2013) y los reportes meteorológicos para estos meses (marzo y junio) se presentaron comportamientos atípicos y lo que se suponía era el inicio de la temporada de lluvias (marzo) mantuvo valores muy bajos de precipitaciones, siendo este mes de marzo el menos lluvioso desde el 2010, caso contrario a lo que ocurrió en junio presentándose altos niveles, consecuencia de las altas precipitaciones del mes de mayo.

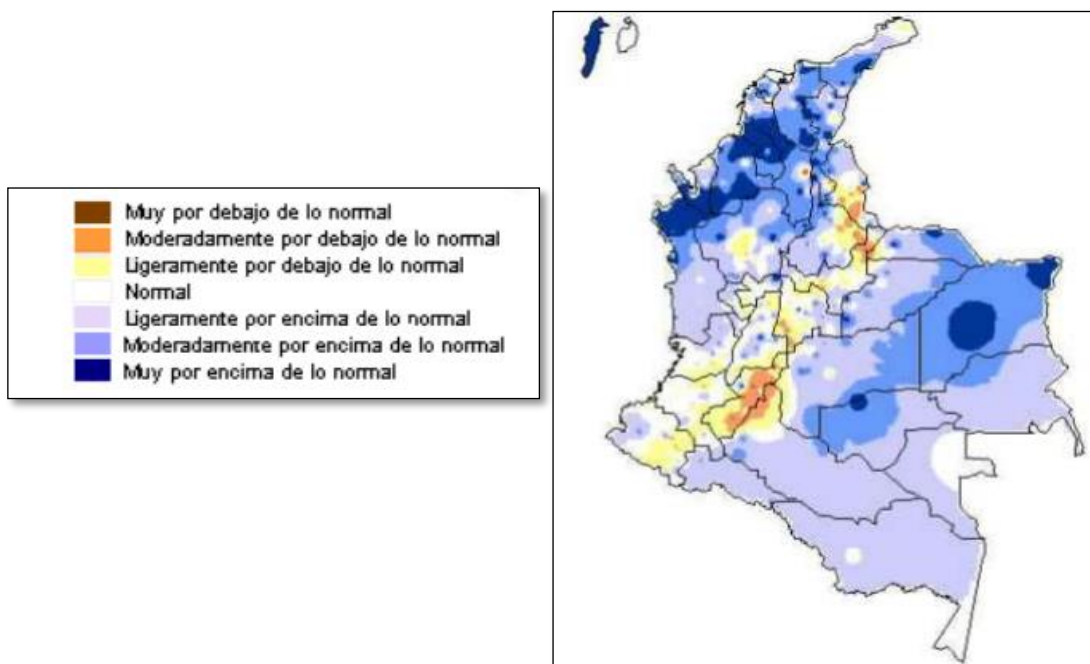


Figura 4. Anomalías del comportamiento de la lluvia durante marzo de 2013. Fuente: IDEAM

Para el análisis de la composición y estructura de los macroinvertebrados, se precisaron siete puntos de muestreo, tres en el brazo Magdalena (M1, M2 y M3) y cuatro en el brazo Yaguará (Y1, Y2, Y3 y Y4), con gradientes altitudinales que van desde los 560 a 581 msnm. Para la selección de estas estaciones de muestreo se tuvieron en cuenta las condiciones de diferentes hábitats acuáticos, la incidencia directa e indirecta de actividades antropogénicas dentro y fuera del embalse y la ubicación dentro de las zonas del mismo (Lacustre, Transición y Riverina). De esta manera, se determinó que en el brazo Yaguará existieran más puntos de muestreo, con el fin de identificar la incidencia que tiene sobre el embalse la cercanía de un centro poblado como lo es Yaguará y el impacto de las actividades antrópicas que se generan en este.

En la zona riberrina (cola del embalse) se encuentran los puntos Caraguaja (M3 - N 02°37,155' W 075°29,665'), Macó (M2 - N 02°37,375' W 075°27,856') y Planadas (Y4 - N 02°39,705' W 075°30,56), en la zona de transición (zona media del embalse): Nueva York (M1 - N 02°40,37' W 075°27,08'), las Moyas (Y2 - N 02°41,009' W 075°30,314') y la Vaga (Y3 - N 02°40,146' W 075°30,015') y en la zona lacustre (zona de presa): Tortugas (Y1 - N 02°40,517' W 075°28,486').

Nueva York – M1: Este punto ubicado en la zona noroccidental del brazo Magdalena, se caracteriza por ser una zona de gran explotación piscícola en jaulones y estanques tanto a nivel industrial como artesanal, generando grandes cantidades de material orgánico en descomposición. Además de esta actividad económica en el sector también se desarrollan labores agrícolas especialmente en cultivos de arroz de gran extensión, lo que se ve reflejado en zonas semiáridas y áridas, que circundan la estación de muestreo.



Figura 5. Estación de muestreo Nueva York M1 (marzo). Fuente: Autor



Figura 6. Estación de muestreo Nueva York M1 (junio). Fuente: Autor

Macó – M2: Se encuentra situado en el extremo suroriental del brazo Magdalena, su principal característica es ser un punto de intercambio de material orgánico proveniente del afluente hídrico, en este caso el río Magdalena, considerado la principal arteria fluvial del país. En el que la naturaleza del cuerpo de agua cambia su velocidad de flujo, transformando procesos biológicos como la fotosíntesis, la respiración y la descomposición.



Figura 7. Estación de muestreo Macó M2 (marzo). Fuente: Autor



Figura 8. Estación de muestreo Macó M2 (junio). Fuente: Autor

Caraguaja – M3: Esta estación de muestreo se encuentra ubicada en el extremo suroccidental del brazo Magdalena en una derivación de éste. Además de ser al igual que M2 un punto de conexión entre el río y el embalse, tiene características muy marcadas en su entorno como: la presencia de cultivos de arroz, vegetación de tipo rastrojo y una carretera que, aunque no conlleva directamente a unas zonas de extracción petrolera si se encuentran relativamente cerca al punto de muestreo.



Figura 9. Estación de muestreo Caraguaja M3 (marzo). Fuente: Autor.



Figura 10. Estación de muestreo Caraguaja M3 (junio). Fuente: Autor.

Tortugas – Y1: Caracterizada por ser una zona de fuerte producción agrícola especialmente en cultivos de arroz y tabaco con suelos circundantes semiáridos y áridos. Este punto de muestreo se encuentra en la zona nororiental del brazo Yaguará.



Figura 11. Estación de muestreo Tortugas Y1 (marzo). Fuente: Autor.



Figura 12. Estación de muestreo Tortugas Y1 (junio). Fuente: Autor.

Las Moyas – Y2: Estación de muestreo situada en la región suroccidental del brazo Yaguará, influenciada por cultivos de arroz y la descarga de aguas residuales provenientes de la zona urbana del municipio de Yaguará.



Figura 13. Estación de muestreo Las Moyas Y2. Fuente: Autor.

La Vaga – Y3: Se encuentra ubicado en el extremo suroriental del brazo Yaguará. Este punto tiene a su alrededor grandes extensiones de cultivos de arroz que descargan sus aguas residuales al embalse, además se hallan cerca unos asentamientos rurales que aumentan la influencia antrópica sobre el sistema.

Al igual que los puntos M2 y M3, Y3 es otro punto de intercambio, en este caso entre el río Yaguará y el embalse, teniendo en cuenta que el caudal y los tiempos de retención hidráulica son muy diferentes entre los dos afluentes (Yaguará y Magdalena) las características entre estas estaciones también tendrán una marcada variabilidad.



Figura 14. Estación de muestreo La Vaga Y3. Fuente: Autor.

Planadas – Y4: Esta última estación se ubica en la zona riberrina del embalse, en el extremo suroriental del brazo Yaguará, caracterizada por un alto nivel de sedimentación producto del ingreso del afluente (rio Yaguará) al embalse, además de cultivos de arroz y aguas residuales domésticas y agrícolas del sector.



Figura 15. Estación de muestreo Planadas Y4. Fuente: Autor.

Las muestras colectadas allí se caracterizan por presentar material arenoso. Es de resaltar la poca profundidad en este punto.

Los datos de ubicación y de georreferenciación de las estaciones de muestreo se encuentran en la Tabla 3 y Figura 16.

Subembalse	Código Estación	Nombre	Coordenadas Geográficas	Altitud m.s.n.m
Magdalena	M1	Nueva York	N 02°40,37' W 075°27,08'	565
	M2	Macó	N 02°37,375' W 075°27,856'	560
	M3	Caraguaja	N 02°37,155' W 075°29,665'	581
Yaguará	Y1	Tortugas	N 02°40,517' W 075°28,486'	567
	Y2	Las Moyas	N 02°41,009' W 075°30,314'	575
	Y3	La Vaga	N 02°40,146' W 075°30,015'	567
	Y4	Planadas	N 02°39,705' W 075°30,567'	572

Tabla 3. Localización geodésica de las estaciones de muestreo para el presente estudio. Fuente: Autor

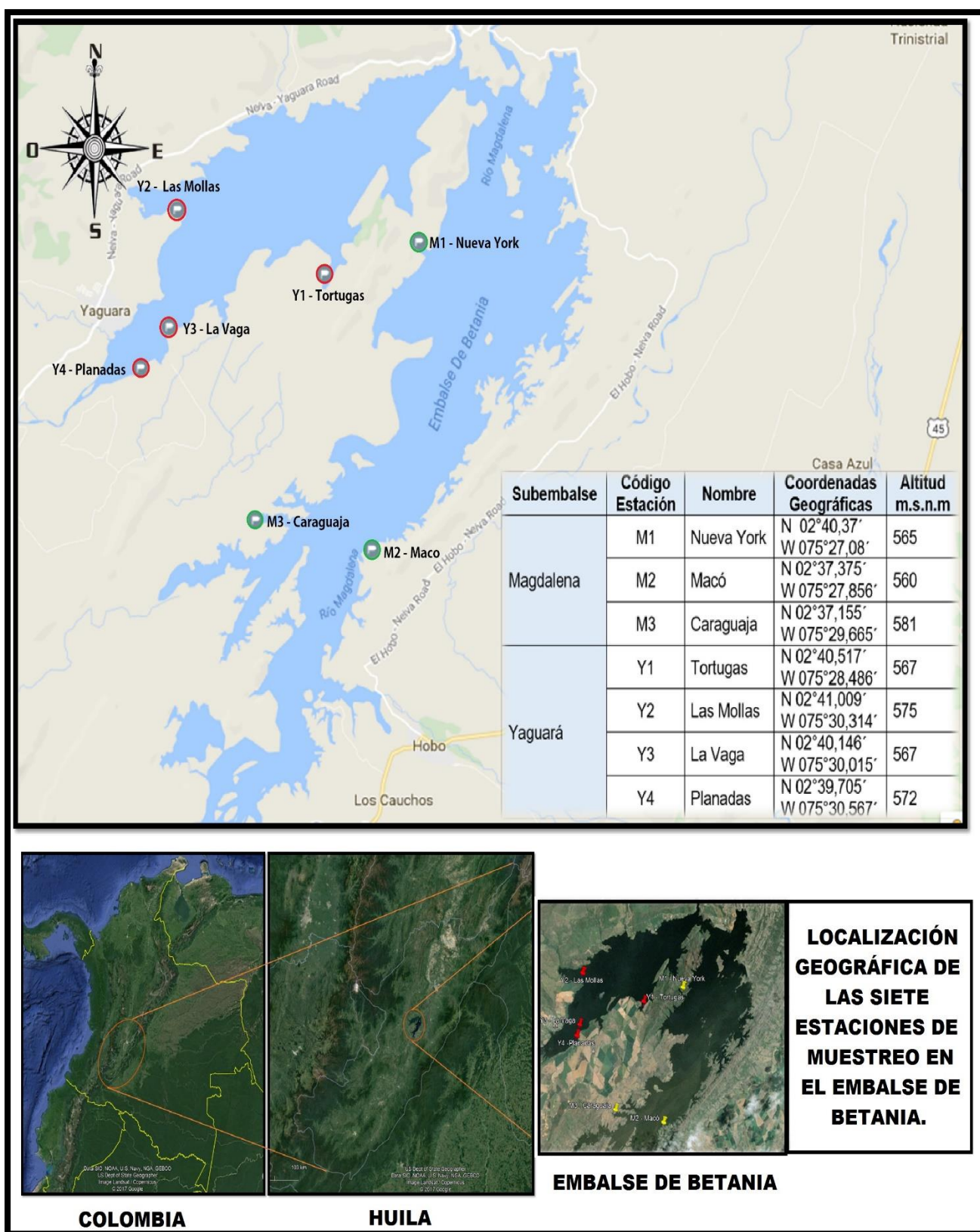


Figura 16. Mapa de localización geográfica de las siete estaciones de muestreo en el Embalse de Betania.

Fuente: Google Earth 2017. Modificaciones: Autor

4.1.2. Caracterización del hábitat

Se llevaron cabo un registro pertinente de la caracterización del hábitat mediante observación detallada en cada una de las estaciones seleccionadas, teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- **Profundidad del fondo y hora de la colecta.**
- **Caracterización climática:** Temperatura ambiente, cobertura celeste, condiciones atmosféricas (lluvia y viento)
- **Caracterización físico – biótica:** Presencia de vegetación o macrófitas. Material del fondo como hojarasca, palizada, vegetación inundable o ramas, características del espejo de agua y composición del suelo (arena, fango o arcilla).
- **Cercanía fuentes antrópicas:** piscicultura, actividades agropecuarias, descarga de aguas residuales, domésticas y agroindustriales.

4.1.3. Caracterización Fisicoquímica

Para la caracterización fisicoquímica del agua se realizaron mediciones *in situ* con diversos métodos colorimétricos y potenciómetros en superficie, pH unidades, Temperatura °C, Oxígeno disuelto mg/L, % saturación de oxígeno y conductividad $\mu\text{s}/\text{cm}$, con equipo YSI 33 sct – meter. Para los demás parámetros fisicoquímicos se tomaron muestras a profundidad, estas se refrigeraron debidamente y se llevaron posteriormente a laboratorio donde se determinaron los siguientes parámetros: alcalinidad (ALC), dureza total (DT), Fosfatos, calcio (CA), cloruro (Cl), magnesio (Mg) y sulfato (SO_4), teniendo en cuenta metodologías definidas en el “Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 21° Edition, 2005 y “U.S. EPA”.

4.1.4. Caracterización biológica

a. Procedimiento de muestreo

Se colectaron los macroinvertebrados de los bentos utilizando draga tipo Eckman con un área de recolección de 25 x 26 cm. En cada una de las estaciones seleccionadas se tuvo en cuenta el punto de muestreo a una distancia de 10 metros de la orilla. Para obtener una buena representatividad de la muestra se efectuaron 3 réplicas (1950 cm^2) en cada una de las estaciones correspondientes (Roldán, 2003).

Posteriormente las muestras se depositaron en bolsas de cierre hermético debidamente rotuladas, agregándoles solución de formaldehído al 10% para su conservación.

b. Procedimientos de Laboratorio

El procedimiento de laboratorio se desarrolló en dos etapas a saber:

Separación de las muestras: la finalidad del procedimiento de separación es recuperar el material biológico objeto de estudio en esta investigación, para ello se ubicó el contenido de las muestras en una serie de tamices con malla de poro de 1 mm, 500 μ m y 250 μ m respectivamente, logrando de esta manera capturar la mayor variabilidad de organismos posibles. Consecutivamente la muestra se lavó con abundante agua tratando de separar al máximo posible los restos orgánicos e inorgánicos presente en la muestra.

El material obtenido se depositó en bandejas de fondo blanco bien iluminadas y con ayuda de pinzas de punta fina se terminaron de retirar los restos de material indeseable, volviendo a pasar por los tamices hasta obtener una muestra limpia lista para observación.

Los métodos de separación por flotación usando soluciones saturadas de sacarosa o sal recomendados por Wetzel & Likens (2000), serán en estos casos poco prácticos por la alta proporción de material vegetal particulado, ya que éste flota con los invertebrados a separar (Rueda Delgado, 2002). Las muestras se conservaron en alcohol etílico al 70% y se almacenaron en recipientes plásticos debidamente rotulados, etiquetados con datos de localidad, fecha, tipo de sustrato y colector. La cantidad utilizada del preservante debe ser la suficiente para que cubra toda la muestra colectada (Palma Gonzales & Arana Maestre, 2014).

Identificación:

Para los estudios taxonómicos, se analizará el total de la muestra limpia (o la cantidad destinada para tal fin). La identificación de individuos de tamaño grande se realizará con estéreo - microscopio binocular marca Nikon modelo SMZ-2T y los individuos pequeños o mayor detalle con microscopio marca LABOMED modelo LX400.

Los individuos se identificaron al máximo nivel taxonómico posible y se registraron en una base de datos con su respectiva clasificación taxonómica dependiendo de la literatura disponible para cada grupo. De las morfoespecies se efectuaron descripciones e ilustraciones de los caracteres diagnósticos.

Para la identificación taxonómica y verificación de la distribución neotropical de los macroinvertebrados bentónicos se usaron las claves de Gaviria (1993), Domínguez & Fernández (2009), Merrit & Cummins (1978), Merrit, Cummins & Berg (2008), Palma (2013), Garrido, Benett & Pérez – Bilbao (2012), Prat & Rieradevall (2011), Roldán (1988), Perrier (1935), Rengifo (2005), Brinkhurst & Marchese (1989).

c. Análisis para el procesamiento de los datos

Para este estudio se utilizaron índices de diversidad multivariados, tanto tradicionales como taxonómicos, además se aplicó el índice de rareza propuesto en (Guisande, 2017).

De acuerdo a los últimos estudios realizados en el área de tratamiento de datos estadísticos en biología y particularmente en ecología, se determinó que los índices tradicionales se agruparan junto con los taxonómicos en cuatro componentes, clasificados tal y como se muestra en la Tabla 4 (Guisande, 2017).

Tipo	Índices	Referencias
Índice de rareza	Leroy	(Leroy, 2013)
	Rareza	(Guisande, 2017)
Índice de Heterogeneidad	Ln Shannon – Wiener	(Wiener, 1939)
	Log Shannon – Wiener	(Wiener, 1949)
	Fisher	(Fisher, 1943)
	Simpson	(Simpson E. , 1949)
	Inverse Simpson	(Williams, 1964)
	Brillouin	(Brillouin, 1956)
	Margalef	(Margalef , 1958)
	Rényi entropy	(Rényi , 1961)
	Menhinick	(Menhinick, 1964)
	McIntosh	(McIntosh, 1967)
	Inverse Berger-Parker	(Berger & Parker, 1970)
	Hill- Rényi	(Hill, 1973)
Índice de Equitatividad	Hill-Tsallis	
	Tsallis entropy	(Patil & Taillie, 1982)
	Simpson	(Simpson E. , 1949)
	Pielou	(Pielou, 1969)
	McIntosh	(McIntosh , 1967)
	Hill – Rényi Numbers	(Hill, 1973)
	Heip	(Heip, 1974)
Índices de Diversidad Taxonómica	Camargo	(Camargo, 1992)
	Smith and Wilsons Index	(Smith & Wilson, 1996)
	Diversidad Taxonómica	(Warwick & Clarke, 1998)
	Diferenciación Taxonómica	(Warwick & Clarke, 2001)

Tabla 4. Índices de Rareza, Heterogeneidad, Equitatividad y Diversidad Taxonómica. Fuente: Guisande, 2017

Para el análisis de datos obtenidos a partir de los muestreos realizados se aplicó el algoritmo DER (Guisande, 2017), el cual calcula la riqueza de especies y varios índices de rareza (Tabla 5), de heterogeneidad (Tabla 6), de equitatividad (Tabla 7) y de diversidad taxonómica (Tabla 8). Lo que hace este algoritmo es ir seleccionando un índice de cada grupo: del grupo de índices de rareza, el de heterogeneidad (donde se incluye la riqueza de especies), el de equitatividad y el de diversidad taxonómica. Se hace la combinación de todos los índices y se escoge el grupo de índices que consigue una mayor separación entre muestras.

Son tres las ventajas que aporta este algoritmo al estudio de la diversidad (Guisande, 2017):

- 1) Estudia la diversidad analizando conjuntamente sus 4 componentes (rareza, heterogeneidad, equitatividad y diversidad taxonómica)
- 2) Calcula un gran número de índices y se escoge los que mejor expresan las diferencias entre las muestras y
- 3) Realiza una representación que permite comparar gráficamente las diferencias de diversidad entre muestras, caracterizado por un gráfico de tipo convex hull.

El componente estadístico se realizó con el programa RWizard (Guisande et al., 2014) utilizando paquetes de R (R Development Core Team, 2017) y siguiendo los scripts descritos en los libros de Guisande et al., 2006; 2011; 2012, el software estadístico para biólogos PAST versión 3.16 (2017) y el complemento para Microsoft Excel 2016 XLSTAT.

ÍNDICE	ECUACIÓN	REFERENCIA
Leroy	$w_i = \frac{1}{e^{\left(\frac{Q_i - Q_{min}}{rQ_{max} - Q_{min}} * 0.97 + 1.05\right)^2}}$ $I_{RR} = \frac{\frac{\sum_{i=1}^S w_i}{S} - w_{min}}{w_{max} - w_{min}}$	(Leroy, 2013)
Rarity	$R = 1 - \frac{\sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^S \frac{r_{ij}}{R}}{S}$	(Guisande, 2017)

Tabla 5. Índices de rareza. Fuente: (Guisande, 2017) Modificado: Autor.

Índices de rareza calculados por la función DER del paquete EcolndR (Guisande, 2017): donde S es el número de especies (riqueza de especies), s es el número de muestras, rij es el número de registros de la especie i en la muestra j, R es el total de registros considerando todas las especies en todas las muestras, Qi es la ocurrencia de la especie i, Qmin y Qmax son, respectivamente, el mínimo y el máximo de ocurrencias en el conjunto de especies, r el punto de corte de la rareza (como porcentaje de ocurrencia), wi es el peso de la especie ith en la muestra, wmin y wmax son, respectivamente, el mínimo y el máximo peso.

ÍNDICE	ECUACIÓN	REFERENCIA
Shannon-Wiener	$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$	(Wiener, 1939)
	$H = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$	(Wiener, 1949)
Fisher's alpha	$\alpha x, \frac{\alpha x^2}{2}, \frac{\alpha x^3}{3}, \dots, \frac{\alpha x^n}{n}$	(Fisher, 1943)
Simpson	$D_1 = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2$	(Simpson E. , 1949)
Inverso Simpson	$D_2 = \frac{1}{\sum_{i=1}^S p_i^2}$	(Simpson E. , 1949) (Williams, 1964)
Brillouin	$H_B = \frac{\ln N! - \sum_{i=1}^S \ln n_i!}{N}$	(Brillouin, 1956)
Margalef	$D_{Mg} = \frac{(S - 1)}{\ln N}$	(Margalef , 1958)
Rényi entropy	$H_a = \frac{1}{(1 - a)} \log \sum_{i=1}^S p_i^a$	(Rényi , 1961)
Menhinick	$D_{Mn} = \frac{S}{\sqrt{N}}$	(Menhinick, 1964)
McIntosh	$D_{Mc} = \frac{N - \sqrt{\sum_{i=1}^S n_i^2}}{N - \sqrt{N}}$	(McIntosh, 1967)

Inverso Berger-Parker	$D_{BP} = \frac{1}{\frac{n_{max}}{N}}$	(Berger & Parker, 1970)
Números de Hill, donde a o q = 0 es la riqueza de especies a o q = 1 es el índice de Shannon (H) a o q = 2 es índice inverso Simpson (D ₂) a o q = Inf índice inverso de Berger-Parker (D _{BP})	Hill-Rényi: $N_a = e^{H_a}$ Hill-Tsallis: $N_q = (1 - (q - 1)H_q)^{\frac{1}{(1-q)}}$	(Hill, 1973)
Tsallis entropía	$H_q = \frac{1}{(q - 1)} \left(1 - \sum_{i=1}^S p_i^q \right)$	(Patil & Taillie, 1982)

Tabla 6. Índices de Heterogeneidad. Fuente: Guisande 2017. Modificaciones: Autor.

Índices de heterogeneidad calculados por la función DER del paquete EcolndR (Guisande, 2017): donde S es el número de especies (riqueza de especies), pi es la proporción de la abundancia de la especie i, N es el total de número de individuos en la muestra, ni es el número de individuos de la especie i, rij es el número de registros de la especie i en la muestra j, R es el número total de registros considerando todas las especies en todas las muestras, nmax es el número de individuos de la especie más abundante, a y q son los órdenes de los índices Rényi y Tsallis, respectivamente y finalmente, en el índice Fisher el valor α es el parámetro alfa.

ÍNDICE	ECUACIÓN	REFERENCIA
Simpson	$E_{D1} = \frac{D_1}{S}$	(Simpson E. , 1949)
Pielou	$J' = \frac{H'}{\ln S}$	(Pielou, 1969)
McIntosh	$E_{Mc} = \frac{N - \sqrt{\sum_{i=1}^S n_i^2}}{N - \frac{N}{\sqrt{S}}}$	(McIntosh , 1967)
Hill Se usan los números de Hill-Rényi donde en N ₂ el valor de a = 2 y en N ₁ el valor de a = 1	$E_{2,1} = \frac{N_2}{N_1}$	(Hill, 1973)

Heip	$E_{Heip} = \frac{e^{H'} - 1}{S - 1}$	(Heip, 1974)
Camargo	$E_{Camargo} = 1 - \sum_{i=1}^S \sum_{j=i'+1}^S \frac{ p_i - p_j }{S}$	(Camargo, 1992)
Índice de Smith y Wilson	$E_{var} = 1 - \left(\frac{2}{\pi} \right) \left[\arctan \left\{ \frac{\sum_{i=1}^S \left(\ln n_i - \frac{\sum_{j=1}^S n_j}{S} \right)^2}{S} \right\} \right]$	(Smith & Wilson, 1996)

Tabla 7. Índices de Equitatividad. Fuente: Guisande, 2017. Modificaciones: Autor

Para estos índices se manejan las mismas variables descritas para la tabla 6 índices de heterogeneidad.

ÍNDICE	ECUACIÓN	REFERENCIA
Diversidad taxonómica	$\Delta = \frac{\sum \sum_{i < j} \omega_{ij} x_i x_j}{n(n-1)/2}$	(Warwick & Clarke, 1998)
Diferenciación taxonómica	$\Delta^* = \frac{\sum \sum_{i < j} \omega_{ij} x_i x_j}{\sum \sum_{i < j} x_i x_j}$	(Warwick & Clarke, 2001)

Tabla 8. Índices de diversidad taxonómica. Fuente: Guisande, 2017. Modificaciones: Autor.

donde, N es el número de especies y ω_{ij} es la distancia que une a las especies i y j en la clasificación taxonómica, es decir, el número de taxones superiores que separan a 2 especies hasta que se unen en un nivel jerárquico superior. La distancia taxonómica promedio toma en cuenta la categoría taxonómica en la cual está relacionada cualquier pareja de especies y mide la separación taxonómica promedio entre 2 especies seleccionadas al azar de la comunidad. Así, un valor alto de distancia taxonómica promedio refleja una diversidad taxonómica alta.

Además del análisis cuantitativo de los datos, también se realizó análisis cualitativos de los mismos haciendo uso de índices de similitud y disimilitud los cuales expresan el grado en el que dos muestras son semejantes por las especies presentes en ellas, por lo que son una medida inversa de la diversidad beta, que se refiere al cambio de especies entre dos muestras (Pielou, 1975), (Magurran A. , 1988).

Sin embargo, a partir de un valor de similitud (s) se puede calcular fácilmente la disimilitud (d) entre las muestras: $d=1-s$ (Magurran A. , 1988). Estos índices pueden obtenerse con base en datos cualitativos o cuantitativos directamente o a través de métodos de ordenación o clasificación de las comunidades.

Coeficiente de similitud de Jaccard

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

donde

a = número de especies presentes en el sitio A

b = número de especies presentes en el sitio B

c = número de especies presentes en ambos sitios A y B

El intervalo de valores para este índice va de 0 cuando no hay especies compartidas entre ambos sitios, hasta 1 cuando los dos sitios tienen la misma composición de especies. Otros de los procedimientos estadísticos utilizados fue el análisis discriminante lineal, el cual realiza una comparación entre un conjunto de variables independientes y una dependiente, para predecir la relación de esta última variable de acuerdo a ciertos criterios. Este proceso se utilizó para determinar el comportamiento de la abundancia de macroinvertebrados de acuerdo a los dos periodos hidroclimáticos y a los dos subembalses.

Por último, se aplicó análisis de correlación canónica para expresar la relación que existe entre el componente taxonómico del estudio y los parámetros físico – químicos del embalse. Este análisis hace parte también del tipo de análisis multivariante, al cual pertenece el análisis discriminante lineal, se diferencia del análisis de correlación múltiple en que éste solo predice una variable dependiente a partir de múltiples independientes, mientras que la correlación canónica predice múltiples variables dependientes a partir de múltiples independientes.

5. RESULTADOS

5.1. Caracterización del hábitat

De acuerdo a la caracterización del hábitat se determinaron mediante observación de las estaciones seleccionadas, los criterios que se encuentran a continuación:

ESTACIÓN		PROFUNDIDAD PROMEDIO DE MUESTREO (m)	PRESENCIA DE MACRÓFITAS	MATERIAL DEL FONDO (CARIOTOPOS)					CERCANÍA FUENTES ANTRÓPICAS		
				F	FV	ArcV	FArcV	AreV	Piscicultura	Actividades agropecuarias	Descarga de aguas residuales
Nueva York	M1	13,4		X					X		
Macó	M2	9,1			X						
Caraguaja	M3	8,6	X		X						
Tortugas	Y1	2,97				X				X	
Las Moyas	Y2	7,22					X			X	X
La Vaga	Y3	15,5					X			X	
Planadas	Y4	1,6						X		X	

Tabla 9. Caracterización del hábitat (Profundidad, material del fondo y actividades antrópicas) Fuente: Autor.

Con respecto al material del fondo se asignaron los siguientes cariotopos: Material del fondo F: fango, FV: Fango con vegetación, ArcV: Arcilla con vegetación, FArcV: Fango-arcilla con vegetación y AreV: Arena con vegetación. Las actividades antrópicas más comunes cercanas a las estaciones de muestreo se encuentran: la piscicultura, las actividades agropecuarias con cultivos transitorios de arroz y las descargas de aguas residuales.

5.2. Identificación taxonómica a nivel de familia y genero

La fauna encontrada en el embalse de Betania se presenta en la Tabla 9 y muestra la clasificación taxonómica hasta el nivel de morfotipo (Género), organizados de mayor a menor orden jerárquico (horizontal).

En el primer muestreo realizado en el mes de marzo se encontraron 23 taxa diferentes (géneros) mientras en el segundo muestreo fueron halladas 25 taxa. El total de individuos recolectados fue de 1677 especímenes, distribuidos en

23 géneros, 2 subfamilias y 14 familias. Se habla de dos subfamilias para el caso de los individuos registrados en la familia Chironomidae en la cual solo fue posible llegar hasta este taxón y se describe de esta manera con el fin de homogenizar la muestra. De acuerdo a la muestra colectada y con base en los referentes bibliográficos disponibles acerca de macrofauna bentónica en el neotrópico se lograron identificar los individuos hasta el mínimo nivel taxonómico posible, teniendo en cuenta las limitantes en este campo que es tan complejo y a la vez tan poco explorado.

Las estaciones con el mayor número de organismos colectados en las dos épocas de muestreo fueron en su orden: la estación Tortugas la cual registra 367 individuos (21.88 %), Macó con 335 individuos (19.98%), Caraguaja con 271 individuos (16.16%), Nueva York con 258 individuos (15.38%), Las Moyas con 173 individuos (10.32%), Planadas con 165 individuos (9.84%) y el registro más bajo corresponde a la estación la Vaga con 108 individuos (6.44%). Los grupos de organismo identificados en el Embalse de Betania corresponden a los Phylum Annelida, Mollusca y Arthropoda, siendo la Clase Clitellata la más representativa con el 39,2% de la muestra, seguida de la clase Gastropoda con un 38,8%, lo cual corresponde al 78% del total de individuos.

5.2.1. Abundancia y Riqueza

La mayor abundancia a nivel de familias se encuentra en Tubificidae y Naididae ambas pertenecientes al Orden Haplotaxida - Phylum Anélida con 23.9% y 11% respectivamente, seguido de la familia Hydrobiidae y Thiaridae ambos pertenecientes al Orden Mesogastropoda - Phylum Mollusca con el 20.8% y 15.7%. Otras familias con alguna representatividad de acuerdo al número de individuos colectados por debajo del 8% son en su orden Sphaeriidae, Chironomidae, Glossiphoniidae, Chaoboridae, Polymitarcyidae, Culicidae, Ceratopogonidae, Physidae, Planorbiidae y Hydropsychidae (Figura 18).

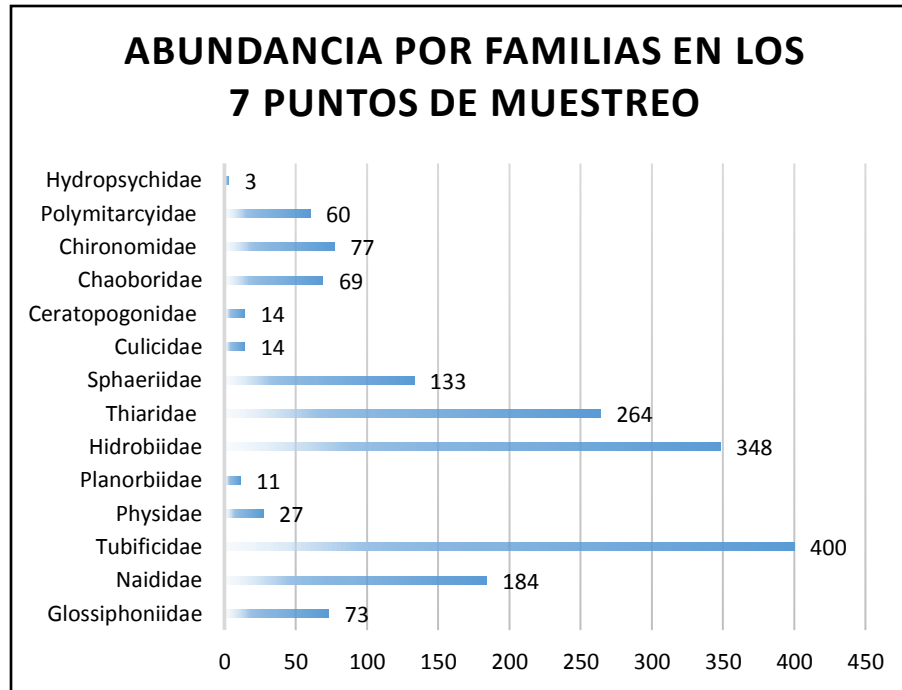


Figura 17. Abundancia por familias. Fuente: Autor.

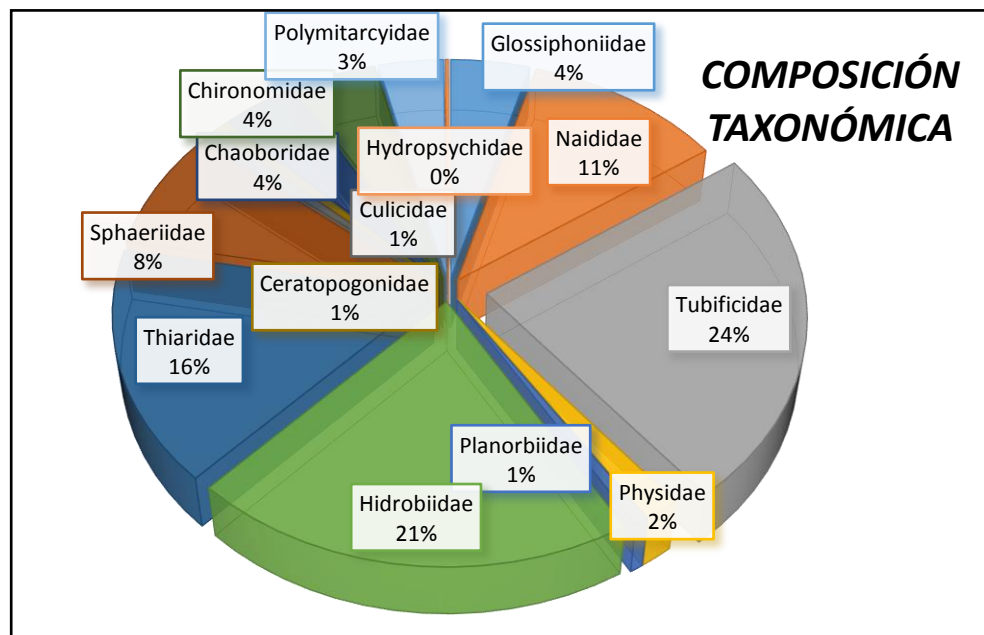


Figura 18. Composición Taxonómica en % de la abundancia de la muestra. Fuente: Autor.



Figura 19. Abundancia de especies por estaciones. Fuente: Autor.

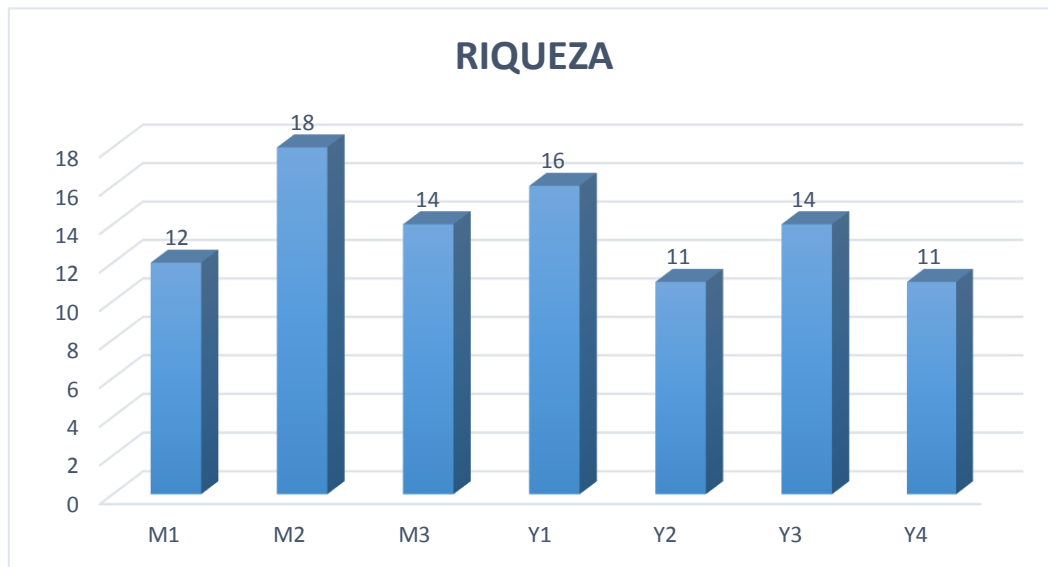


Figura 20. Riqueza entre estaciones. Fuente: Autor.

Al analizar los gráficos de abundancia y riqueza (Figura 19 y 20) se puede determinar que existe una estrecha relación entre estas dos variables en la mayoría de estaciones, a excepción de La Vaga (Y3) que, a pesar de tener baja abundancia, tiene alta diversidad, esto se encuentra muy relacionado con la equidad de la muestra (Figura 29), en la que se evidencia que los individuos colectados tienen una participación heterogénea en la comunidad de estudio.

						Estación 1 - Nueva York		Estación 2 - Macó		Estación 3 - Caraguaja		Estación 4 - Tortugas		Estación 5 - Las Moyas		Estación 6 - La Vaga		Estación 7 - Planadas					
						M1		M2		M3		Y1		Y2		Y3		Y4		T	T/F	%F	%G
Anélida	Clitellata	Hirudinea	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	<i>Hellobdella</i>				2	5	29		5		29				3	73	73	4,35	4,35
		Oligochaeta	Haplotaxida	Naididae	<i>Aulophorus</i>					3	3									6	184	11	0,36
					<i>Chaetogaster</i>	16	4			6	11	1	15			3	9			65			3,88
					<i>Dero</i>								5			2	7			14			0,83
					<i>Nais</i>	9							6			2	5			22			1,31
					<i>Paranais</i>	1	4										2			7			0,42
					<i>Pristina</i>	5	6	1		4	5	6	14		2	4	10		2	59			3,52
					<i>Pristinella</i>				2							1	6			9			0,54
					<i>Slavina</i>												2			2			0,12
				Tubificidae	<i>Aulodrilus</i>				4			2	10				3	5	18	42	400	23,9	2,5
					<i>Branchiura</i>			19	71				6							96			5,72
					<i>Limnodrilus</i>	17	5		4	7	10	8	29	8	6		28	19	82	223			13,3
					<i>Tubifex</i>	21	10		3								5			39			2,33
Mollusca	Gastropoda	Pulmonata	Basomastophora	Physidae	<i>Physa</i>			3	6	2		5	11							27	27	1,61	1,61
				Planorbiidae	<i>Helisoma</i>				2	3			3	2			1			11	11	0,66	0,66
		Prosobranchia	Mesogastropoda	Hidrobiidae	<i>Pyrgophorus</i>		3	16	44	10	60	34	107		66				8	348	348	20,8	20,8
				Thiaridae	<i>Melanoides</i>	69	21	18	56	8	21	14	43	2	3	3	1	1	4	264	264	15,7	15,7
	Bivalvia	Heterodonta	Veneroida	Sphaeriidae	<i>Shaerium</i>	5	32	2	14	7	34	2	18		6				13	133	133	7,93	7,93
Artrópoda	Insecta	Pterygota	Díptera	Culicidae	<i>Culex</i>			3							9			2		14	14	0,83	0,83
				Ceratopogonidae	<i>Sphaeromias</i>		5	1	2	1	2	1							2	14	14	0,83	0,83
				Chaoboridae	<i>Chaoborus</i>		3					4	12	4	32		13	1		69	69	4,11	4,11
				Chironomidae	Subfam- Chironominae			5	3	1	9	6		1	1			1	4	31	77	4,59	1,85

					Subfam-Tanypodinae	3	19	4	2	5	10				2	1				46			2,74
			Ephemeroptera	Polymitarcyidae	Ephoron			5	40	3	12									60	60	3,58	3,58
			Trichoptera	Hydropsychidae	Hydropsyche				3											3	3	0,18	0,18
TOTAL						146	112	77	258	65	206	83	284	17	156	16	92	29	136	1677	100		
PORCENTAJE POR ESTACIÓN %E						15,4		20,0		16,2		21,9		10,3		6,4		9,8		100			

Tabla 10. Clasificación taxonómica de la fauna bentónica encontrada en los puntos de muestreo Embalse Betania. Fuente: Autor

En las siete estaciones de muestreo, se obtuvo un total de 23 géneros y 2 subfamilias, dentro de las cuales están: *Hellobdella*, *Aulophorus*, *Chaetogaster*, *Dero*, *Nais*, *Paranais*, *Pristina*, *Pristinella*, *Slavina*, *Aulodrilus*, *Branchiura*, *Limnodrilus*, *Tubifex*, *Physa*, *Helisoma*, *Pyrgophorus*, *Melanoides*, *Shaerium*, *Culex*, *Sphaeromias*, *Chaoborus*, Subfam-Chironominae, Subfam-Tanypodinae *Ephoron* e *Hydropsyche*.

La tabla 9 representa la clasificación taxonómica del Embalse de Betania para el presente estudio (Abundancia por género (T), abundancia por familias (T/F)) con los respectivos porcentajes de participación en la muestra, por familias (%F), géneros (%G) y estaciones (%E).

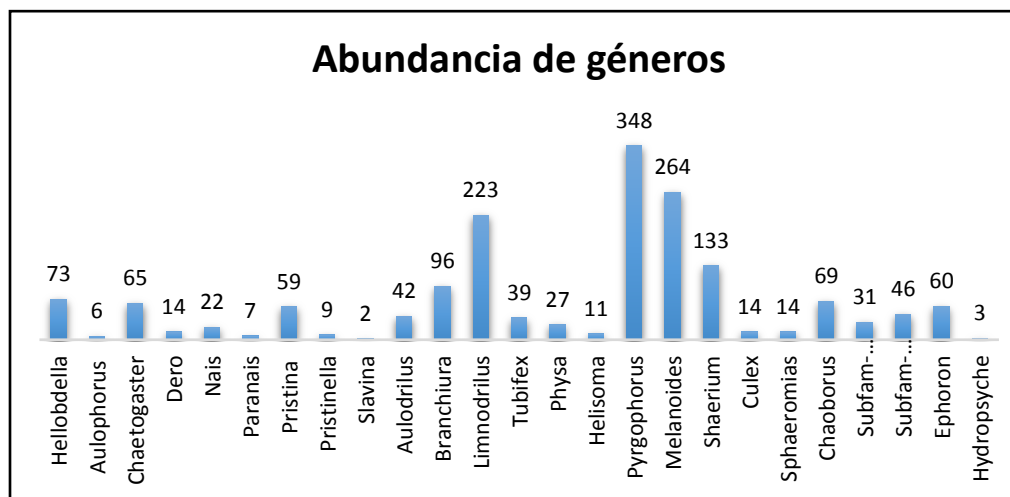


Figura 21. Abundancia de géneros. Fuente: Autor.

Como se mencionó anteriormente para el análisis de los datos se aplicó el algoritmo DER, el cual arrojó como resultado en primer lugar la selección de los 4 índices que se deben tener en cuenta para el estudio de la composición taxonómica de macroinvertebrados en el Embalse de Betania. Estos 4 índices representan a cada uno de los ejes de la diversidad biológica: Rareza, Heterogeneidad, Equitatividad y Diversidad Taxonómica.

Esta selección se determinó de acuerdo al conjunto de índices que mejor representará la muestra, esto se establece de acuerdo a la distancia entre los valores de cada uno de los índices. El conjunto de índices seleccionados fue: Rareza (Componente Rareza), Margalef (Heterogeneidad), McIntosh (Equitatividad) y Diversidad taxonómica (Diversidad) (Figura 22).

De acuerdo al gráfico de tipo convex hull se analizó el comportamiento de los valores de cada uno de los índices seleccionados para cada una de las estaciones y periodos muestreados (Figura 22).

En general, lo que se puede analizar del gráfico es que las muestras Y pertenecientes al subembalse Yaguará presentan menores valores en todos los componentes de la diversidad, la estación Planadas - Y4, fue la zona donde se dieron los mínimos valores de los cuatro componentes de la diversidad, tanto en el primero como en el segundo muestreo (Figura 22).

Por el contrario, las muestras M3I Caraguaja y M2II Macó, fueron las estaciones que mostraron valores más altos en los 4 componentes.

Por último, es interesante destacar la muestra Y3II (La Vaga) que mostró altos valores de especies raras, relativamente alta heterogeneidad y equitatividad, pero baja diversidad taxonómica. Por tanto, fue un sitio donde había una alta diversidad de especies poco frecuentes pero que todas pertenecían a grupos taxonómicos parecidos (baja diversidad taxonómica). En el opuesto esta Y2I (Las Moyas), que tenía bajos valores de especies raras, baja heterogeneidad y equitatividad, pero alta diversidad taxonómica (Figura 22).

La diversidad taxonómica contrario a lo que expresan los índices de diversidad tradicional como Shannon Wiener (H'), se refiere a la diversidad entre taxones de mayor nivel en este caso diversidad entre familias, lo que refiere mayor diversidad al representar mayor diferencia entre los individuos de la muestra.

En la figura 22 se observa como los triángulos marcan los extremos donde se dan las condiciones de máximos y mínimos de cada índice, los círculos muestran la riqueza y la escala de color la rareza (rojo significa mayor diversidad de especies raras).

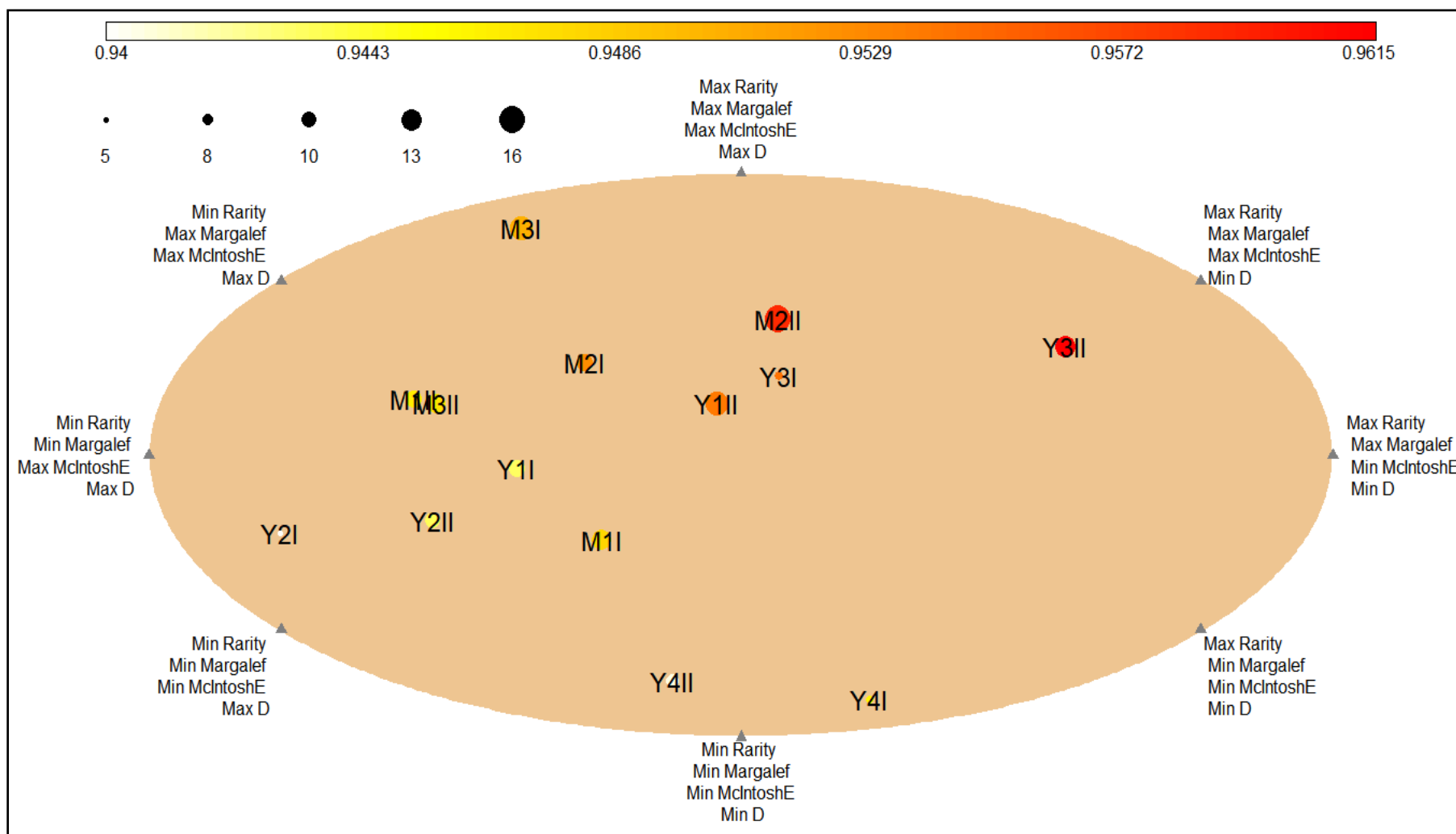


Figura 22. Representación gráfica de todas las muestras en los dos periodos de los 4 componentes de la diversidad (rareza, heterogeneidad, equitatividad y diversidad taxonómica) Fuente: Autor.

Estación	Abundancia	Rareza		Riqueza	Heterogeneidad						
		Rarity	Rarity.Leroy		S.W.LOG2	S.W	Simpson	InvSimpson	Brillouin	Margalef	Renyi
M1I	146	0,9444	0,00700	9	2,370	1,643	0,724	3,620	1,542	1,605	1,439
M1II	112	0,9429	0,00518	11	2,964	2,055	0,836	6,083	1,895	2,119	1,914
M2I	77	0,9490	0,00982	11	2,858	1,981	0,826	5,751	1,781	2,302	1,844
M2II	258	0,9552	0,06963	16	2,879	1,996	0,819	5,536	1,894	2,701	1,812
M3I	65	0,9469	0,02079	14	3,568	2,473	0,906	10,642	2,172	3,114	2,414
M3II	206	0,9437	0,02425	12	3,051	2,115	0,844	6,408	2,007	2,065	1,972
Y1I	83	0,9398	0,00000	11	2,701	1,873	0,777	4,476	1,687	2,263	1,661
Y1II	284	0,9503	0,00771	14	3,024	2,096	0,809	5,244	2,001	2,301	1,849
Y2I	17	0,9365	0,00000	5	1,970	1,365	0,692	3,247	1,079	1,412	1,262
Y2II	156	0,9399	0,00510	10	2,362	1,637	0,737	3,807	1,537	1,782	1,454
Y3I	16	0,9508	0,01543	7	2,656	1,841	0,828	5,818	1,408	2,164	1,798
Y3II	92	0,9579	0,08962	13	3,137	2,174	0,848	6,571	1,967	2,654	2,016
Y4I	29	0,9426	0,00850	6	1,606	1,113	0,533	2,140	0,912	1,485	0,895
Y4II	136	0,9369	0,00000	9	1,990	1,379	0,604	2,523	1,279	1,628	1,100

Heterogeneidad						Equitatividad							Diversidad	
Menhinick	McIntosh	InvB.P	Hill.Renyi	Hill.Tsallis	Tsallis	SimpsonE	PielouE	McIntoshE	Hille	HeipE	CamargoE	Evar	DivrT	Dstar
0,745	0,517	2,116	4,217	3,240	0,552	0,080	0,748	0,712	0,70	0,521	0,162	0,00	59,87	82,15
1,039	0,657	3,500	6,782	5,607	0,616	0,076	0,857	0,851	0,78	0,681	0,244	0,01	74,86	88,79
1,254	0,658	4,053	6,320	5,392	0,613	0,075	0,826	0,835	0,79	0,625	0,226	0,02	72,42	86,52
0,996	0,613	3,634	6,121	5,212	0,611	0,051	0,720	0,767	0,75	0,424	0,230	0,00	72,08	87,63
1,736	0,792	6,500	11,175	10,218	0,646	0,065	0,937	0,946	0,90	0,836	0,382	0,06	77,89	84,65
0,836	0,650	3,433	7,186	5,852	0,620	0,070	0,851	0,850	0,77	0,663	0,256	0,00	73,76	86,97
1,207	0,592	2,441	5,267	3,971	0,582	0,071	0,781	0,755	0,69	0,550	0,204	0,02	63,68	81,01
0,831	0,599	2,654	6,356	4,560	0,598	0,058	0,794	0,769	0,64	0,549	0,260	0,00	64,38	79,27
1,213	0,588	2,125	3,534	3,035	0,541	0,138	0,848	0,805	0,83	0,729	0,125	0,10	70,53	95,92
0,801	0,530	2,364	4,282	3,513	0,565	0,074	0,711	0,713	0,74	0,460	0,157	0,00	69,24	93,30
1,750	0,781	4,000	6,036	5,638	0,617	0,118	0,946	0,941	0,92	0,884	0,210	0,22	51,01	57,75
1,355	0,681	3,286	7,506	5,893	0,620	0,065	0,848	0,844	0,75	0,650	0,273	0,02	45,29	52,83
1,114	0,389	1,526	2,447	1,970	0,426	0,089	0,621	0,535	0,70	0,409	0,098	0,04	35,34	64,05
0,772	0,405	1,659	3,003	2,268	0,472	0,067	0,628	0,556	0,64	0,372	0,129	0,00	44,30	72,84

Tabla 11.Cálculo de los índices de diversidad según Guisande, 2017. Fuente: Autor.

En la tabla 11 se muestran los índices calculados mediante el algoritmo DER, para los 4 componentes de diversidad, en gris se encuentran resaltados los índices seleccionados para el estudio, a continuación, se presentan una serie de diagramas de barras para la comparación de índices entre componentes, con el fin de dar mayor claridad respecto a la selección del conjunto de índices realizada.

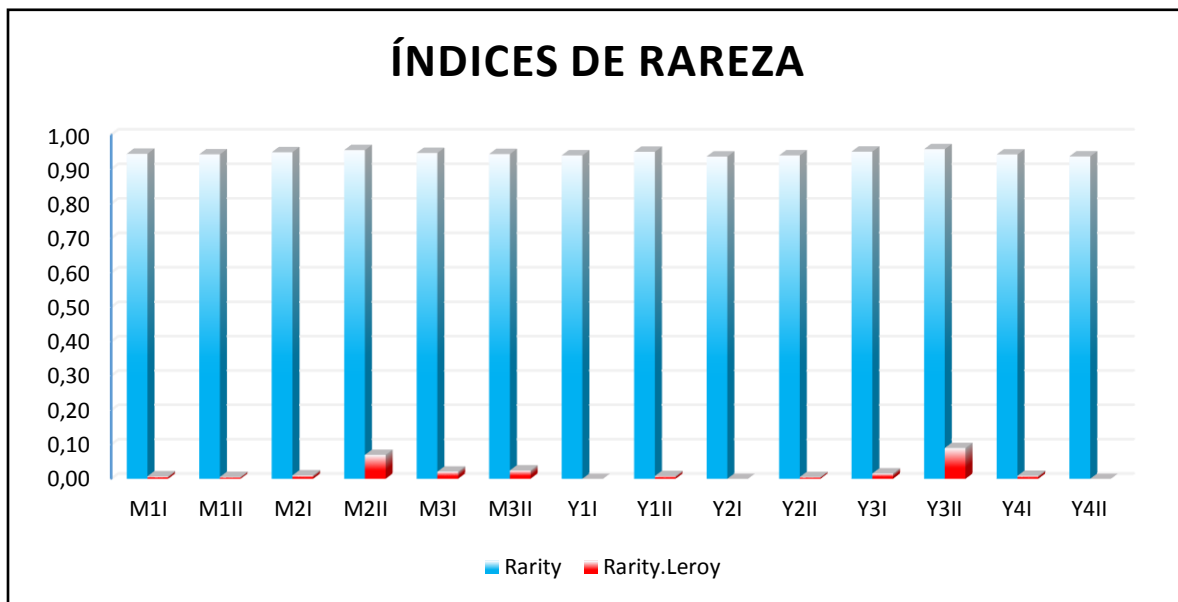


Figura 23. Índices de Rareza. Fuente: Autor

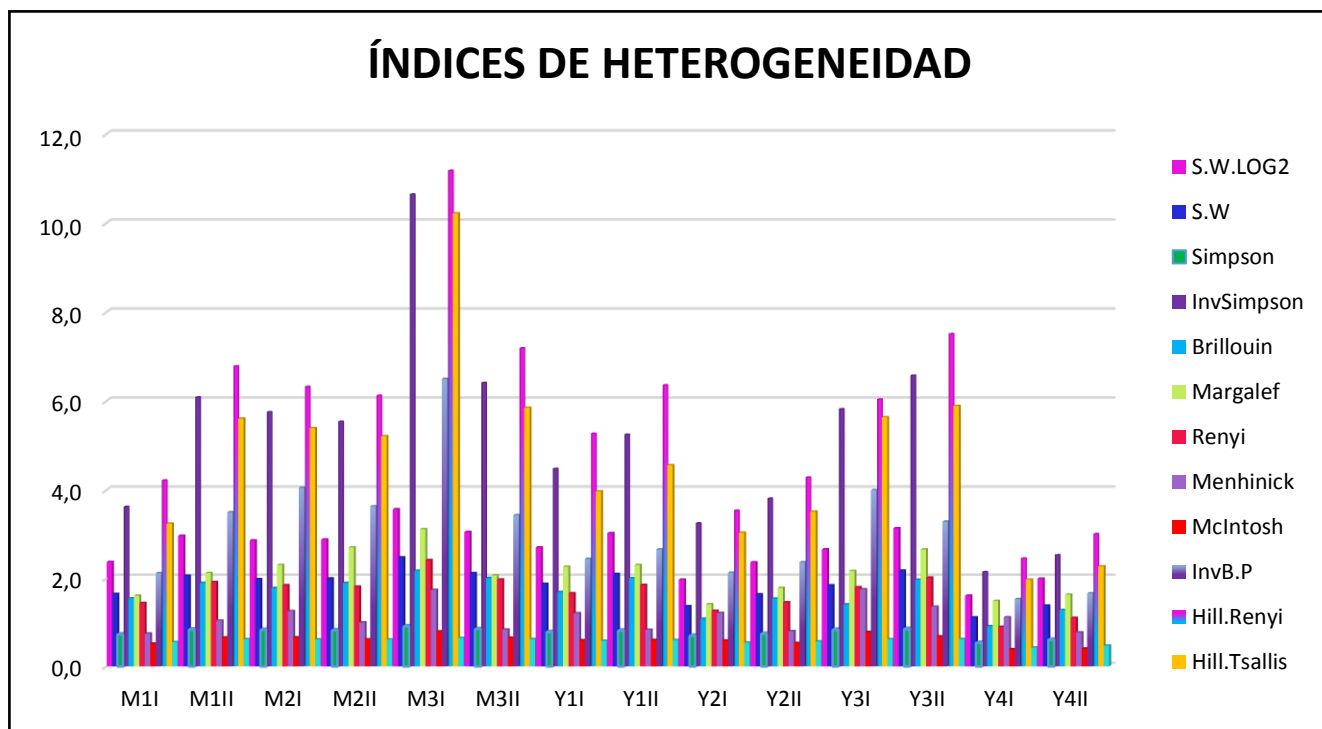


Figura 24. Índices de Heterogeneidad. Fuente: Autor.

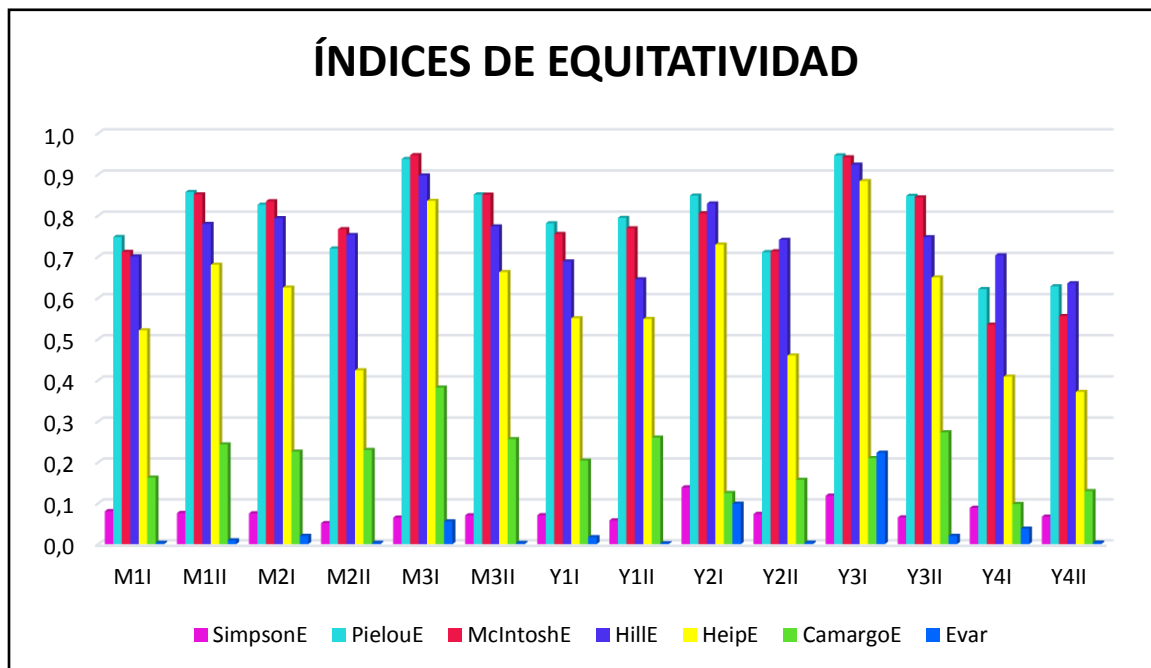


Figura 25. Índices de Equitatividad. Fuente: Autor.

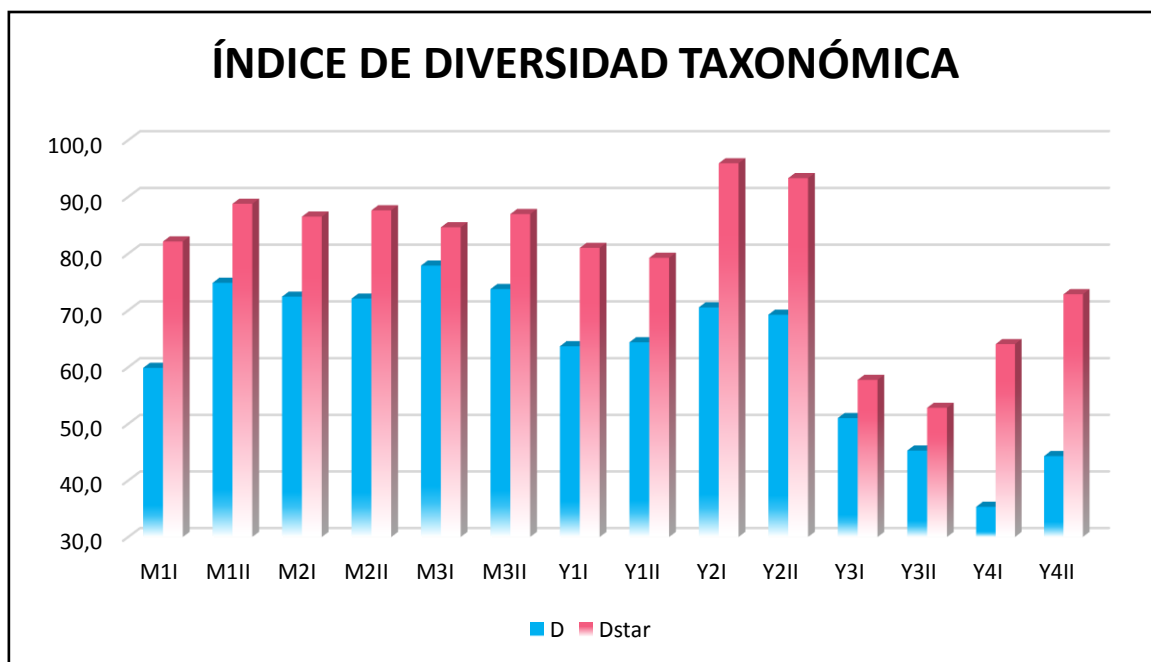


Figura 26. Índices de diversidad taxonómica. Fuente: Autor.

De acuerdo al conjunto de índices seleccionados por el algoritmo DER (Guisande, 2017) y basados en el análisis general expuesto en el gráfico convex hull, se aprecia el comportamiento del índice de rareza (Figura 27), índice de Margalef (Figura 28), índice de MacIntosh (Figura 29) e índice de diversidad taxonómica (Figura 30), en cada una de las estaciones y periodos de muestreo.

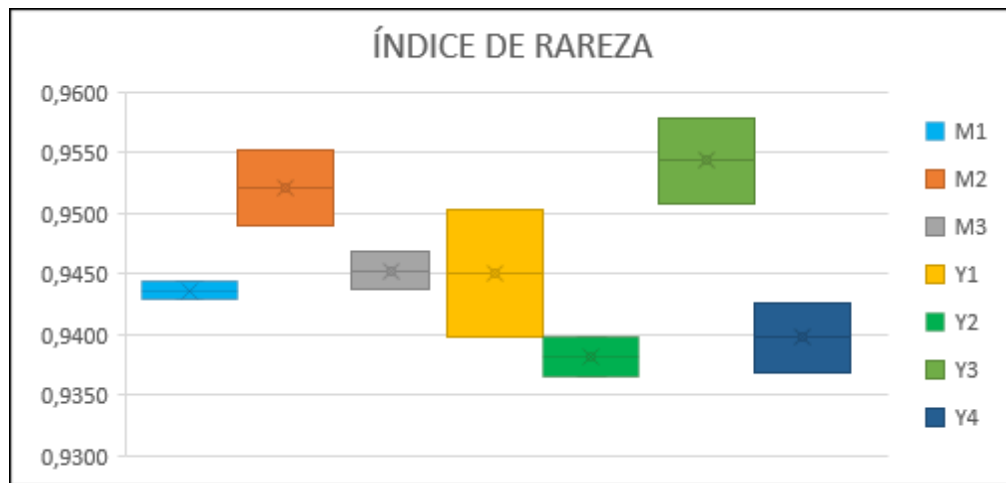


Figura 27. Variabilidad del índice de rareza. Fuente: Autor.

Para el índice de rareza la mayor variabilidad se presenta en la estación Tortugas (Y1), mientras el menor valor lo tiene Nueva York (M1), esto quiere decir que la rareza determinada en los individuos colectados en estas estaciones para el caso Y1 cambian en gran proporción durante los dos periodos hidrolimáticos en los que se realizaron los muestreos, mientras la estación Nueva York, el índice de rareza se mantiene prácticamente constante en los dos periodos.

Además, al analizar y comparar los dos subembalses se puede determinar que el brazo Magdalena presenta menor variabilidad en sus valores, mientras el subembalse Yaguará tiene una mayor desviación estándar de los mismos, a excepción de Las Moyas (Y2) estación que tiene un bajo índice de rareza y baja variabilidad entre los periodos de muestreo (Figura 27).

Por otra parte, la estación La Vaga (Y3) presenta el mayor índice de rareza entre los siete puntos de muestreo, con presencia de 5 géneros que no son comunes para la mayoría de las estaciones, estos géneros pertenecen a su mayoría a la familia Naididae, como *Dero*, *Nais*, *Pristinella* y *Slavina*.

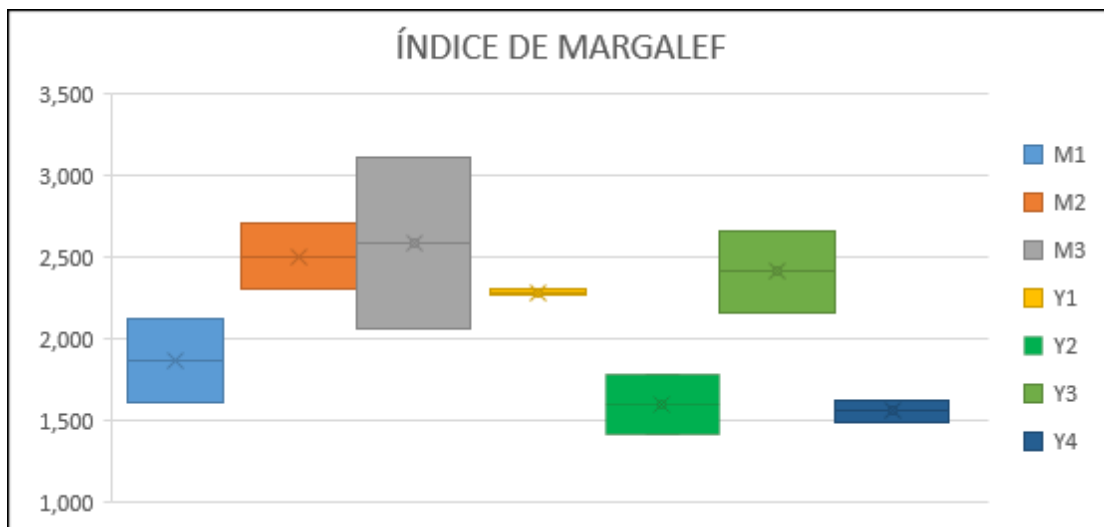


Figura 28. Variabilidad del índice de Heterogeneidad - Margalef. Fuente: Autor.

En el índice de Margalef, también conocido como índice de biodiversidad, se encontraron 2 casos opuestos en sus valores, Caraguaja (M3) y Tortugas (Y1), el primero de ellos presenta valores muy distantes entre las dos épocas de muestreo realizadas, mientras que Tortugas mantiene un índice de diversidad constante para los dos periodos hidrológicos, esto a pesar de tener un promedio en el valor del índice muy similar entre las dos estaciones cercano al 2,4 (Figura 28).

De acuerdo con estos valores y teniendo en cuenta la interpretación de este índice, se evidencia los bajos niveles de diversidad en los puntos Las Mochas (Y2) y Planadas (Y4), con valores por debajo de 2; característica de zonas de baja diversidad especialmente resultado de los efectos antrópicos (Margalef, 1958) como acontece en la estación Las Mochas donde en su área de influencia se depositan aguas residuales provenientes del municipio de Yaguará, por su parte la estación Planadas a pesar de ser el punto de ingreso del río Yaguará al embalse, el sustrato es caracterizado por materiales arenosos que al presentar bajas cantidades de material orgánico en descomposición no garantiza el desarrollo efectivo de la biota bentónica en este lugar.

En términos generales los siete puntos de muestreo evidencian índices de biodiversidad relativamente bajos respecto a los valores que se pueden llegar a obtener a partir de mediciones como Margalef; índice para el cual cuerpos de agua con mayor cantidad de nutrientes y menor influencia antrópica pueden tener valores superiores a 5.

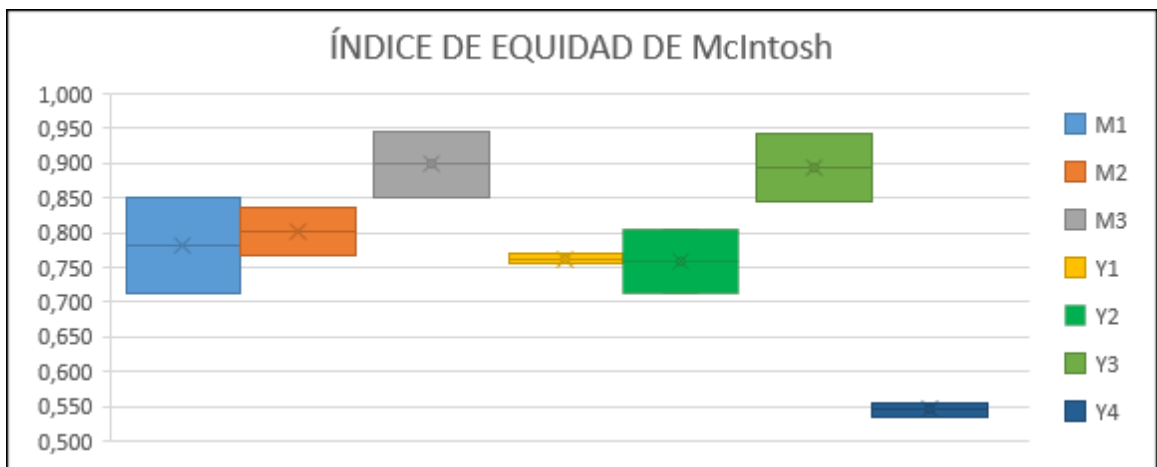


Figura 29. Variabilidad del índice de equitatividad McIntosh. Fuente: Autor.

El índice de equitatividad de McIntosh, señala que las muestras obtenidas en la estación Caraguaja (M3) y La Vaga (Y3) presentan altos índices de equidad respecto a la representación de los diferentes géneros encontrados dentro de la muestra.



Figura 30. Variabilidad del índice de diversidad taxonómica. Fuente: Autor.

La diversidad taxonómica se refiere a la “variedad” de individuos que pueden encontrarse en una muestra, pero lo importante de este índice es que no solo se enfoca en la diferencia de géneros, sino que da mayor importancia al taxón anterior en este caso la familia, ya que es más diversa una muestra que tiene más familias diferentes, que una que tenga más individuos de diferentes géneros, pero pertenecientes a la misma familia.

En este caso las estaciones con mayor diversidad taxonómica son: Macó(M2), Caraguaja (M3), Tortugas (Y1), Las Moyas (Y2) y Nueva York (M1), esta última con una alta desviación estándar entre los periodos de muestreo, caso contrario a lo que ocurre en La Vaga (Y3) y Planadas (Y4), estaciones con muy bajos niveles de diversidad.

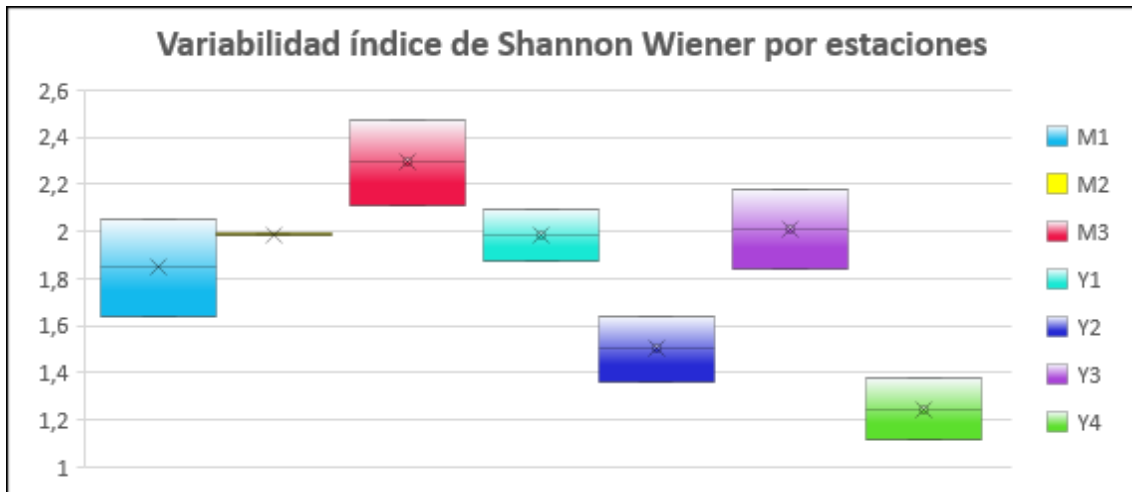


Figura 31. Variabilidad del índice de Shannon Wiener para diversidad. Fuente: Autor.

Shannon Wiener es conocido como el índice de diversidad dentro de los índices tradicionales, este a diferencia del índice de diversidad taxonómica (Figura 31) analiza el comportamiento específicamente de los géneros encontrados en el estudio, por tal razón se puede observar que la estación La Vaga (Y3) pasó de tener uno de los menores valores en el índice de diversidad taxonómica a ser uno de los más altos para el índice de Shannon, ya que a pesar de tener una distribución equitativa en varios de los géneros encontrados en el punto de muestreo, estos en su gran mayoría pertenecen a la misma familia (Naididae). Dentro de los mayores valores para este índice se encuentran las estaciones Nueva York (M1), Macó (M2), Caraguaja (M3) siendo el valor más representativo, Tortugas (Y1) y La Vaga (Y3) y los valores más bajos son: Las Moyas (Y2) y Planadas (Y4), este último punto representaría la diversidad taxonómica y biológica más baja de las 7 estaciones.

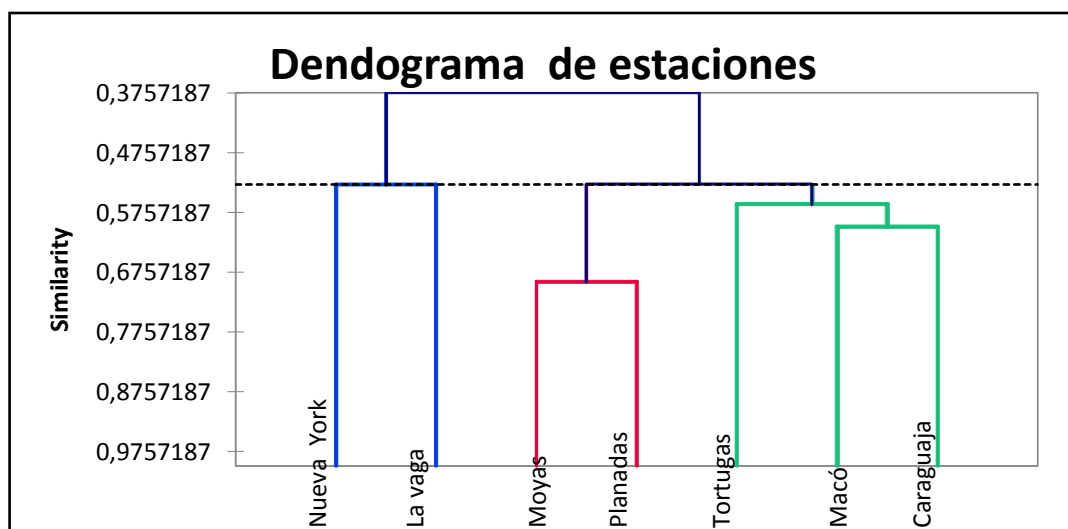


Figura 32. Índice de similitud de Jaccard entre estaciones. Fuente: Autor.

En el gráfico de la Figura 32 se puede determinar claramente la relación que existe entre las estaciones Las Moyas – Planadas y Macó – Caraguaja, en el primer caso encontrando en estas estaciones siempre los valores más bajos para los índices y análisis biológicos realizados, caso contrario es el que ocurre en la relación Macó – Caraguaja, puntos de muestreo con unos de los mayores índices de diversidad, abundancia y riqueza.

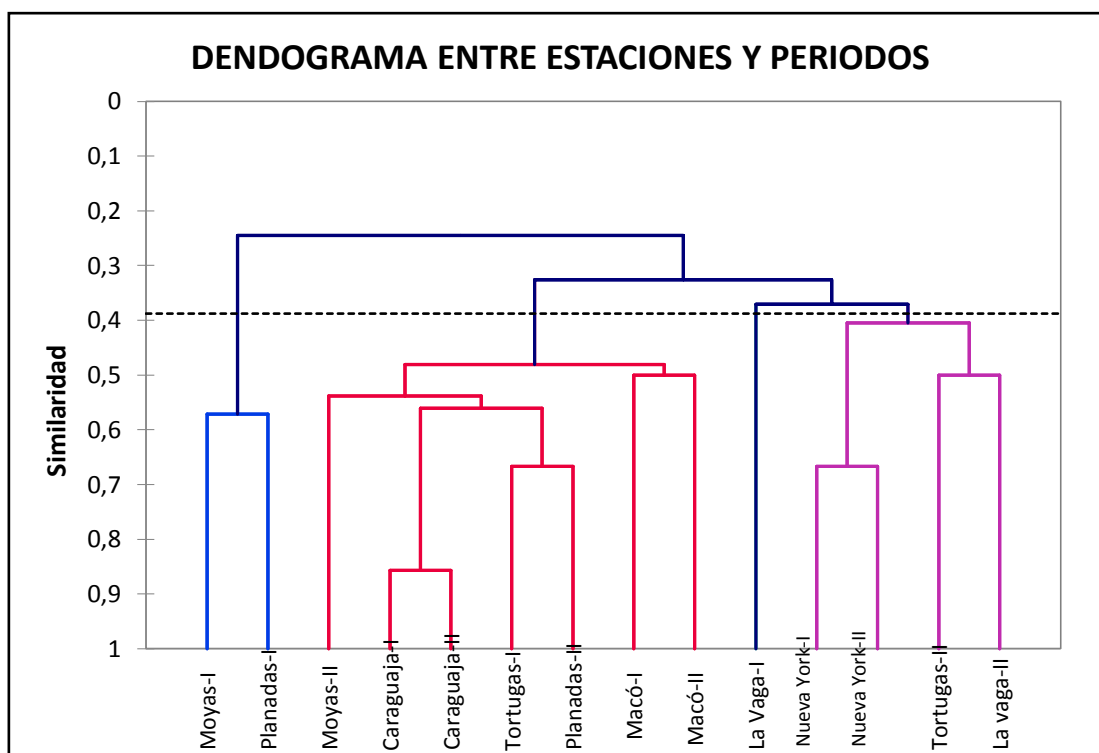


Figura 33. Índice de similitud de Jaccard entre estaciones de muestreo y periodos hidroclimáticos. Fuente: Autor

Teniendo en cuenta la interpretación del índice de similitud de Jaccard las estaciones que presentan mayor correspondencia entre las especies que se encontraron en sus puntos de muestreo son: Caraguaja durante sus dos periodos de muestreo con un índice de correspondencia de 0.86 lo que indica una similitud en 12 de las 14 especies reportadas, compartiendo el segundo lugar se encuentran Nueva York I – Nueva York II y Tortugas I – Planadas II con un índice de 0.67, la pareja de estaciones con mayor variabilidad de géneros respecto a la muestra general es: Moyas I – Planadas I cuyos índices de similitud con las demás estaciones se encuentran entre 0,083 hasta 0,4. Otro aspecto importante del análisis es la estrecha similitud entre las muestras de los dos periodos hidroclimáticos en la estación Caraguaja (M3) y Nueva York (M1).

Así mismo, dentro de la información proporcionada por el análisis de clúster o conglomerados se determinó que la mayor disimilaridad entre periodos de muestreo se encuentra en las estaciones del brazo Yaguará, con valores de similaridad que no superan el 50%.

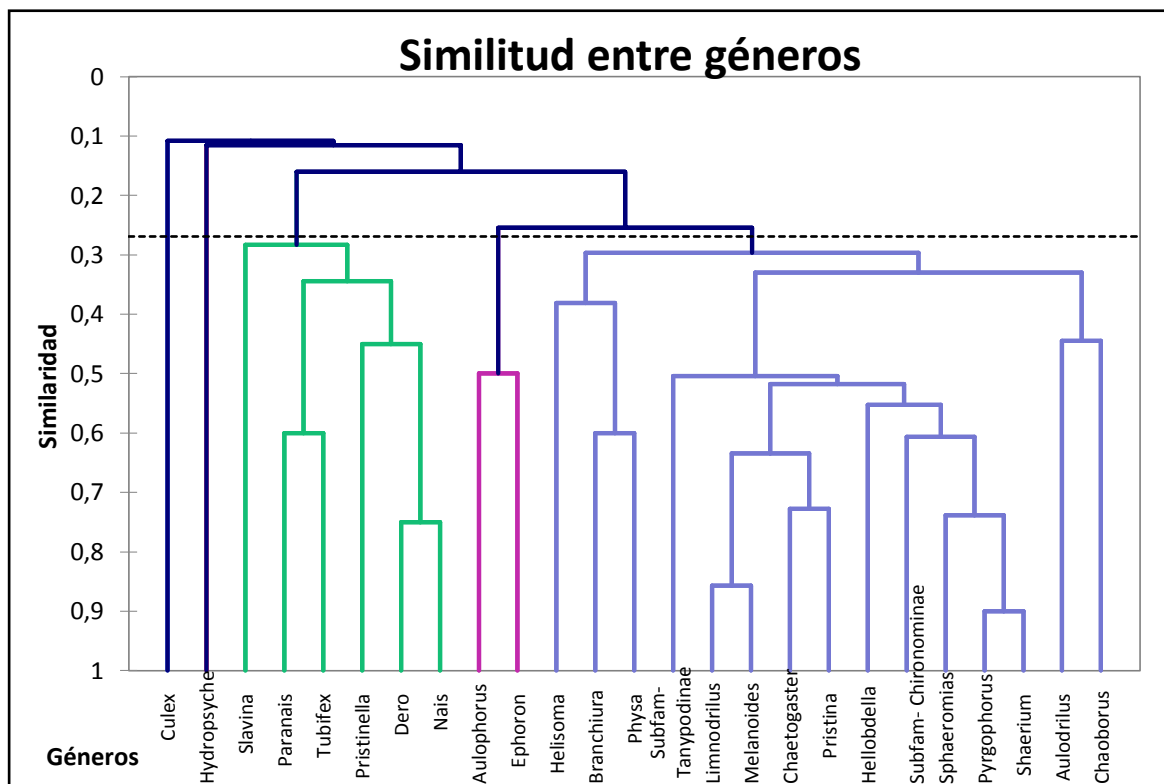


Figura 34. Índice de similaridad de Jaccard entre géneros encontrados. Fuente: Autor.

El índice de similaridad de Jaccard entre géneros (Figura 34), muestra la presencia de cada uno de estos en las 7 estaciones y la compara con el resto de géneros de la muestra, con el fin de determinar con cuál o cuáles de ellos tiene mayor semejanza en lo que se refiere a la representación en los puntos de muestreo.

Siendo así, se determinó que los géneros con mayor índice de similaridad son: *Pyrgophorus* – *Shaerium* y *Limnodrilus* – *Melanoides* con un 90% de similaridad. Los géneros más distantes de la muestra son *Culex* e *Hydropsyche* con un 10% aproximadamente de similaridad.

Variables (axes F1 and F2: 33,33 %)

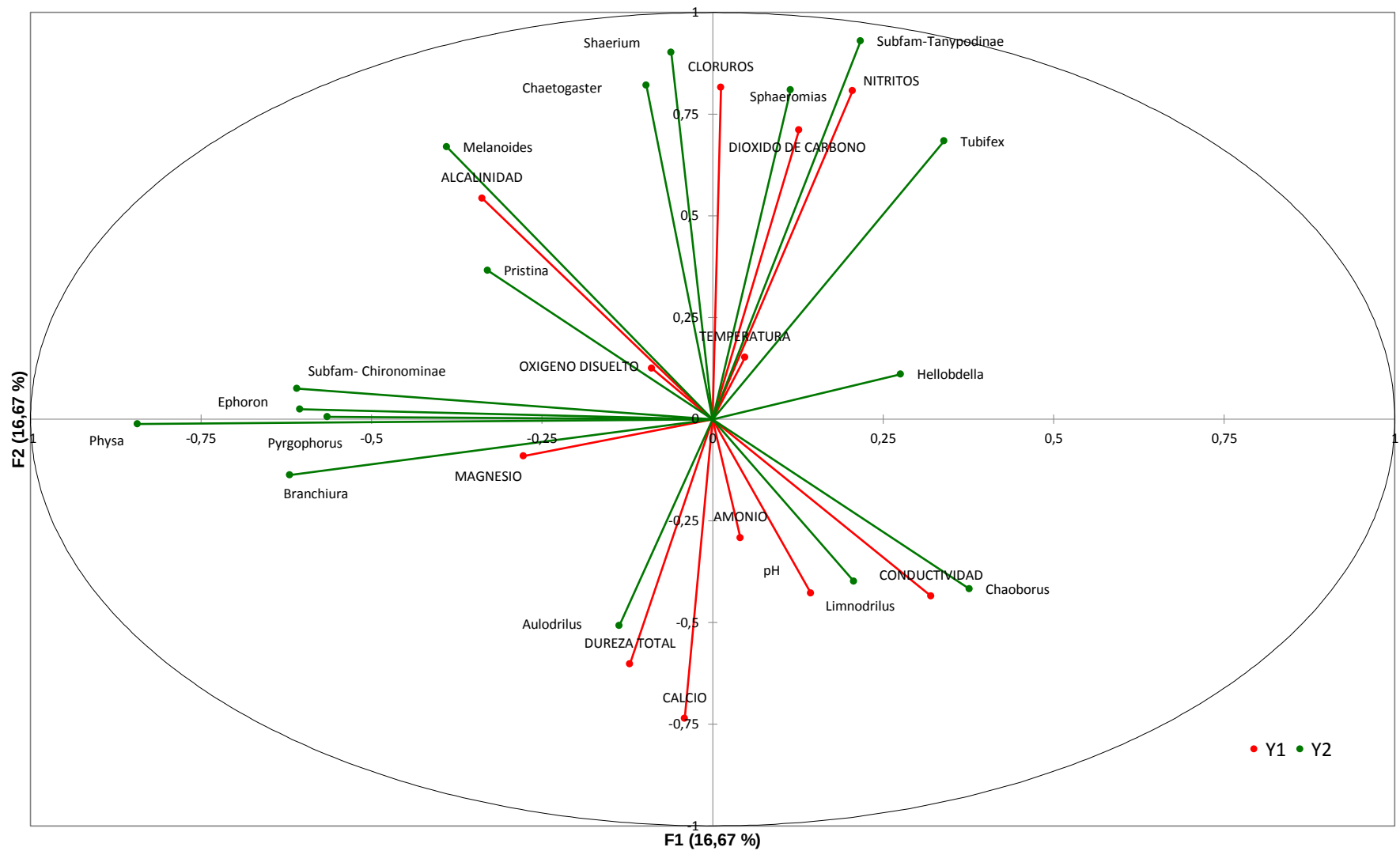


Figura 35. Diagrama de Correlación Canónica de géneros y parámetros fisicoquímicos. Fuente: Autor.

Mediante el análisis de Correlación canónica que es un método de análisis multivariante cuyo objetivo en este estudio es buscar las relaciones que pueden existir entre las variables fisicoquímicas (color rojo) y las variables biométricas (color verde) Figura 35, se observa que el cuadrante más representativo se da en la agrupación de las variables fisicoquímicas relacionadas con el contenido iónico del agua como la conductividad, el amonio, el calcio y la dureza que junto con el pH son los de mayor asociación con los géneros *Chaoborus*, *Limnodrilus* y *Aulodrilus*, grupos característicos de aguas con presencia de materia orgánica en descomposición.

Otra agrupación se da con los parámetros nitritos, dióxido de carbono y cloruros donde presentan una mayor asociación con géneros como tubifex, subfamilia *Tanypodinae*, *Sphaeromias* y *Chaetogaster*. Es de resaltar que el parámetro de alcalinidad presenta correlaciones positivas con todos los miembros del Phylum Mollusca siendo *Melanoides* el de más alto valor. En cuanto al oxígeno disuelto expresa poca variabilidad entre todas las estaciones y no se considera un parámetro importante para algunos géneros especialmente *Limnodrilus*. En conclusión, el aumento en los valores positivos en la mayoría de los parámetros fisicoquímicos se asocia en la mayoría de los casos con el aumento en los valores de abundancia del grupo de macroinvertebrados y algunos índices estudiados.

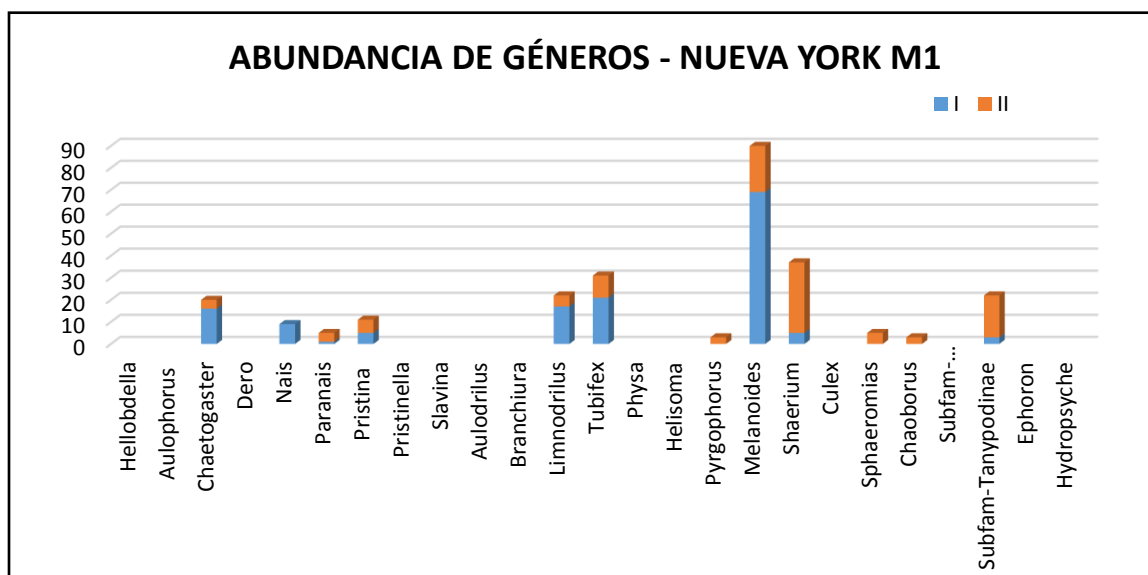


Figura 36. Abundancia de géneros M1. Fuente: Autor

La estación Nueva York presenta 12 géneros identificados de acuerdo a las claves taxonómicas para la región como se muestra en la figura 37, 9 en el primer muestreo (aguas bajas) y 11 en el segundo muestreo (aguas altas), esto si se tiene en cuenta que en el muestreo II se encontraron 3 nuevos géneros para este punto (*Chaoborus*, *Sphaeromias* y *Pyrgophorus*), 8 más se mantuvieron estables en los dos muestreos y solo uno de ellos (*Nais*) se presentó únicamente en el primer muestreo.

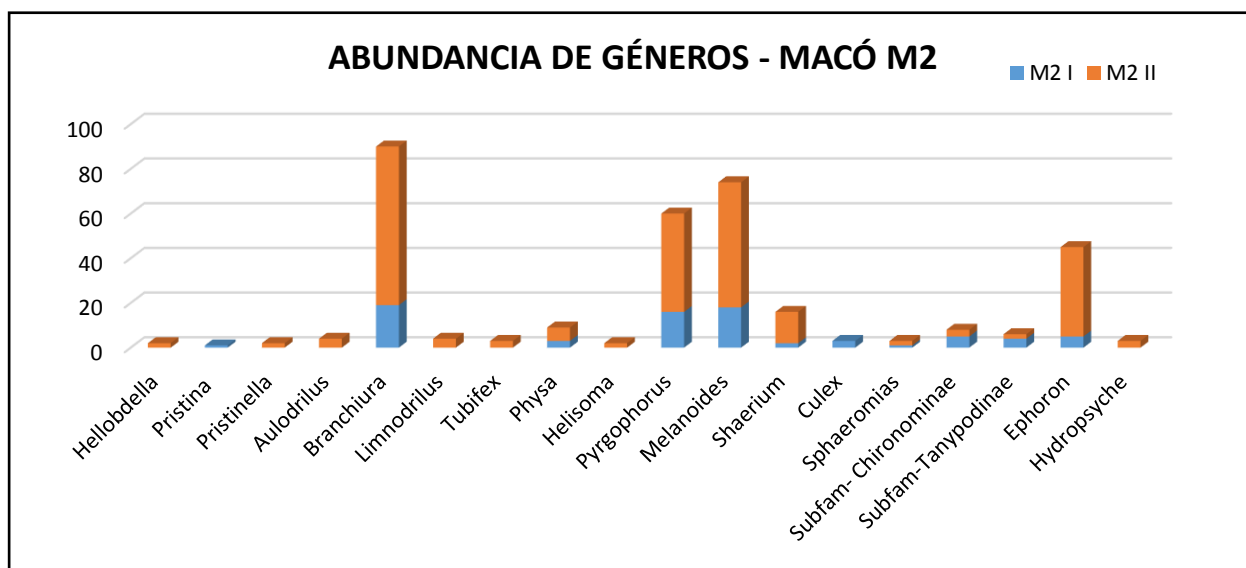


Figura 37. Abundancia de géneros M2. Fuente: Autor

Para la estación de muestreo Macó se identificaron 18 géneros, agrupados en 13 familias y representados de la siguiente manera: 11 géneros en el primer muestreo y 16 en el segundo, 7 de ellos únicamente presentes en este muestreo (Figura 37).

M3 estación de muestreo Caraguaja indica 14 géneros identificados, en esta estación contrario a las anteriores la mayoría de géneros se encuentran presentes en los dos muestreos a excepción de *Helisoma* y *Physa* géneros presentes exclusivamente en el primer muestreo (Figura 38).

Otro de los aspectos para resaltar es la diferencia entre la cantidad de individuos en cada uno de los muestreos, los cuales en todos los casos tienen mayor representación en el segundo muestreo (aguas altas). Ejemplo de esto son los géneros *Pyrgophorus*, *Shaerium* y *Helobdella* casos en los que el muestro II aumenta hasta en seis veces su valor.

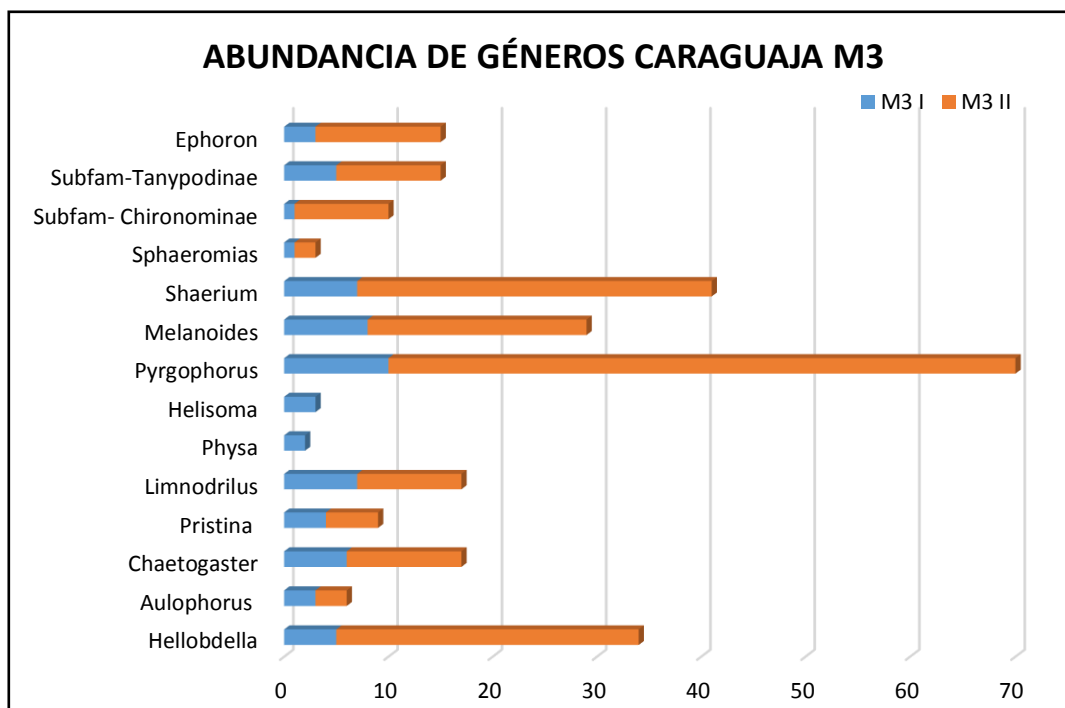


Figura 38. Abundancia de géneros M3. Fuente: Autor

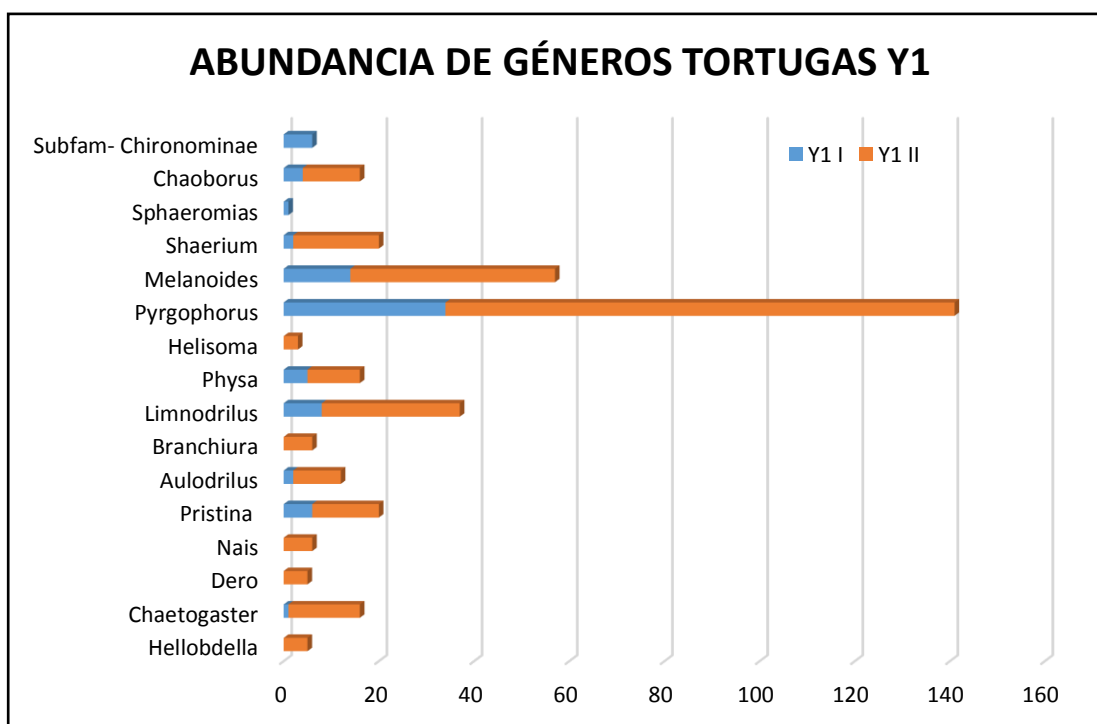


Figura 39. Abundancia de géneros Y1. Fuente: Autor.

En la estación de muestreo Tortugas se identificaron 16 géneros, 9 de ellos presentes en ambos muestreos, uno (Subfamilia - Chironominae) presente solamente en el primero y 5 géneros exclusivos del segundo; pertenecientes en su mayoría (cuatro de ellos) al Phylum Anélida, tal y como se indica en la Figura 39.

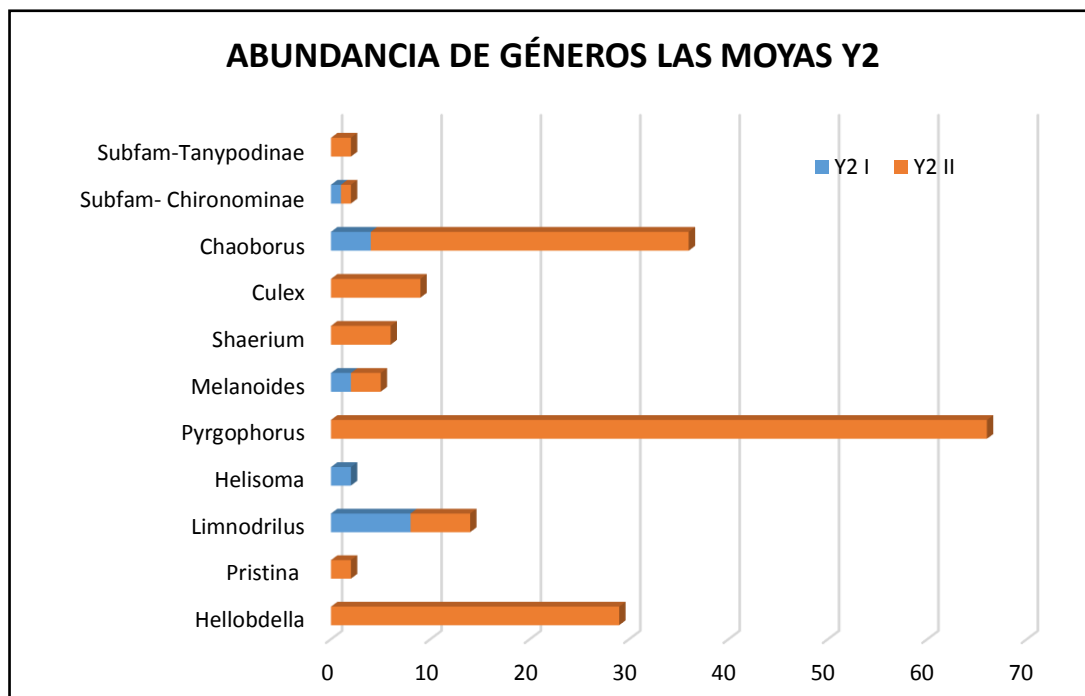


Figura 40. Abundancia de géneros Y2. Fuente: Autor.

Para la estación Las Moyas se encontraron 11 géneros clasificados así: cuatro de ellos presentes tanto en aguas bajas como altas, uno (*Helisoma*) caracterizado solo en aguas bajas y seis géneros (Subfamilia Tanypodinae, *Culex*, *Shaerium*, *Pyrgophorus*, *Pristina* y *Hellobdella*) encontrados únicamente en el muestreo correspondiente a aguas altas (Figura 40).

Con respecto al género *Pyrgophorus*, se debe tener en cuenta que es un género muy abundante en la muestra con un 38% del total de la misma, siendo lo más relevante que este porcentaje lo obtiene en su única aparición durante el segundo muestreo.

En el punto de muestreo La Vaga se presenta un fenómeno muy marcado y es el aumento excesivo entre la abundancia del muestreo I y el muestreo II, siendo este último el de mayor representación, con siete géneros exclusivos y cinco géneros presentes en ambos muestreos pero que se duplican en valor con respecto al muestreo inicial.

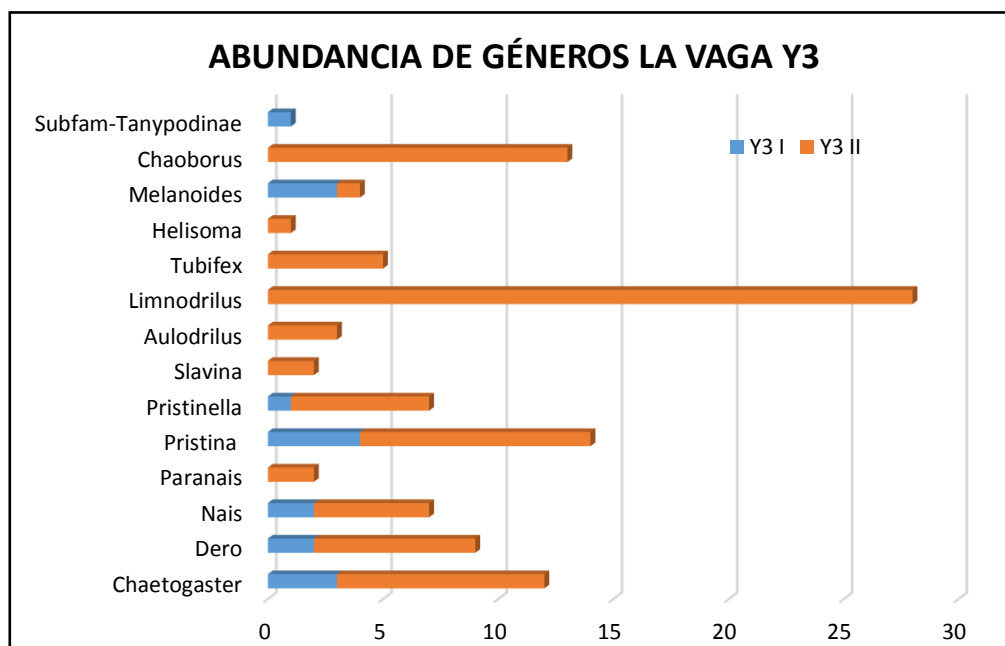


Figura 41. Abundancia de género Y3. Fuente: Autor.

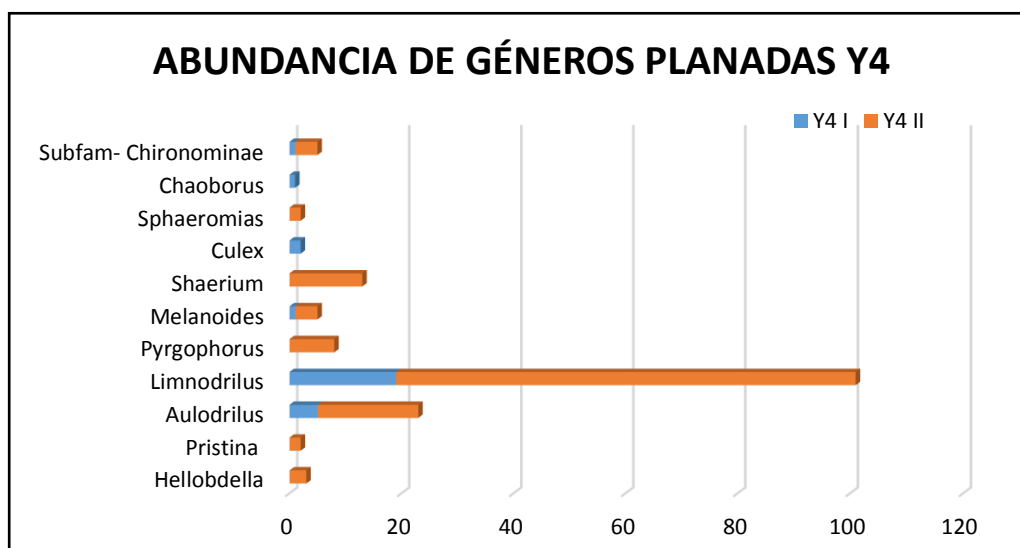


Figura 42. Abundancia por géneros Y4. Fuente: Autor

En la estación Planadas se evidencia un creciente número de individuos de la familia Tubificidae en los géneros *Limnodrilus* y *Aulodrilus*, es importante resaltar el gran número de individuos en la muestra con el 81% de representatividad, siendo esta estación donde más se evidencia su presencia en el embalse.

5.3. Resultados de parámetros fisicoquímicos

Los datos fisicoquímicos analizados en los dos periodos hidroclimáticos y en los diferentes puntos de muestreo se relacionan en la tabla 12.

PARÁMETROS	UNIDADES	MUESTREO	Estación 1 Nueva York	Estación 2 Macó	Estación 3 Caraguaja	Estación 4 Tortugas	Estación 5 Las Moyas	Estación 6 La Vaga	Estación 7 Planadas
			M1	M2	M3	Y1	Y2	Y3	Y4
CALCIO	mg Ca/L	I	16,8	24	14,4	14,4	18,4	16	20
		II	15,2	20,8	16	19,2	21,6	18,4	24
DUREZA TOTAL	mg/L	I	66	90	64	60	56	72	68
		II	54	62	62	58	70	94	86
CLORUROS	mg Cl -/L	I	12,5	12	19	13	9	14	13
		II	25	19,5	12,5	16	20	8	10
MAGNESIO	mg Mg/L	I	5,84	7,3	6,81	5,84	2,43	7,78	4,38
		II	3,89	5,85	5,35	2,43	3,89	11,67	6,32
CONDUCTIVIDAD	μS/cm	I	107	96,63	99,98	100	102	109	116
		II	110	100	120	150	140	110	150
OXIGENO DISUELTO	mg/L	I	10,5	10,4	7,64	6,8	7,94	11,1	7,5
		II	11,01	11	8,5	9,77	8,84	11,4	9,4
NITRITOS	mg NO ₂ -/L	I	0,033	0,001	0,033	0,001	0,001	0,001	0,003
		II	0,165	0,066	0,033	0,066	0,066	0,001	0,001
AMONIO	mg NH ₄ +/L	I	0,08	0,12	0,03	0,01	0,01	0,04	0,18
		II	0,06	0,1	0,03	0,02	0,03	0,04	0,16
DIOXIDO DE CARBONO	mg CO ₂ /L	I	10	5	15	5	5	5	10
		II	20	15	10	15	10	10	15
ALCALINIDAD	mg CaCO ₃ /L	I	34,2	30	34,2	40	34,5	30	27
		II	40	35	45	50	36	32	29
pH	Unidades	I	8,5	8,5	7,1	8,2	7,8	8,8	8,3
		II	7,6	7,5	7,1	7,2	7,7	7,7	8
Temperatura	°C	I	29,4	32	28	27	28,9	31,3	29,1
		II	25	23	25	25	24	21	25

Tabla 12. Parámetros fisicoquímicos en los siete puntos de muestreo. Fuente: Autor

5.3.1. Dureza Total, Calcio y Magnesio

La dureza del agua corresponde a la suma de calcio y magnesio, a los que se añaden los iones hierro, aluminio, manganeso, etc. Las aguas con bajas durezas se denominan “blandas” y biológicamente son poco productivas, por lo contrario, las aguas con durezas elevadas “duras” son más productivas. La productividad está generalmente dada por unas pocas especies que se han adaptado a estas condiciones, aguas con durezas intermedias pueden poseer fauna y flora más variada, pero son menos productivas en términos de biomasa (Roldán, 1992). Para consumo humano se considera que las aguas blandas o duras son igualmente satisfactorias.

El calcio es un elemento muy frecuente, normalmente forma sales solubles con muchos aniones (bicarbonato, sulfato, cloruro, fluoruro, etc ...) lo que lo convierte en el catión mayoritario en las aguas, superando como media, la veintena de mg/l, especialmente las de uso. El Ca pasa al agua por dos vías: (a) disolución cuando proviene de sulfatos y silicatos; (b) por la acción agresiva del CO₂ disuelto en el agua cuando se trata de Ca presente en calizas, margas y dolomitas (esto mismo puede decirse del magnesio) (Ayora, 2006).

La existencia de algunas especies, con frecuencia relacionadas con aguas duras, son características de aguas ricas en calcio, especialmente en moluscos, hirudíneos y trícados (>20 mg Ca/L) (Wetzel R. , 1981).

El Mg es fundamental para la fotosíntesis como integrante de la clorofila, de ahí su importancia para la productividad primaria en los ecosistemas acuáticos, es también importante en ciertos sistemas enzimáticos de los organismos especialmente en algas, hongos y bacterias e interviene en la formación de los huesos. Además, es un elemento frecuente bajo forma de carbonatos, sulfatos y cloruros, así como en silicatos.

También el Mg (como el Ca) está involucrado en un equilibrio "carbonato insoluble-bicarbonato soluble", aunque los compuestos de magnesio en general son mucho más solubles en agua que los del calcio; estos son responsable de procesos de incrustación y agresión en tuberías de aguas (Ayora, 2006).

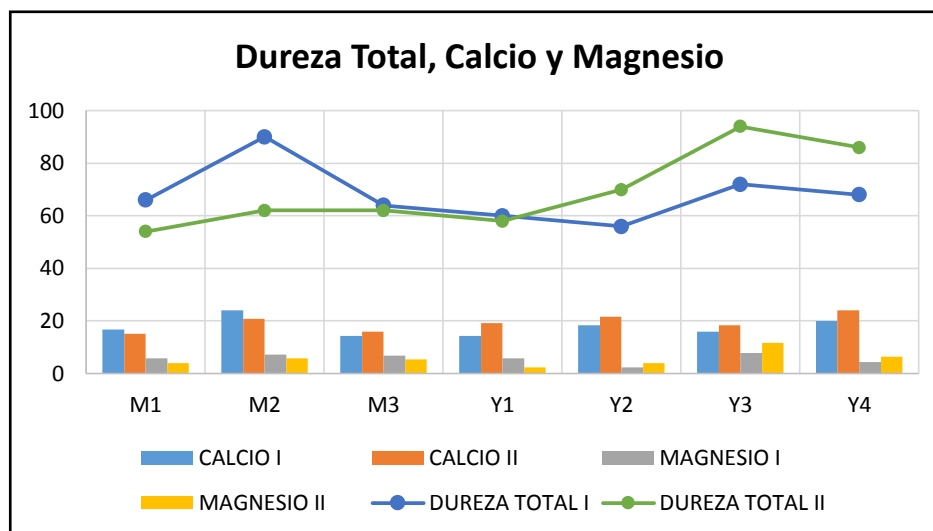


Figura 43. Variación de Dureza, calcio y magnesio en el Embalse de Betania. Fuente: Autor.

En la figura 43. Se observa el comportamiento de los valores de los parámetros químicos de dureza total, calcio y magnesio en las siete estaciones de muestreo y los dos periodos hidroclicmáticos que se analizaron. A partir de estos datos es preciso establecer que en la mayoría de los puntos de muestreo la variación entre el calcio y el magnesio es directamente proporcional al valor de la dureza total de la muestra, esto debido a la proporción que existe entre la composición de la dureza total y estos dos elementos, cuyos valores se encuentran en 48% para el Ca y 14% para el Mg (para todos los cationes presentes), en aguas que poseen menos de 50 mg/L de solidos disueltos (Roldán & Ramírez, 2008).

De acuerdo a estos datos se observa mayores niveles de dureza total en el brazo Magdalena durante el primer muestreo (aguas bajas) en contraste con los más bajos niveles en el brazo Yaguará para la misma época hidroclicmática, caso contrario ocurre para el segundo muestreo, donde los niveles más altos los obtiene el brazo Yaguará. Además, si se toman los valores promedio de las muestras se puede determinar que el brazo Yaguará presenta mayor promedio de dureza total debido a la mayor concentración de calcio en sus puntos de muestreo durante las dos épocas hidroclicmáticas, como se evidencia en la Tabla 13.

		Magdalena	Yaguará
Dureza Total	mg/L	66,3	70,5
Calcio	mg Ca/L	17,9	19,0
Magnesio	mg Mg/L	5,8	5,5

Tabla 13. Valores promedio Dureza Total, Calcio y Magnesio. Brazo Magdalena y Yaguará Embalse de Betania. Fuente: Autor

5.3.2. Amonio y nitritos

El nitrógeno es un elemento esencial para el crecimiento de algas y causa un aumento en la demanda de oxígeno al ser oxidado por bacterias, reduciendo por ende los niveles de éste. Las diferentes formas del nitrógeno son importantes de determinar para establecer el tiempo transcurrido desde la polución de un cuerpo de agua. En el tratamiento biológico de aguas residuales, los datos de nitrógeno amoniacal y orgánico son importantes para determinar si el residuo contiene suficiente nitrógeno para nutrir a los organismos. Las descargas de aguas residuales ricas en nitrógeno pueden causar problemas de eutrofización y de nitrificación, con la consecuente concentración de nitratos y riesgo de metahemoglobinemia para usuarios de la fuente receptora (Romero, 2001).

El amonio (NH_4) y el nitrito (NO_2^-) son unas de las formas en las que el nitrógeno se puede encontrar en el agua dulce. El origen del nitrógeno puede ser: a) precipitación sobre la superficie del embalse, b) fijación de nitrógeno tanto en el agua como en los sedimentos y c) aportes debidos al drenaje superficial y subterráneo.

En las aguas superficiales no contaminadas, los valores de nitrógeno en forma de amonio pueden variar desde 0 a 5 mg/L, aunque generalmente se encuentran por debajo de este último valor y pueden alcanzar más de 10 mg/L en el hipolimnion anaeróbico de algunos lagos eutróficos. Por otra parte, en los nitritos los valores son muy bajos del orden de 0 a 0,01 mg/L (Wetzel R. , 1981).

El amonio es el principal producto final de la descomposición de la materia orgánica realizado por bacterias heterótrofas tanto directamente a partir de las proteínas como de otros compuestos orgánicos nitrogenados. Aunque en la degradación de la materia orgánica se van formando compuestos nitrogenados intermedios, estos poco se acumulan.

Contrariamente a lo que se piensa el amonio resultante de la excreción de animales acuáticos, es muy inferior a la derivada de la descomposición de los mismos (Wetzel R. , 1981).

Estos parámetros se consideran indicadores de degradación de materia orgánica en el sistema. Los valores de éstos indican los procesos de oxidación correspondientes al ciclo del nitrógeno. Dentro de los ecosistemas hídricos se ha establecido un rango máximo permisible para el desarrollo normal de la biota acuática 0.05 mg/L (Vásquez, Zamora, & Naundorf, 2002).

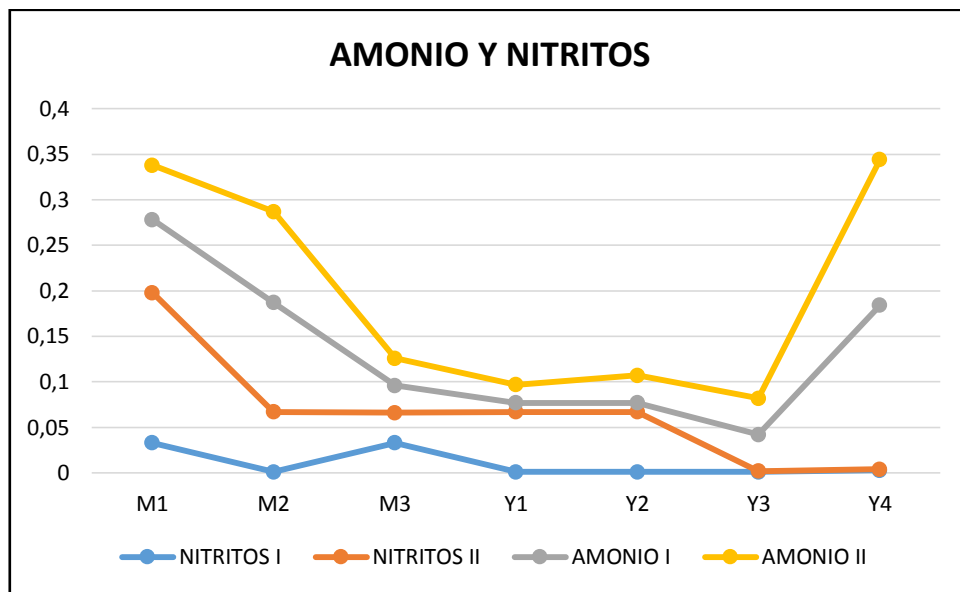


Figura 44. Variación de los parámetros de amonio y nitritos en el Embalse de Betania. Fuente: Autor

Al observar la figura 44, se puede evidenciar que los valores más altos para estos parámetros se encuentran en las estaciones M2 Macó y Y4 Planadas, las cuales reciben directamente las aguas del río Magdalena y Yaguará respectivamente, esto indica que en estas zonas comienzan los procesos de oxidación y descomposición; por consiguiente, tienen las tasas más altas de degradación de la materia orgánica en las primeras etapas del ciclo del nitrógeno. Estos procesos seguirán desarrollándose a lo largo del embalse, pero en menor intensidad, mostrando valores pocos relevantes en comparación a los mostrados en los puntos en mención.

Es de resaltar que la estación M1 Nueva York, también presenta altos niveles en estos parámetros, esto debido a la actividad piscícola intensiva en este sector, ya que como se mencionó anteriormente en este punto se presentan los dos principales procesos del origen del nitrógeno: excreción de los peces y a la descomposición de la materia orgánica.

5.3.3. Sistema Dióxido de carbono, pH y Alcalinidad

El intervalo de concentración adecuado de pH para la proliferación y desarrollo de la vida acuática es bastante estrecho y crítico, la mayoría de animales acuáticos prefieren un rango de 6.5 a 8.0, fuera de este rango se reduce la diversidad por estrés fisiológico, así como la reproducción (Marin, 2003).

Según (Prieto, 2004) el pH no mide el valor de la acidez o alcalinidad, sino que la determinación del pH en el agua es una medida de la tendencia de su acidez o su alcalinidad. Un pH menor de siete indica una tendencia hacia la

acidez, mientras que un pH mayor de siete muestra una tendencia hacia la alcalinidad. Un pH muy ácido o muy alcalino puede indicar contaminación industrial.

El dióxido de carbono juega un papel fundamental en el agua, el de realizar la acción 'buffer' (amortiguación), que evita los cambios bruscos de pH, pues serían letales para muchos organismos.

Así, cuando se realiza la fotosíntesis disminuye el CO_2 libre y comienzan a aparecer el bicarbonato y el carbonato. Durante la respiración se presenta el fenómeno contrario. Estos iones fomentan, en el primer caso, el cambio del pH del agua hacia el lado básico: y en el segundo, hacia el lado ácido. La presencia de estos iones determina el concepto de alcalinidad, la cual se expresa como la cantidad de bicarbonatos y carbonatos presentes en el agua. Si el pH es inferior a 8.3, se expresa como alcalinidad bicarbonato, y si es superior, se expresa como alcalinidad carbonato (Roldán Pérez, 2012).

La alcalinidad proporciona la acción buffer o amortiguadora de cambios de pH al agua, de tal forma que conocer la alcalinidad de un cuerpo de agua es fundamental para determinar su capacidad para mantener los procesos biológicos y una productividad sostenida y duradera (Roldán, 2003). Está es importante en los procesos de coagulación química, ablandamiento y control de la corrosión.

La alcalinidad de las aguas se refiere a la cantidad y clase de compuestos presentes que, en conjunto cambian el pH hacia el lado alcalino de la neutralidad. Esta alcalinidad es originada por la presencia de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos y en menor cantidad por boratos, silicatos y fosfatos (Wetzel R., 1981).

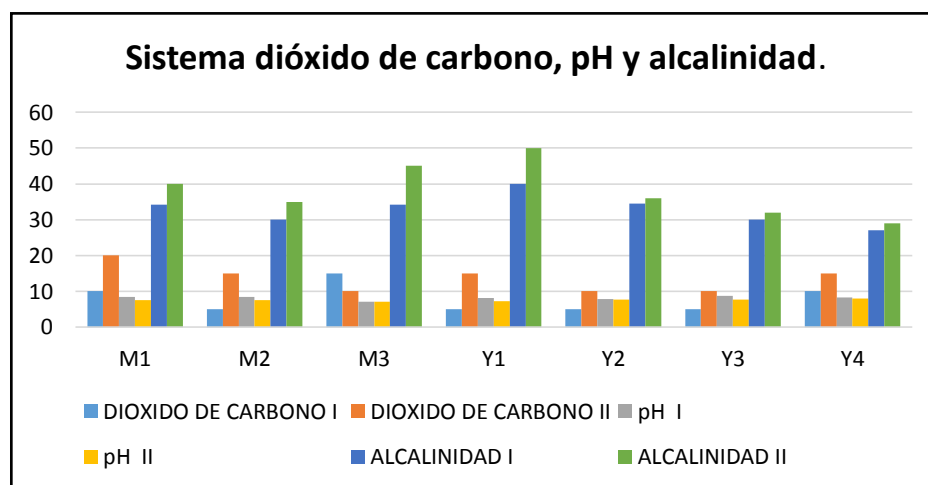


Figura 45. Variación de CO_2 , pH y Alcalinidad en el Embalse de Betania. Fuente: Autor

Los valores de pH oscilan entre 7,1 y 8,8 con un nivel de variabilidad entre las estaciones de 0,55 y un promedio de 7,8. Este parámetro da a conocer la naturaleza básica del embalse (Figura 45), lo cual puede darse debido a que las muestras fueron realizadas durante el día, momento en el cual el proceso de fotosíntesis se encuentra activo y se evidencia el aumento del mismo.

También, permite determinar la eficiencia del sistema al no retener de forma excesiva residuos de descomposición, excreción o especies alóctonas que intervengan en el equilibrio del cuerpo de agua.

Los valores más elevados se encontraron en el primer muestreo en los que a excepción de M3 y Y2 se alcanzaron niveles superiores a 8,3 es decir, la alcalinidad es de tipo carbonato.

5.3.4. Cloruros

Es uno de los principales aniones inorgánicos presentes en aguas naturales y residuales. Son responsables del sabor salobre en el agua y común en aguas residuales domésticas, pues la contribución por persona (orina) es de 6 a 9 g/día. Los contenidos de cloruros en las aguas son extremadamente variables y se deben principalmente a la naturaleza de los terrenos atravesados.

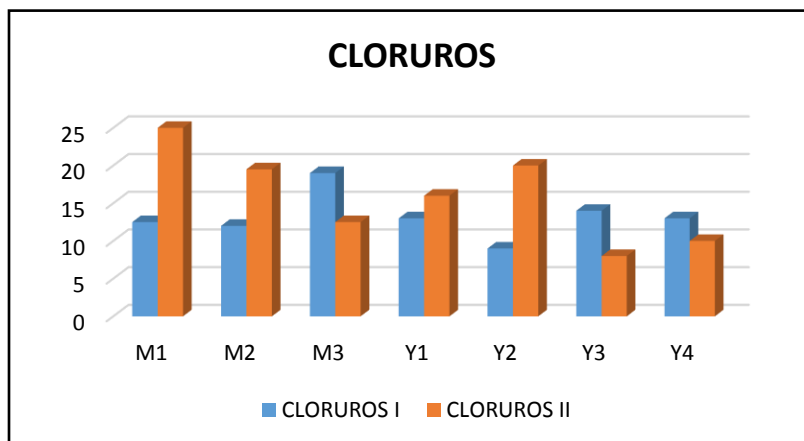


Figura 46. Valores de cloruro para los siete puntos de muestreo. Fuente: Autor.

Los valores normales para este parámetro se encuentran entre 2 y 10 mg/L, al observar la figura 46 se puede determinar que las concentraciones del embalse se hallan muy por encima de estos valores, con datos que van desde 8 hasta 25 mg/L, un promedio de 14,5 mg/L y una desviación estándar de 4,8; lo que equivale a una gran dispersión de los datos inclusive en el mismo punto de muestreo para los dos periodos hidrológicos, esto se presenta sobre todo en las estaciones M1, Y2 y Y3 donde la diferencia entre los valores de los periodos es el doble.

Altos valores de cloruro en general son indicadores de afluentes industriales, urbanos y rurales y en regiones áridas y semiáridas las concentraciones suelen ser mayores y pueden variar a lo largo del año (Straskraba & Tundisi, 1999). Esto se puede corroborar con los datos obtenidos ya que, el punto M1 se caracteriza por la explotación piscícola intensiva, Y2 por la cercanía a la zona urbana del municipio de Yaguará y Y3 por la proximidad a algunos cultivos intensivos principalmente de arroz, en la que sus aguas residuales caen directamente a esta zona.

5.3.5. Oxígeno Disuelto y Temperatura

El oxígeno disuelto es uno de los parámetros más importantes de los cuerpos de agua dulce, puesto que es esencial para el metabolismo de todos los seres acuáticos que presentan una respiración aeróbica.

Constituye uno de los elementos de mayor importancia en los ecosistemas acuáticos, ya que su presencia y concentración determina las especies, de acuerdo a su tolerancia y rango de adaptación, estableciendo la estructura y funcionamiento biótico de estos sistemas (Ramírez & Viña, 1998). La baja concentración de oxígeno disuelto en el agua es, generalmente, una indicación de alta contaminación, ya que sirve para denotar la presencia de organismos que “respiran” y se multiplican a una tasa superior a la difusión del oxígeno desde la atmósfera al agua (Faña, 2000).

Los aportes de oxígeno disuelto proceden de diferentes fuentes como por ejemplo la interacción de la superficie del agua con la atmosfera, los procesos fotosintéticos, los afluentes y la agitación moderada del cuerpo hídrico. Este oxígeno es consumido por procesos respiratorios en plantas y animales, por demandas bioquímicas, química y bentónica, pero el principal factor de consumo de oxígeno libre es la oxidación de materia orgánica por respiración a causa de microorganismos descomponedores como las bacterias, en la interfase agua sedimento.

Este parámetro tiene mayor validez si se compara con la temperatura, para poder establecer el porcentaje de saturación de oxígeno.

(OD) mg/L	Condición	Consecuencias
0	Anoxia	Muerte masiva de organismos aerobios.
0 – 5	Hipoxia	Desaparición de organismos y especies sensibles.
5 – 8	Aceptable	(OD) Adecuado para la vida de la gran mayoría de especies de peces y de otros organismos acuáticos
8 – 12	Buena	
>12	Sobresaturada	
		Sistema en plena producción fotosintética.

Tabla 14. Rangos de concentración de oxígeno disuelto y consecuencias ecosistémicas frecuentes. Fuente: Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos RED MAPSA

Así mismo, el oxígeno disuelto será dependiente de la temperatura, aguas más cálidas son capaces de disolver menores cantidades de oxígeno. Por lo tanto, las descargas de aguas con temperaturas considerablemente mayores a las aguas receptoras pueden causar daños a la flora y fauna al intervenir con los procesos reproductivos de las especies. De igual forma, pueden incrementar el crecimiento de bacterias y otros organismos no autóctonos, acelerar las reacciones químicas y reducir los niveles de oxígeno, influyendo en la precipitación de muchos compuestos y acelerando la eutrofización (APHA – AWWA - WPCF, 2012)

En conclusión, en embalses y lagos tropicales, que presentan mayor temperatura que los de las zonas templadas, habrá menor concentración de oxígeno disponible, por ende, la solubilidad del oxígeno es muy baja y su demanda es mayor por el aumento de la tasa de oxidación biológica (Roldán & Ramírez, 2008)

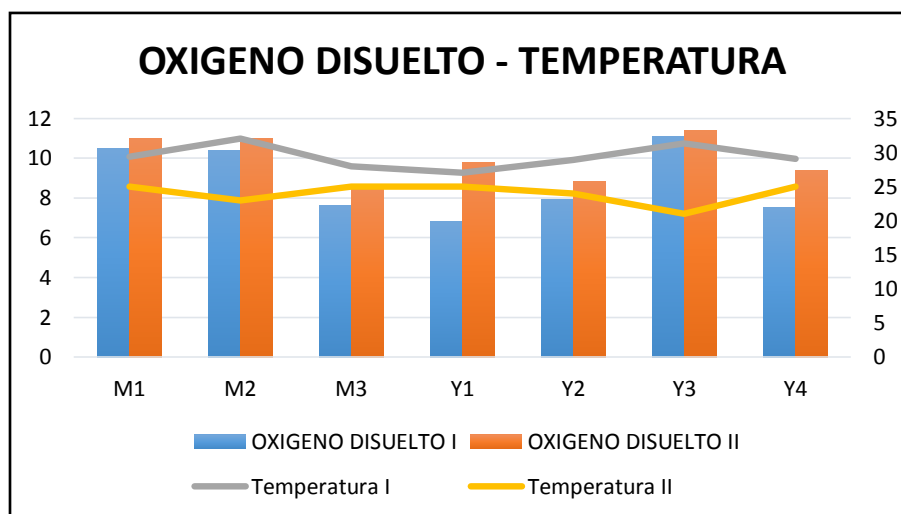


Figura 47. Variación de OD - Temperatura. Embalse de Betania. Fuente: Autor

De acuerdo a los datos obtenidos para oxígeno disuelto, estos cumplen con los rangos de concentración establecidos. Los valores más altos se encuentran en las estaciones M1, M2 y Y3, estaciones en las cuales el oxígeno presente se ve afectado por dos factores; el primero el ingreso de afluentes como el Magdalena que trae consigo cantidades apreciables de este gas y el segundo a la alta productividad generada por la actividad fotosintética de organismos como el fitoplancton.

La composición de la biota presente en el bentos no depende directamente de este parámetro puesto que ellos tienen adaptaciones importantes que les permiten vivir en zonas con bajo contenido de oxígeno. Sin embargo, al observar la tabla 15, se puede evidenciar que los valores hallados se encuentran por encima de los límites superiores del rango establecido para determinar la saturación de oxígeno.

TEMPERATURA	OD (mg/L)
0	14.5
5	12.8
10	11.2
15	10
20	9.1
25	8.3
30	7.6

Tabla 15. Dependencia de la concentración de oxígeno disuelto respecto a la temperatura del agua (Bain y Stevenson 1999)

5.3.6. Conductividad

La variación de la conductividad proporciona información acerca de la productividad primaria y descomposición de la materia orgánica, e igualmente contribuye a la detección de fuentes de contaminación, la evaluación de la actitud del agua para riego y la evaluación de la naturaleza geoquímica del terreno. (Fernández, 2007)

La mineralización de las aguas se ve directamente reflejada en la conductividad específica (la cual es una valoración de la resistencia de una solución al flujo eléctrico) de éstas, pudiéndose atribuir a los cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+) y aniones (HCO_3^- , SO_4^{2-} y Cl^-) presentes en las aguas. Otras sales resultan insignificantes en los resultados del balance iónico, pero muy importantes en los procesos biológicos (sales de nitrógeno y fósforo) (Margalef, 1958).

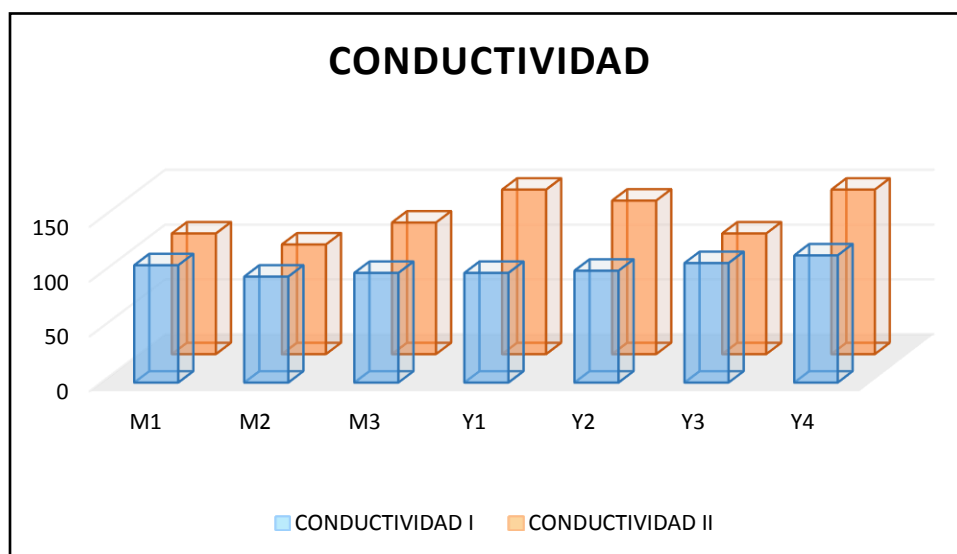
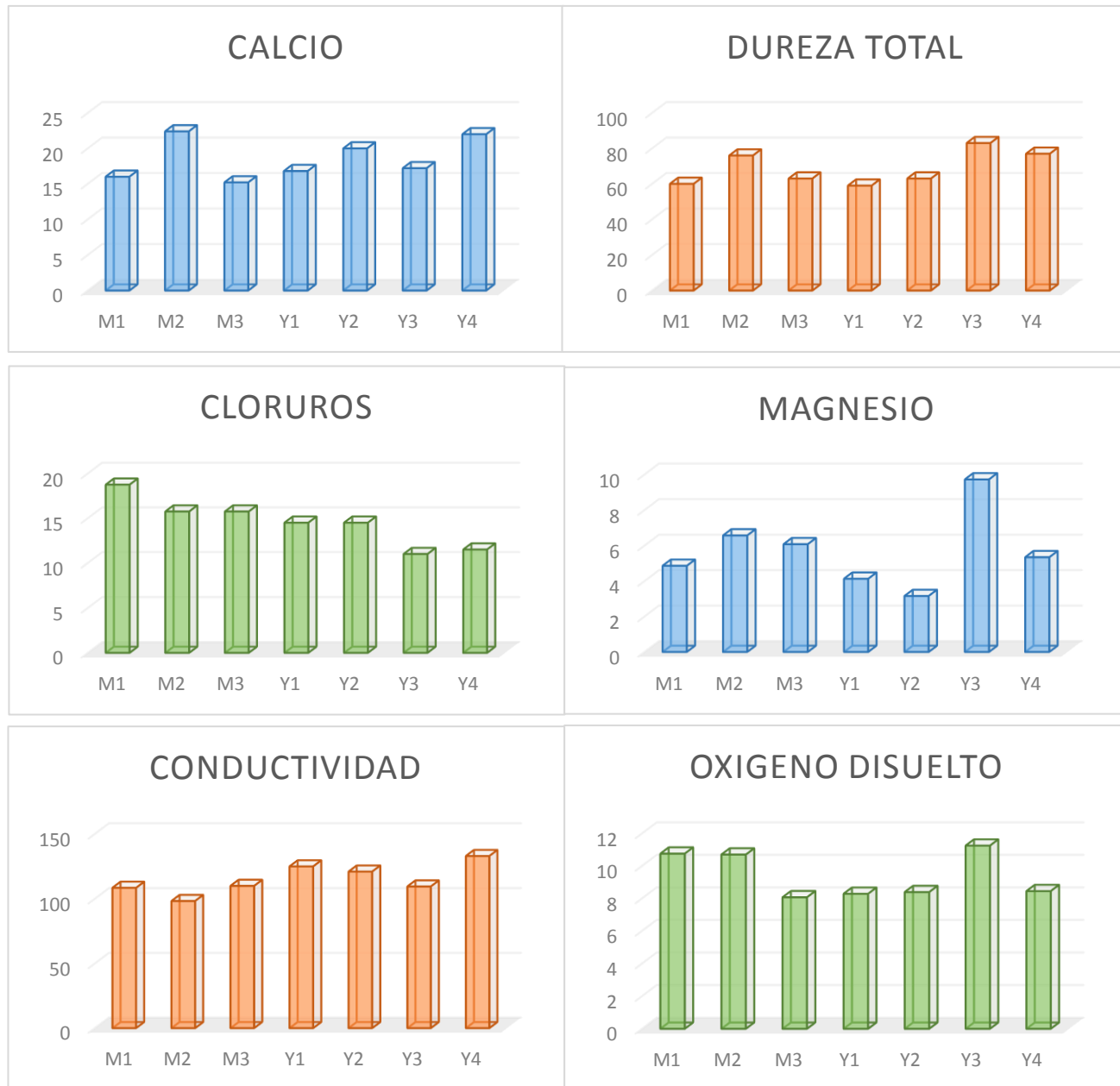


Figura 48. Variación de la conductividad Embalse de Betania. Fuente: Autor.

Los mayores valores de conductividad (Figura 48) se presentaron en el segundo muestreo, principalmente en las estaciones del brazo Yaguará, presentando el valor más alto (150 $\mu\text{S}/\text{cm}$) en Y1 y Y4. Estos puntos se encuentran influenciados principalmente por la actividad agrícola intensiva de las arroceras de este sector y por las descargas de aguas residuales de tipo doméstico y agrícola.



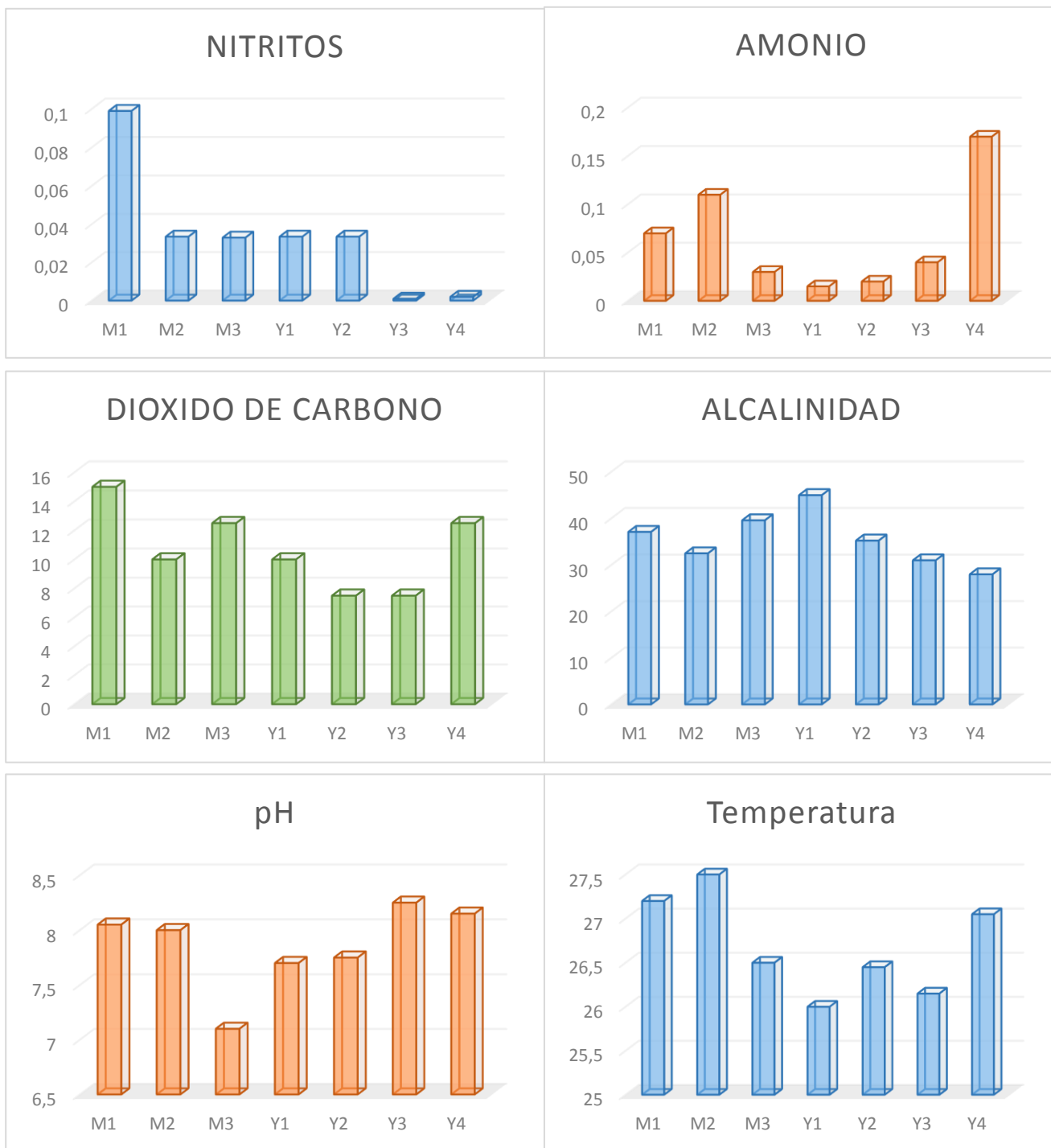


Figura 49. Variabilidad de los parámetros fisicoquímicos en los 7 puntos de muestreo. Fuente: Autor.

6. CONCLUSIONES

De acuerdo al comportamiento tanto de los parámetros fisicoquímicos como biológicos, se observa una homogeneidad parcial entre las estaciones del subembalse Magdalena y las estaciones del subembalse Yaguará, pero a su vez una diferencia significativa entre estos dos brazos. Con respecto a las épocas de muestreo existe una mayor diversidad en el segundo realizado en el mes de junio con respecto al primero realizado en el mes de marzo, se infiere de esta manera que los regímenes hidrológicos son cruciales en el aporte de nutrientes a partir de fuentes alóctonas como el río Magdalena. Lo anterior se argumenta con una alta diversidad y abundancia de especies en los sectores de Macó M2 y Caraguaja M3. Contrario ocurre en la estación Planadas Y4 ubicada en el ingreso del río Yaguará en la cola de este subembalse donde la diversidad y abundancia de especies es mínima a excepción de algunos individuos del género *Limnodrilus*. Este comportamiento atípico es explicado de alguna manera por el tipo de sustrato arenoso pobre en nutrientes y donde la fauna bentónica es escasa.

Es de apreciar que la diversidad para la zona del bentos es muy reducida debido a las condiciones extremas de habitabilidad donde solo un pequeño grupo de individuos logra adaptarse y reproducirse con gran éxito, siendo los integrantes de la familia Tubificidae los más representativos debido a la tolerancia a condiciones anóxicas (Roldán & Ramírez, 2008), los taxones pertenecientes a este grupo de individuos eligen sustratos especialmente de origen vegetal y son las bacterias las que descomponen y transforman la materia orgánica, cuyo residuo (detritos) es aprovechado por los oligoquetos como base de su alimentación. Los valores más altos en abundancia de oligoquetos son los reportados para las estaciones Nueva York y Macó, los cuales coinciden con muestras que tienen gran contenido de residuos vegetales y sedimento. Como se mencionó anteriormente la estación Planadas presenta una gran abundancia de esta familia y solo el género *Limnodrilus* tiene el 82% de esta abundancia.

La distribución vertical de estos oligoquetos en los sedimentos del embalse permite compartir un buen número de especies en el mismo sustrato alcanzando su máxima abundancia a distinta profundidad, aunque otros estudios como los de Timm (1962), proponen que la distribución y abundancia está más relacionada con el contenido de materia orgánica disponible en el sedimento. A las adaptaciones ya mencionadas se suman otras como por ejemplo de excavar en el sedimento y dejar la parte posterior de su cuerpo

donde presentan variadas formas branquiales o apéndices respiratorios vistos en algunos géneros de Naididae como *Dero* y de Tubificidae como *Branchiura*. El movimiento continuo en busca de nutrientes en el sedimento es de crucial importancia en la ruptura de la microzona oxidada de la interfase sedimento agua (Timm, 1962).

La marcada diferencia en la abundancia entre los dos grupos taxonómicos más dominantes de la fauna bentónica; los quironómidos y los oligoquetos, demuestra la presencia de aguas de tipo eutrófico. Según Wetzel R (1981), a medida que las aguas aumentan en productividad la relación de quironómidos y otros grupos taxonómicos se hace menor y los oligoquetos aumentan simultáneamente su valor. En las estaciones con bajos valores de oxígeno disuelto muestra una tendencia al aumento en el número de oligoquetos tubificidos como se presenta en las estaciones Y1, Y3 y Y4 todas para el segundo muestreo donde los valores de mayor abundancia estuvieron en el género *Limnodrilus*. Estudios realizados por Wetzel R (1981) en embalses europeos señalan que las especies pertenecientes a este género como *L. clapredeianus* y *L. hoffmeisteri* son conocidas por presentar una clara correlación positiva entre sus densidades de población y el grado de contaminación orgánica.

El segundo Phylum más abundante es Mollusca, teniendo una mayor presencia en el segundo muestreo realizado en el mes de junio. El análisis de la estructura de las comunidades malacológicas realizado en todo el mundo muestra una relación directa con el aumento de los parámetros fisicoquímicos como dureza, calcio total y alcalinidad.

Revisando los resultados obtenidos de estos parámetros con la abundancia de estos grupos taxonómicos podemos concluir que es la alcalinidad (Figura 46) la que tiene una mayor relación pues sus valores en cada una de las estaciones son acordes con la abundancia y riqueza en las mismas, hecho que es reforzado con lo expuesto mediante el análisis de Correlación canónica en esta investigación. La alcalinidad es originada por la presencia de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos (Wetzel R. , 1981), que forman la concha que los caracteriza. Tanto los gastrópodos como los bivalvos en el embalse y otros cuerpos de agua están asociados a lugares con materia orgánica en descomposición, fijados al sustrato y abundante en aguas con poca profundidad. El elevado número de individuos en la mayoría de los géneros reportados se debe a características como ser ovovivíparas, partenogenéticas y tener una enorme habilidad de invadir nuevos hábitats, en parte a través del transporte sobre aves acuáticas o por el transporte humano debido a actividades pesqueras en las mallas al adherirse las formas juveniles en ellos (Albarran Melze, Rangel Ruíz, & Gamboa Aguilar, 2009) como puede suceder en el embalse.

Los géneros más representativos en el Embalse de Betania son *Pyrgophorus* y *Melanoides*. El primero a pesar de ser una especie invasora o exótica en otros lugares, para Sudamérica y el caribe es una especie endógena, debido a su presencia en estado fósil en estas regiones según los reportes de Mario Nava, Héctor Severeyn & Nakary Machado (2011). Los *Melanoides* también poseen una distribución amplia y va desde el sur de Estados Unidos hasta el norte de Sudamérica incluida Colombia en las que se han reportado en la mayoría de estudios limnológicos. Algunas de las especies más representativas de este género son *M. tuberculata* el cual es conocido por ser un agente transmisor de enfermedades, ya que actúa como hospedero intermediario de trematodos como *Clonorchis sinensis* y *Centrocestus formosanus* que son parásitos del humano y de peces de importancia comercial respectivamente (Goldsmith & Heyneman, 1995), y en gran cantidad pueden desplazar hasta su desaparición a otras especies como las del género *Physa* y *Helisoma* presentes en menor cantidad en el embalse.

Por otra parte, al hablar de los índices tradicionales de diversidad se puede mencionar que tienen problemas con el tamaño de la muestra subestimando la riqueza taxonómica real, por lo que se han empleado para este estudio índices basados en distancia taxonómica (Hidalgo, Toledo, & Granados - Barba, 2015), determinada por la longitud de la vía entre especies en una jerarquía taxonómica similar, la base de la medida es la relación filogenética y funcional entre las especies (Ricotta, 2005).

En cambio, el índice de diversidad taxonómica $\Delta+$ (Warwick & Clarke, 1998), posee ventajas en cuanto a la independencia del tipo de hábitats, del tamaño de la muestra y de la presencia de especies raras. Según Hidalgo (2015), este tipo de índices contribuyen a la comprensión de la estructura y distribución de las comunidades para el monitoreo de los cambios en la calidad de los hábitats, siendo además una herramienta útil para evaluar la diversidad de los fondos blandos en ecosistemas lacustres e insulares.

La importancia de este índice se representa especialmente en 2 estaciones Caraguaja (M3) y Planadas (Y4), los cuales representan los puntos extremos en esta medición. M3 con la mayor distancia entre puntos es decir la mayor diversidad taxonómica y Y4 con la menor distancia entre los mismos, todo esto estrechamente relacionados con las características fisicoquímicas, las actividades antrópicas, la profundidad de la muestra y la presencia de material orgánico y demás características que se estudiaron en las muestras, generando como resultado general condiciones más apropiadas para la propagación de individuos.

El análisis realizado sobre la comunidad de invertebrados bentónicos en el embalse de Betania, y su relación con algunos parámetros fisicoquímicos,

permite interpretar aspectos de la calidad ambiental en este ecosistema y los efectos de actividades antrópicas que inciden en los hábitats de estos organismos. En varios aspectos como la predominancia de grupos taxonómicos como los oligoquetos y quironómidos, se evidencia el efecto de acumulaciones de materia orgánica generadas por vertimientos como residuos agrícolas y domésticos en puntos señalados del embalse, en los cuales se detecta un avanzado estado de eutroficación. Igualmente, tales efectos se reflejan en atributos de la comunidad como los determinados mediante los índices bióticos, entre los cuales se destacan la variación de heterogeneidad entre los brazos del embalse y los valores relativamente bajos de la diversidad taxonómica. Otros aspectos como los materiales transportados por los afluentes pueden incidir en el desarrollo de algunos grupos como se ha señalado para los moluscos gastrópodos. En general, esta evaluación de una comunidad poco estudiada en estos ecosistemas contribuye a la interpretación de la calidad ambiental de este cuerpo de agua de gran importancia regional.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Albarran Melze, N., Rangel Ruíz, L., & Gamboa Aguilar, J. (2009). *Distribución y abundancia de Melanoides tuberculata (Gastropoda: Thiaridae) en la Reserva de la Bisfera Pantanos de Centla, Tabasco, México*. (Vol. 25). México: Acta Zool.
- Alba-Tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados Acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. *IV Simposio del agua en Andalucía. Vol. II*, págs. 203 - 213. Almería: Departamento de Biología animal y ecología. Universidad de Granada. Recuperado el 24 de 4 de 2017
- Alba-Tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. *IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA)*. (págs. p. 203 - 213). Andalucía: Departamento de Biología Animal y Ecología. Universidad de Granada.
- Alonso-Eguía, L. (2014). *Diversidad, conservación y uso de los macroinvertebrados dulceacuícolas de México, Centroamérica, Colombia, Cuba y Puerto Rico*. México D.F.: Instituto Mexicano de Tecnología del agua.
- APHA – AWWA - WPCF. (2012). *Standard Methods for examination of water and wastewater*. Washington: American Public Health Association. 22nd.
- Arce, O. (2006). Indicadores biológicos de calidad del agua. *Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias y Tecnología. Programa de Maestría en Ingeniería Ambiental*, p. 21.
- Ayora, M. (2006). Biodiversidad y análisis de aguas. *Revista del departamento de Química, Física y Analítica. Universidad de Jaén*, 47.
- Berger, W., & Parker, F. (1970). *Diversity of planktonic Foramenifera in deep sea sediments*. . Science.
- Bray, J., & Curtis, J. (1957). *An ordination of upland forest communities of southern Wisconsin* Ecological Monographs.
- Brillouin, L. (1956). *Science and Information Teory*. New York: Academic Press.
- Brinkhurst, R. O., & Marchese, M. R. (1989). *Guía para la identificación de oligoquetos acuáticos continentales de sud y centroamerica* (2 ed.). Santo Tomé: Asociación Ciencias Naturales del Litoral.
- Cala, P. (1995). Trophic Levels of the most abundant fishes of the Betania reservoir, upper Río Magdalena. *Acta Biológica Venezolana*, (pág. p. 47).

- CAM. (2007). Cap. 2 Síntesis Ambiental PAT 2007 - 2009. Pag. 18 - 75.
- Camargo, J. (1992). *New diversity index for assessing structural alterations in aquatic communities*.
- Carvacho, C. (2012). *Estudio de macroinvertebrados bentónicos y desarrollo de un índice multimétrico para evaluar el estado ecológico de los ríos de la cuenca del Limari en Chile*. Universidad de Barcelona .
- Convenio Cortolima - CORPOICA - SENA - Universidad del Tolima. (2003). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica mayor del Río Coello*.
- Dahnia Ltda. (2007). *Monitoreo limnológico Embalse de Betania. "Periodo de mayor y menor nivel"*. Orden de Servicio 4700113166.
- Daphnia Ltda. (2003). *Monitoreo Limnológico Embalse de Betania. "Periodo de menor y mayor nivel"*. Orden de servicio 4700034122.
- Domínguez, E., & Fernández, H. (2009). *Macroinvertebrados Bentónicos Sudamericanos*. Tucumán - Argentina: Fundación Miguel Lillo.
- Facultad de Ciencias Naturales y Museo. (04 de 09 de 2016). *Catedra de Ecología de Comunidades y Sistemas*. Obtenido de <http://www.fcnym.unlp.edu.ar/catedras/ecocomunidades/>
- Faña, B. (2000). *Evaluación Rápida de la Contaminación Hídrica* . Grupo Hidroecológico.
- Fernández, M. (2007). *Calidad Físico Química y Bacteriológica*.
- Fisher, R. (1943). *The Relation Between the Number of Species and the Number of Individuals in a Random Sample of an Animal Population*.
- Gamboa, M., Reyes, R., & Arrivillaga, J. (2008). *Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental*. Recuperado el 08 de 04 de 2017, de Scielo: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1690-46482008000200001&lng=es&nrm=iso>.
- Garrido, J., Benetti, C., & Pérez - Bilbao, A. (2012). *ID-TAX. Catálogo y claves de identificación de organismos utilizados en las redes de control del estado ecológico en aguas continentales*. Madrid: Ed. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Gaviria, E. (1993). *Claves para las especies colombianas de las familias Naidae y Tubificidae (Oligochaeta, Anelida)*. Caldasia.

- Goldsmith, R., & Heyneman, D. (1995). *Parasitología y Medicina Tropical*. México: Manual Moderno.
- Guisande González, C. (2017). *Gráficos estadísticos y mapas con R*. España: Díaz de santos.
- Guisande, C. (2017). *Ecological Indicators*. España: ELSEVIER.
- Heip, C. (1974). *A new index measuring evenness*. J. Mar Biological Assoc.
- Hidalgo, G., Toledo, W., & Granados - Barba, A. (2015). *Diversidad y distinción taxonómica de la macrofauna en fondos blandos de la plataforma norte y suroccidental cubana*. La Habana: Latin American Journal of Aquatic Research.
- Hill, M. (1973). *Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences*. Ecology.
- IDEAM. (20 de 02 de 2013). www.ideam.gov.co. Recuperado el 17 de 04 de 2017, de http://www.pronosticosyalertas.gov.co/web/tiempo-y-clima/prediccion-climatica?p_p_id=110_INSTANCE_ljPLJWRaQzCm&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_110_INSTANCE_ljPLJWRaQzCm_struts_action=%2Fdocument_library_
- IGAC. (1992). *Atlas básico de Colombia*. Bogotá.
- INCODER. (2003). *Plan de Ordenamiento de la Pesca y la Acuicultura - POPA*. Neiva.
- INGEOMINAS. (1988). *Mapa Geológico de Colombia*. Bogotá.
- Kalinin, L. (2008). La Directiva Marco del Agua de la UE. *Oficina de publicaciones de la comisión europea*.
- Larrondo, M. (1992). Aprovechamiento acuícola de embalses en Colombia "Apoyo a las actividades regionales de acuicultura en América Latina y el Caribe". *Avances en el manejo ya provechamiento acuícola de embalses en SAmérica Latina y el Caribe*. Italia: Programa Cooperativo Gubernamental FAO.
- Leroy, B. (2013). *Integrating multiple scales in rarity assessments of invertebrate taxa*. .
- López, F. (1995). *Macroinvertebrados y calidad de las aguas de la red de la provincia de Castellón*.
- Magurran, A. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. New Jersey : Princeton University.

- Magurran, A. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. . New Jersey: Princeton University.
- Margalef , D. (1958). *Information Theory in Ecology*. Ed. General Systematics.
- Marin, R. (2003). *Fisicoquímica y Microbiología de los Medios Acuáticos - Tratamiento y control de calidad de aguas*. España: Díaz de Santos.
- Martínez, P., Delgado, J., & Muñoz, J. (2016). Diversidad de géneros del fitoplancton del embalse de Betania - Huila y su importancia como bioindicadores. *Revista Científica - Universidad Distrital Francisco José de Caldas* Ed. 25, 241-251.
- McIntosh , R. (1967). *An index of diversity and the relation of certain concepts to diversity*. Ecology.
- McIntosh, R. (1967). *An index of diversity and the relation of certain concepts to diversity*. Ecology.
- Medina, D. S. (2016). *Estado actual de la Limnología en Colombia*. Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas - Facultad de Ciencias y Educación.
- Menhinick, E. (1964). *A comparison of some species-individual diversity indices applies to samples of fiels insects*. Ecology.
- Merrit, R., & Cummins, K. (1978). *An introduction to aquatic insects of North America*. Dubuque: Kendal/Hunt Publish.
- Merrit, R., Cummins, K., & Berg, M. (2008). *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. Dubuque, Iowa, USA: Kendall/Hunt Publishing.
- Monteoliva, A. (2000). La gestión limnológica y el mantenimiento de la integridad ecológica en los embalses. *Revista del colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos, II*, p.12.
- Nava, M., Severeyn, H., & Machado, N. (2011). *Distribución y taxonomía de Pyrgophorus platyrachis (Caenogastropoda:Hydrobiidae), en el Sistema de Maracaibo*. Venezuela: Revista Biología Tropical.
- Olaya, A., & Sánchez, M. (2005). Del Macizo Colombiano al Desierto La Tatacoa. Neiva: La ruta ddel Río Magdalena en el Huila. Universidad Surcolombiana, Corporación Autónoma del Alto Magdalena CAM.
- Oyaga M, R. (2002). *Bioindicadores Macroinvertebrados para la evaluación de contaminación acuática, presentes en el embalse el Guájaro, departamento del*

Atlántico. Barranquilla: Programa de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Corporación Universitaria de la Costa CUC.

Palma Gonzales , C., & Arana Maestre, J. (2014). *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas*. Lima: Zona Comunicaciones S.A.C. .

Palma, A. (2013). *Guía para la identificación de invertebrados acuáticos*. Santiago de Chile.

Patil, G., & Taillie, C. (1982). *Diversity as a concept and its measurement*. J. Acoust .

Perrier, R. (1935). *Clave para la identificación de Anélidos*. Paris: La Faune de France IB: Vers et Némalthelminthes.

Pielou, E. (1969). *An Introduction to Mathematical Ecology*. Ed. Wiley - Interscience Jhon Wiley & Sons.

Pielou, E. (1975). *Ecological diversity*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Posada, J., Roldán, G., & Ramírez, J. (2000). Caracterización fisicoquímica y biológica de la calidad de aguas. *Revista Biológica Tropical*, p. 59 - 70.

Prat, N., & Rieradevall, M. (2011). *Guía para el reconocimiento de las larvas de Chironomidae (Diptera) de los ríos altoandinos de Ecuador y Perú*. Barcelona: Ed. Grupo de investigación FEM - Departamento de Ecología, Universidad de Barcelona.

Prat, N., González Trujillo, J., & Ospina Torres, R. (2014). *Clave para la determinación de exuvias pupales de los quironómidos (Diptera: Chironomidae) de ríos altoandinos tropicales*. Barcelona : Ed. Grupo de Investigación FEM. Universidad Nacional de Barcelona y Laboratorio de Invertebrados Acuáticos Universidad Nacional de Colombia .

Prat, N., Ríos, B., Acosta, R., & Rieradevall, M. (2004). Los Macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas. *Macroinvertebrados Béntonicos Sudamericanos*.

Prieto, J. (2004). *El agua, sus formas, efectos, abastecimientos, usos, daños, control y conservación*. Bogotá: Eco ediciones.

Ramírez, A., & Viña, G. (1998). *Limnología colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis*. (Vol. 1ª Ed.). Santa fé de Bogotá: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

Rengifo, C. (2005). *Guía principales órdenes de Macroinvertebrados*.

Rényi , A. (1961). *On measures of information and entropy. Proceedings of the Fourth Berkeley Symposium on Mathematics, Statistics and Probability*.

- Ricotta, C. (2005). *Through the jungle of biological diversity*. Acta Biotheor.
- Roldán Pérez, G. (2012). *Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua*. (C. A. CAR, Ed.) Bogotá D.C.: Imprenta Nacional de Colombia.
- Roldán, G. (1988). *Guía para el estudio de los Macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquía*. Santa fé de Bogotá: Presencia Ltda.
- Roldán, G. (1988). *Guía para el estudio de Macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquía*. Santa Fé de Bogotá: Ed. Presencia Ltda.
- Roldán, G. (1992). *Fundamentos de Limnología Neotropical* (Vol. 1). Medellín: Colección Ciencia y Tecnología Universidad de Antioquia.
- Roldán, G. (2003). *La Bioindicación de la calidad del agua en Colombia*. Medellín: Universidad de Antioquía.
- Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de Limnología Neotropical* (Edición 2ª ed.). Universidad de Antioquía.
- Romero, H. (2001). *Ecología urbana y gestión ambiental sustentable de las ciudades intermedias chilenas*. (Vol. XVII). Ambiente y desarrollo.
- Rueda Delgado, G. (2002). *Manual de Métodos en Limnología*. Santa fé de Bogotá: Asociación Colombiana de Limnología.
- Secretaría de Planeación Municipal - Yaguará. (24 de 05 de 2017). *Sistema de Documentación e Información Municipal*. Obtenido de <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/pd%20-%20yaguar%C3%A1%20-%20huila%20-%2004%20-%2007.pdf>
- Shannon, C., & Weaver, W. (1949). *The Mathematical Theory of Communication*. Ed. University Illinois Press, Urban, IL.
- Simpson, E. (1949). *Measurement of Diversity Nature*.
- Simpson, E. (1949). *Measurement of diversity*. Nature.
- Smith , B., & Wilson, J. (1996). *A consumer's guide to evenness indices*. Oikos.
- Straskraba, M., & Tundisi, J. (1999). *Reservoir Water Quality Management*. Japón: ILEC.
- Timm, T. (1962). *Rasprostraneni maloshchetnikovikh chervei (Oligochaeta)*. Hidrobiol. Issledovaniia.

- Vásquez, G., Zamora, H., & Naundorf, G. (2002). Variación en función de tiempo y espacio de las características físico-químicas hídricas en el Embalse La Salvajina, departamento del Cauca. *UNICAUCA Ciencia*, 7, 11.
- Vergara Olaya, D. (2009). *BDigital repositoria institucional*. (U. N. MEDELLIN, Ed.) Recuperado el 30 de 04 de 2017, de Entomofauna lítica bioindicadora de la calidad del agua: http://www.bdigital.unal.edu.co/2177/2/43615961.2009_2.pdf
- Villalobos, J., & Albéndiz, L. (02 de 15 de 2017). *Control biológico de la contaminación del agua*. Obtenido de www.encuentros.uma.es/encuentros32/control.html
- Warwick, R., & Clarke, K. (1998). *Taxonomic distinctness and environmental assessment*. J. Appl.
- Warwick, R., & Clarke, K. (2001). *Practical measures of marine biodiversity based on relatedness of species*. Oceanogr. Mar. Biol.
- Wetzel, & Likens. (2000). *Limno-logical analyses*. New York: Springer - Verlag.
- Wetzel, R. (1981). *Limnología*. Barcelona: Ediciones Omega.
- Wiener, N. (1939). *The ergodic theorem*. Duke Math.
- Wiener, N. (1949). *The Interpolation, Extrapolation and Smoothing of Stationary Time Series*. New York: Wiley.
- Williams, C. (1964). *Patterns in the Balance of Nature*. London: Academic Press.

ANEXOS

ANEXO A. FOTOGRAFÍAS MACROINVERTEBRADOS EMBALSE DE BETANIA

Phylum Anélida – Clase Clitellata – Subclase Hirudinea

a. Orden Rhynchobdellida – Familia Glossiphoniidae



Figura 50. Fotografía género *Hellobdella*.

Phylum Anélida – Clase Clitellata – Subclase Oligochaeta

a. Orden Haplotaxida – Familia Naididae



Figura 51. Fotografías géneros A. *Aulophorus* y B. *Chaetogaster*.

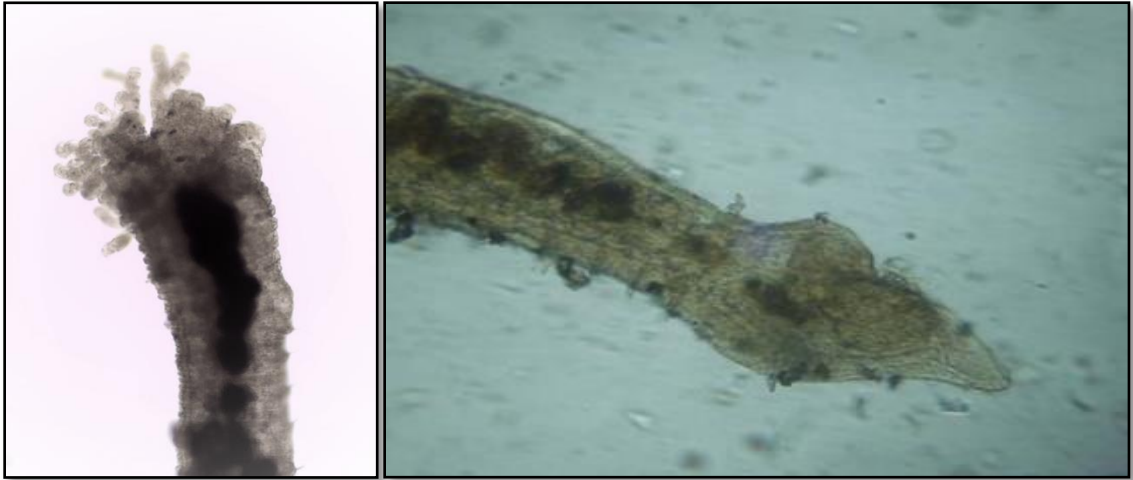


Figura 52. Fotografía género *Dero*.



Figura 53. Fotografía géneros: A. *Nais*



Figura 54. Fotografía género *Pristina* A. Fuente Autor B. Fuente Conservation Society of Metro Halifax

b. Orden Haplotaxida – Familia Tubificidae



Figura 55. Fotografía género *Branchiura*.

Phylum Mollusca – Clase Gastropoda – Subclase Pulmonata

a. Orden Basomastophora – Familia Physidae



Figura 56. Fotografía género *Physa*.

b. Orden Basomastophora – Familia Planorbiidae



Figura 57. Fotografía género *Helisoma*.

Phylum Mollusca – Clase Gastropoda – Subclase Prosobranchia

a. Orden Mesogastropoda – Familia Hydrobiidae



Figura 58. Fotografía género *Pyrgophorus*.

b. Orden Mesogastropoda – Familia Thiariidae



Figura 59. Fotografía género *Melanoides*.

Phylum Mollusca – Clase Bivalvia – Subclase Heterodonta

a. Orden Veneroida – Familia Sphaeriidae

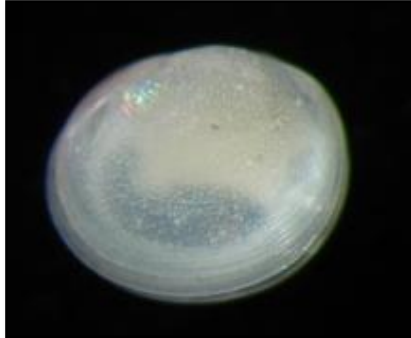


Figura 60. Fotografía género *Sphaerium*.

Phylum Artrópoda – Clase Insecta – Subclase Pterygota

a. Orden Díptera – Familia Culicidae



Figura 61. Fotografía género *Culex*.

b. Orden Díptera – Familia Ceratopogonidae



Figura 62. Fotografía género *Sphaeromias*.

c. Orden Díptera – Familia Chaoboridae

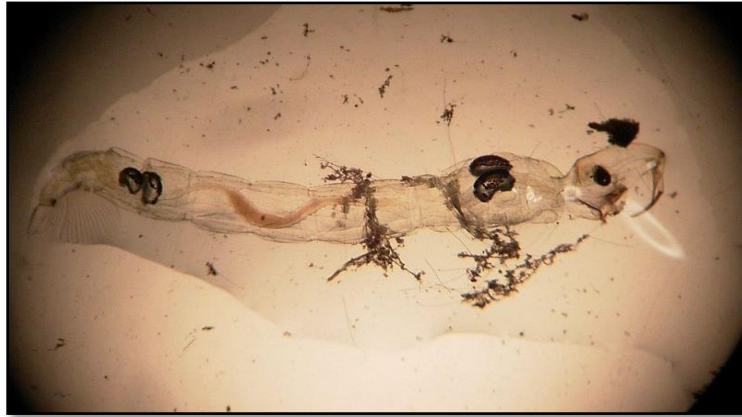


Figura 63. Fotografía género *Chaoborus*

d. Orden Díptera – Familia Chironomidae

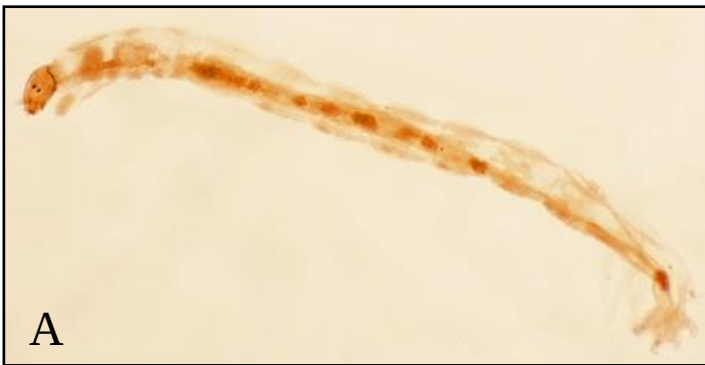


Figura 64. Fotografía géneros: A. Subfamilia Chironominae y B. Subfamilia Tanypodinae.

e. Orden Ephemeroptera – Familia Polymitarcyidae



Figura 65. Fotografía género *Ephoron*. A. Etapa inmadura y B. Edad Adulta.

f. Orden Trichoptera – Familia Hidropsychidae



Figura 66. Fotografía género *Hydropsyche*.

ANEXO B. Formato para la caracterización del hábitat del área de estudio.

Tomado de Rueda Delgado, G.,R. Sanabria & A.J. Calvo: Protocolo para la ejecución de estudios de comunidades Bénticas. Modificado por Vargas, A.

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS PARA EL EMBALSE DE BETANIA

ESTACIÓN DE MUESTREO			
CÓDIGO DE REFERENCIA:			
NOMBRE:		PROF. ANCLA:	
LOCALIZACIÓN GEOREFERENCIADA:			
FECHA:			
HORA INICIO:		HORA FINAL:	
PUNTO 1			
R1 PROF:			
HORA:			
R2 PROF:			
HORA:			
R3 PROF:			
HORA:			
CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA			
TEMPERATURA AMBIENTE:			
COBERTURA CELESTE:			
CONDICIONES ATMOSFÉRICAS:			
CARACTERIZACIÓN FÍSICO – BIÓTICA			
PRESENCIA DE VEGETACIÓN-MACRÓFITAS			
MATERIAL DEL FONDO:	HOJARASCA:	PALIZADA:	RAMAS:
CARACTERÍSTICAS DEL ESPEJO DE AGUA:			
COMPOSICIÓN DEL SUELO:			
OBSERVACIONES:			

ANEXO C. Formato para la caracterización fisicoquímica del área de estudio.

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE
MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS PARA EL EMBALSE DE BETANIA**

PARÁMETROS FÍSICO – QUÍMICOS DEL AGUA CON SONDA MULTIPARAMERICA YSI

PARÁMETROS	ESTACIONES DE MUESTREO						
	M1	M2	M3	Y1	Y2	Y3	Y4
	Nueva york	Macó	Caraguaja	Tortugas	Las moyas	La vaga	Planadas
HORA DE INICIO							
TEMPERATURA SUPERFICIE							
TEMPERATURA PROFUNDIDAD							
PRESIÓN ATMOSFÉRICA							
OXIGENO DISUELTO SUPERFICIE							
OXIGENO DISUELTO PROFUNDIDAD							
% O.D. SUPERFICIE							
% O.D. PROFUNDIDAD							
CONDUCTIVIDAD SUPERFICIE							
CONDUCTIVIDAD PROFUNDIDAD							
PH SUPERFICIE							
PROFUNDIDAD							
HORA FINAL							
OBSERVACIONES:							

ANEXO D. FOTOGRAFÍAS PROCESO METODOLÓGICO



Figura 67. Toma de muestras mediante draga Eckman (Izq.) y posterior conservación (der). Fuente: Autor.



Figura 68. Separación y lavado de las muestras Fuente: Autor.



Figura 69.. Individuos listos para su identificación: Gastropodos y Bivalvos (izq) – Anélidos Oligoquetos (Der).
Fuente: Autor.



Figura 70. Identificación taxonómica. Fuente: Autor

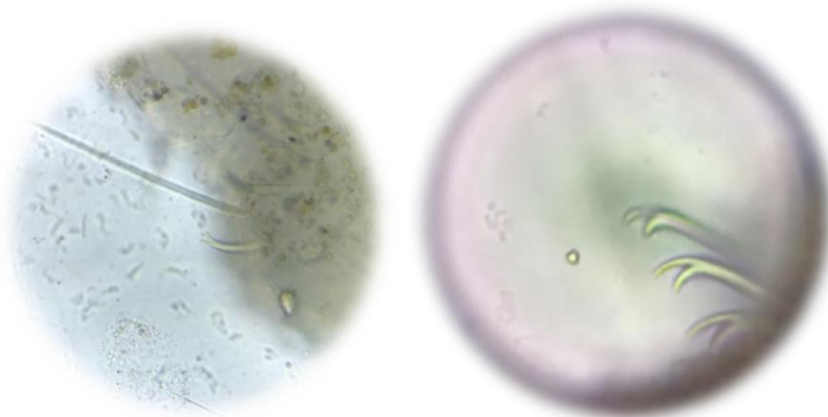


Figura 71. Identificación de géneros de oligoquetos por medio de quetas dorsales (izq) y ventrales (der).
Fuente: Autor.