



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA
(UNAN-Managua)

**Centro para la Investigacion en Recursos Acuaticos de Nicaragua
(CIRA/UNAN-MANAGUA)**



**Maestria Regional Centroamericana en Ciencias del Agua con enfasis en
calidad de agua**



Proyecto de graduacion V

TÍTULO

**CALIDAD DEL AGUA Y ESTADO TROFICO EN EL LAGO DE GÜIJA Y SUS RÍOS
AFLUENTES Y EFLUENTE PARA UN PROGRAMA DE MONITOREO, EN EL
DEPARTAMENTO DE SANTA ANA, EL SALVADOR**

Elaborado por: Inga.Agr. Elida del Carmen Madrid Orellana

Tutora: Mtra. Thelma Salvatierra Suarez

Asesores: PhD. Enrique Barraza

Mtra. Silvia Hernandez

Managua, septiembre de 2015

Contenido

I. INTRODUCCION.....	14
II. ÁREA DE ESTUDIO	16
III. ANTECEDENTES	17
IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
4.1 Caracterización del Problema:	19
4.2 Delimitación del Problema:	19
V. OBJETIVOS	20
5.1 Objetivo General.	20
5.2 Objetivos Específicos.....	20
VI. JUSTIFICACIÓN	21
VII. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	22
VIII.MARCO TEÓRICO	23
8.2.1 Los ríos.....	23
8.3.1 La calidad del agua.....	24
8.4 Parámetros medidos en campo en esta investigación	24
8.4.1 pH	24
8.5.2 Parámetros para determinar el estado trófico del lago y los ríos	26
8.6.1 Comunidades biológicas acuáticas:.....	27
8.6.1.1 Diatomeas.....	¡Error! Marcador no definido.
8.4.1 Macroinvertebrados acuáticos	31
8.4.3 Índice de calidad del agua en función de índice IBF.....	32

8.4.4	Macroinvertebrados en lagos y lagunas. . ¡Error! Marcador no definido.	
8.5	Estado trófico.....	33
8.6	Programa de monitoreo	34
IX.	DESEÑO METODOLOGICO.....	35
9.1	Tipo de estudio.	35
9.2	Universo y muestra de estudio.....	35
	El universo de esta investigación estuvo constituido por el lago de Güija y los ríos Ostúa, Angue, Cusmapa y Desagüe que fueron los objetos de estudio. Y la muestra de estudio los sitios analizados.....	35
9.3	Técnicas para la recolección de datos e información.....	38
9.3	Selección de los puntos de muestreo	35
9.4	Metodología de la recolección de las muestras.	38
9.4	Métodos utilizados para analizar las muestras en los laboratorios	45
9.5	Métodos de interpretación de los resultados	47
X.	PRESENTACION DE RESULTADOS	49
10.1	Calidad del agua en lago de Güija y sus ríos afluentes y efluente..... ¡Error! Marcador no definido.	
10.1.2	Indicadores físicos	49
10.1.2.1	pH	49
10.1.2.2	Conductividad	53
10.1.2.3	Temperatura	57
10.1.2.4	Oxígeno Disuelto	60
10.1.2.5	Turbidez y Color verdadero.....	63
10.1.2.6	Solidos totales, solidos fijos y solidos volátiles	66

10.1.2.7 Composición Hidroquímica del agua	69
10.1.2.7.1 Calidad físico-química.....	69
Aniones y Cationes	69
10.1.2.8 Tipo Hidroquímico del agua	70
10.1.2.9 Calidad del agua para riego.....	73
10.1.2.10 Boro	76
10.1.2.10 Indicadores químicos	79
10.1.2.10.1 Nitrógeno	79
10.1.2.10.2 Fósforo.....	86
10.1.2.10.3 Sodio, Magnesio, Calcio, Potasio y Cloruros	88
10.1.2.11. Indicadores Biológicos	97
10.1.2.11.1 Indicadores bacteriológicos.....	97
10.1.2.11.2 Fitobentos	108
10.1.2.11.2.1 Estructura comunitaria y riqueza de especies.....	108
10.1.2.11.2.1 Índice Trófico de Diatomeas	113
10.1.2.11.3 Fitoplancton	117
10.1.2.11.3.1 Estructura comunitaria	117
Abundancia numérica y biomasa	123
10.1.2.11.4 Zooplancton	125
10.1.2.11.4.1 Estructura comunitaria	125
10.1.2.11.4.2 Abundancia numérica	128
10.1.2.11.5 Macroinvertebrados acuáticos	131
Granulometría.....	144

Caudales en los ríos Ostúa, Angue y Cusmapa	146
10.2 Estado trófico de los ríos afluentes y del lago de Güija	147
10.3 Análisis de los metales encontrados en el río Desagüe.....	152
10.3.1 Resultados de mercurio total en agua	157
10.4 Programa de monitoreo hídrico sobre calidad y estado trófico en los ríos Angue, Ostúa, Cusmapa y el Desagüe.....	159
XI. CONCLUSIONES.....	164
XII. RECOMENDACIONES.....	165
XIII.BIBLIOGRAFIA.....	166
XIV. ANEXOS	171

INDICE DE MAPAS

Mapa 1. Localización de los puntos de muestreo en la zona de estudio	16
Mapa 2. Ubicación de los sitios de estudio en el lago de Güija y los ríos Angüe, Ostúa, Cusmápa y Desagüe	37
Mapa 3. Comportamiento del pH en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.....	52
Mapa 4. Distribución espacial de la conductividad en el lago de Güija y los ríos Angüe, Ostúa Cusmápa y desagüe en los meses de abril, mayo y junio 2013.....	55
Mapa 5. Distribución espacial de la temperatura en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.....	59
Mapa 6. Distribución espacial del OD en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013	63
Mapa 7. Distribución espacial de la turbidez y solidos totales en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.....	65
Mapa 8. Distribución espacial de las conductividades y los sólidos volátiles en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.....	¡Error! Marcador no definido.
Mapa 9. Distribución espacial del Boro en el mes de mayo 2014 en el lago de Güija	78
Mapa 10. Comportamiento espacial de las especies nitrogenadas en los meses de abril, septiembre y noviembre del 2013.....	84
Mapa 11. Distribución espacial del Fosforo en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.....	87
Mapa 12. Valores promedios del comportamiento del Ca, Mg, Na y Cl en el lago de Güija y los ríos Angüe, Ostúa, Cusmápa y desagüe en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.....	93
Mapa 13. Distribución espacial de la Demanda Química de Oxígeno en los meses de septiembre y noviembre 2013.....	96
Mapa 14. Distribución espacial del comportamiento microbiológico en el mes de abril 2013	99
Mapa 15. Distribución espacial del comportamiento microbiológico en el mes de abril 2013	101
Mapa 16. Distribución espacial del comportamiento microbiológico en el mes de septiembre 2013	¡Error! Marcador no definido.
Mapa 17. Distribución espacial del comportamiento microbiológico en el mes de noviembre 2013	103
Mapa 18. Calidad del agua en base al Índice Trófico de Diatomeas en los ríos Angüe y Ostúa, en abril 2013.....	114
Mapa 19 . Calidad del agua en base al Índice Trófico de Diatomeas en los ríos Angüe, Ostúa, Cusmápa y el lago de Güija en septiembre 2013.....	115
Mapa 20 . Calidad del agua en base al Índice Trófico de Diatomeas en los ríos Angüe, Ostúa, Cusmápa y el lago de Güija en noviembre 2013.....	116

Mapa 21. Distribución espacial del fitoplancton en el lago de Güija correspondiente al mes de abril 2013...	120
Mapa 22. Distribución espacial del fitoplancton en el lago de Güija correspondiente al mes de septiembre 2013.....	121
Mapa 23. Distribución espacial del fitoplancton en el lago de Güija correspondiente al mes de noviembre 2013	122
Mapa 24. Calidad del agua en el mes de abril en los ríos afluentes del lago de Güija.¡Error! Marcador no definido.	
Mapa 25. Calidad del agua en el mes de septiembre en los ríos afluentes del lago de Güija.¡Error! Marcador no definido.	
Mapa 26. Calidad del agua en el mes de septiembre en el lago de Güija y los ríos afluentes y efluente. ¡Error! Marcador no definido.	
Mapa 27. Resultado de los estados tróficos según Toledo en el mes de abril 2013.....	148
Mapa 28. Resultado de los estados tróficos según Toledo en el mes de septiembre 2013.....	149
Mapa 29. Resultado de los estados tróficos según Toledo en el mes de septiembre 2013.....	150

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Comportamiento del pH en mediciones de campo en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.....	50
Gráfico 2. Comportamiento histórico del pH en el lago de Güija.....	52
Gráfico 3. Comportamiento del pH en las épocas secas y lluviosas en los ríos Angüe, Ostúa, Cusmápa y desagüe en los años 1998, 2007 y 2013.....	53
Gráfico 4. Comportamiento de la conductividad en mediciones de campo en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.....	54
Gráfico 5. Comportamiento histórico de la conductividad en el lago de Güija.....	56
Gráfico 6. Comparación de las conductividades de los años 2007 y 2013.	57
Gráfico 7. Comportamiento de la temperatura en las mediciones de campo en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.....	58
Gráfico 8. Comportamiento de la Oxígeno Disuelto en las mediciones de campo en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.....	61
Gráfico 9. Comportamiento del Oxígeno Disuelto en el tiempo.....	62
Gráfico 10. Comportamiento de la turbidez y los sólidos volátiles en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.....	64
Gráfico 11. Comportamiento de la Conductividad y Solidos totales en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.....	¡Error! Marcador no definido.
Gráfico 12. Concentraciones de Boro correspondientes al mes de mayo 2014.....	77
Gráfico 13. Comportamiento del amonio, nitrato y nitrato en el mes de abril 2013.....	80
Gráfico 14. Comportamiento del amonio, nitrato y nitrato en el mes de septiembre 2013.....	81
Gráfico 15. Comportamiento del amonio y nitrato en el mes de noviembre 2013.....	82
Gráfico 16. Comportamiento histórico de los nitratos en el centro lago de Güija.....	83
Gráfico 17. Comportamiento del Fosforo total en los muestreos realizados en el 2013.....	86
Gráfico 18. Comportamiento del magnesio, sodio, potasio y cloruros en el mes de abril 2013.....	89
Gráfico 19. Comportamiento del magnesio, sodio, potasio y cloruros en el mes de septiembre 2013.....	89
Gráfico 20. Comportamiento del magnesio, sodio, potasio y cloruros en el mes de noviembre 2013.....	90
Gráfico 21. Comportamiento histórico del Sodio, Magnesio, Calcio y Cloruros en el centro del lago de Güija.....	91
Gráfico 22. Comportamiento de la demanda química del oxígeno en los meses de septiembre y noviembre del 2013.....	94

Gráfico 23. Comportamiento de las coliformes totales, coliformes fecales y la <i>E. coli</i> en el mes de abril 2013.	98
Gráfico 24. Comportamiento de las coliformes totales, coliformes fecales la <i>E. coli</i> en el mes de septiembre 2013.	100
Gráfico 25. Comportamiento de las coliformes totales, coliformes fecales la <i>E. coli</i> en el mes de septiembre 2013.	102
Gráfico 26. Comportamiento de las coliformes totales en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.	104
Gráfico 27. Comportamiento de las coliformes fecales en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.	104
Gráfico 28. Comportamiento de las <i>E. Coli</i> en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.	105
Gráfico 29. Comportamiento histórico de las coliformes totales y coliformes fecales en el centro del Lago de Güija.....	106
Gráfico 30. Comportamiento histórico de las coliformes fecales en los ríos Angüe, Ostúa, Cusmápa y desagüe	107
Gráfico 31. Total de taxa de diatomeas identificadas en los ríos Ostúa Angüe y Cusmápa así como en el lago de Güija.....	108
Gráfico 32. Diatomeas más representativas	Gráfico 33. Diatomeas más representativas..... 109
Gráfico 34. Diatomeas más representativas	Gráfico 35. Diatomeas más representativas..... 110
Gráfico 36. Diatomeas más representativas	Gráfico 37. Diatomeas más representativas..... 111
Gráfico 38. Diatomeas más representativas	Gráfico 39. Diatomeas más representativas..... 112
Gráfico 40. Diatomeas más representativas	Gráfico 41. Diatomeas más representativas..... 112
Gráfico 42. Composición del fitoplancton	Gráfico 43. Composición del fitoplancton..... 117
Gráfico 44. Composición del fitoplancton.....	118
Gráfico 45. Contribución de los diferentes grupos algales por sitio de muestreo en el lago de Güija en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.....	119
Gráfico 46. Abundancia numérica del fitoplancton en cada uno de los sitios muestreados en el lago de Güija en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.....	124
Gráfico 47. Distribución del zooplancton	Gráfico 48. Distribución del zooplancton..... 125
Gráfico 49. Distribución del zooplancton.....	126
Gráfico 50. Comportamiento del zooplancton por cada sitio de muestreos en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.....	127

Gráfico 51. Comportamiento de la densidad del zooplancton en el lago de Gūija en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.	129
Gráfico 52. Especies que presentaron mayor abundancia en las tres épocas de muestreo en el lago de Gūija en el 2013.	130
Gráfico 53. Distribución por órdenes y clases de los macroinvertebrados encontrados en el río Ostúa en el mes de abril de 2013.	¡Error! Marcador no definido.
Gráfico 54. Distribución por órdenes y clases de los macroinvertebrados encontrados en el río Angüe en el mes de abril de 2013.	¡Error! Marcador no definido.
Gráfico 55. Distribución por órdenes y clases de los macroinvertebrados encontrados en el río Cusmápa en el mes de septiembre de 2013.	¡Error! Marcador no definido.
Gráfico 56. Distribución por órdenes y clases de los macroinvertebrados encontrados en el río Angüe en el mes de septiembre de 2013.	¡Error! Marcador no definido.
Gráfico 57. Distribución por órdenes y clases de los macroinvertebrados encontrados en el río Cusmápa en el mes de noviembre de 2013.	¡Error! Marcador no definido.
Gráfico 58. Distribución por órdenes y clases de los macroinvertebrados encontrados en el río Angüe en el mes de septiembre de 2013.	¡Error! Marcador no definido.
Gráfico 59. Distribución por órdenes y clases de los macroinvertebrados encontrados en el lago de Gūija en mes de abril 2013.	¡Error! Marcador no definido.
Gráfico 60. Distribución por órdenes y clases de los macroinvertebrados encontrados en el lago de Gūija en mes de septiembre 2013.	¡Error! Marcador no definido.
Gráfico 61. Distribución por órdenes y clases de los macroinvertebrados encontrados en el lago de Gūija en mes de noviembre 2013.	¡Error! Marcador no definido.
Gráfico 62. Distribución por órdenes y clases de los macroinvertebrados encontrados en el lago de Gūija en mes de noviembre 2013.	¡Error! Marcador no definido.
Gráfico 63. Concentraciones encontradas de Aluminio, Arsénico, Cadmio y Manganeso en el río Desagüe en septiembre 2013.	153
Gráfico 64. Concentraciones de Mercurio, Cadmio, Cobre y Plomo a través del tiempo	154
Gráfico 65. Concentraciones de arsénico a través del tiempo.	155
Gráfico 66. Comportamiento del Aluminio, Arsénico y Cadmio en los años 2012 y 2013 en el río Desagüe.	156

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rango del Índice Trófico de Diatomeas y su respectiva calidad del agua (Dumnicka et al 2006, citado por Szczepocka 2009).....	47
Tabla 2. Sitios monitoreados en la zona del lago de Gūija para establecer la calidad del agua y el estado trófico	36
Tabla 3. Métodos utilizados en los análisis físicos del agua	45
Tabla 4. Métodos utilizados para la realización de los análisis químicos y metales pesados	45
Tabla 5. Clasificación del agua superficial del lago de Gūija y sus ríos afluentes y efluente para el mes de abril 2013	74
Tabla 6. Clasificación del agua superficial del lago de Gūija y sus ríos afluentes y efluente para el mes de Septiembre 2013.....	74
Tabla 7. Clasificación del agua superficial del lago de Gūija y sus ríos afluentes y efluente para el mes de Septiembre 2013.....	74
Tabla 8. Rango del Índice Trófico de Diatomeas y su respectiva calidad del agua (Dumnicka et al 2006, citado por Szczepocka 2009).....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 9. Resumen de los resultados obtenidos con la aplicación del índice trófico de diatomeas en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.	116
Tabla 10. Taxas comunes en los diferentes muestreos en el lago de Gūija en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.....	123
Tabla 11. Variables propuestas para el monitoreo de calidad del agua y estado trófico	161

Índice de figuras

Figura 1. Recolecta directa en ríos	Figura 2. Botella de muestreo Van Door	38
Figura 3. Muestra de agua para análisis de microbiología		39
Figura 4. Lavado de raíces de macrófitas	Figura 5. Lavado de piedras	40
Figura 6. Filtrado de las muestras de fitoplancton		41
Figura 7. Red Wisconsin de Zooplancton	Figura 8. Lavado de la red (agua destilada)	41
Figura 9. Colecta de MIA* con red "D"	Figura 10. Colecta de MIA con draga Ponart Petite	42
Figura 11. Medición del caudal a través del método de flotadores		43
Figura 12 Diagrama de Piper tipo Hidroquímica HCO ₃ -Ca del lago de Güija y sus ríos afluentes y efluente en el mes de abril 2013.		71
Figura 13 Diagrama de Piper tipo Hidroquímica HCO ₃ -Ca del lago de Güija y sus ríos afluentes y efluente en el mes de septiembre 2013.		72
Figura 14 Diagrama de Piper tipo Hidroquímica HCO ₃ -Ca del lago de Güija y sus ríos afluentes y efluente en el mes de noviembre 2013.		72
Figura 15 Diagrama de clasificación de las aguas para riego. Normas de Riverside para evaluar la calidad del agua de riego (U.S Soil Salinity Laboratory), 1973.		76
Figura 16. Índice biológico a nivel de familias IBF (Hilsenhoff, 1998)		¡Error! Marcador no definido.

Anexos

Cuadro 1 Resultados físicos del lago de Güija y sus ríos afluentes y efluente en el mes de abril 2013.....	171
Cuadro 2 Resultados físicos del lago de Güija y sus ríos afluentes y efluente en el mes de Septiembre 2013	172
Cuadro 3 Resultados físicos del lago de Güija y sus ríos afluentes y efluente en el mes de Noviembre 2013	173

I. INTRODUCCION

En El Salvador la calidad de las aguas superficiales está siendo degradada por la contaminación de origen antropogénico. Al ser un país pequeño y con la densidad de población más alta de Centro América la presión sobre los recursos hídricos es más fuerte cada año. El agua para el abastecimiento de la población en su mayoría es subterránea pero también parte de las aguas superficiales son potabilizadas por la Asociación Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA).

Dada la necesidad de tener datos actuales sobre las condiciones de calidad del agua y estado trófico de los ríos afluentes (Angue, Ostúa y Cusmapa), el lago de Güija y el efluente, se decide realizar la presente investigación con el propósito de generar la información necesaria para conocer las condiciones actuales.

Bajo esta problemática el lago de Güija está siendo amenazado por factores como la agricultura, ganadería, y últimamente por la minería en el territorio de Guatemala. Es por esto que se realizaron análisis de metales pesados en el río el Desagüe así como Mercurio y Boro en la desembocadura del río Ostúa, centro del lago y el río Desagüe, el cual a pocos kilómetros se une al río Lempa, este es la principal vertiente superficial de El Salvador. El agua del río Lempa está siendo potabilizada para abastecer a la ciudad capital San Salvador.

Dada la presión que los recursos hídricos están siendo sometidos es de suma importancia conocer el estado trófico del lago y de los ríos que drenan a este cuerpo de agua, así también la calidad de sus aguas de una forma integral.

El lago de Güija se encuentra ubicado en los departamentos de Metapán (El Salvador) y el departamento de Asunción Mita (Guatemala). Este lago tiene una extensión de 42 kilómetros cuadrados y una profundidad máxima de 25 metros en el centro. Aun no se conoce el volumen del lago, pero si es de mucha importancia conocer su calidad y condición trófica ya que se encuentra ubicado en la parte alta de la cuenca del río Lempa y el desagüe de este lago se une a dicho río.

Además del lago de Güija también se estudiaron los principales ríos afluentes que son Ostúa, Cusmapa, Angue así como el efluente llamado río Desagüe.

Las aguas del río Lempa son potabilizadas a unos 45km después de la unión del desagüe del lago de Güija. En el pasado ya se han reportado problemas con algas en la bocatoma de la planta potabilizadora por esto se realizaron análisis del fitoplancton para conocer la estructura de las comunidades.

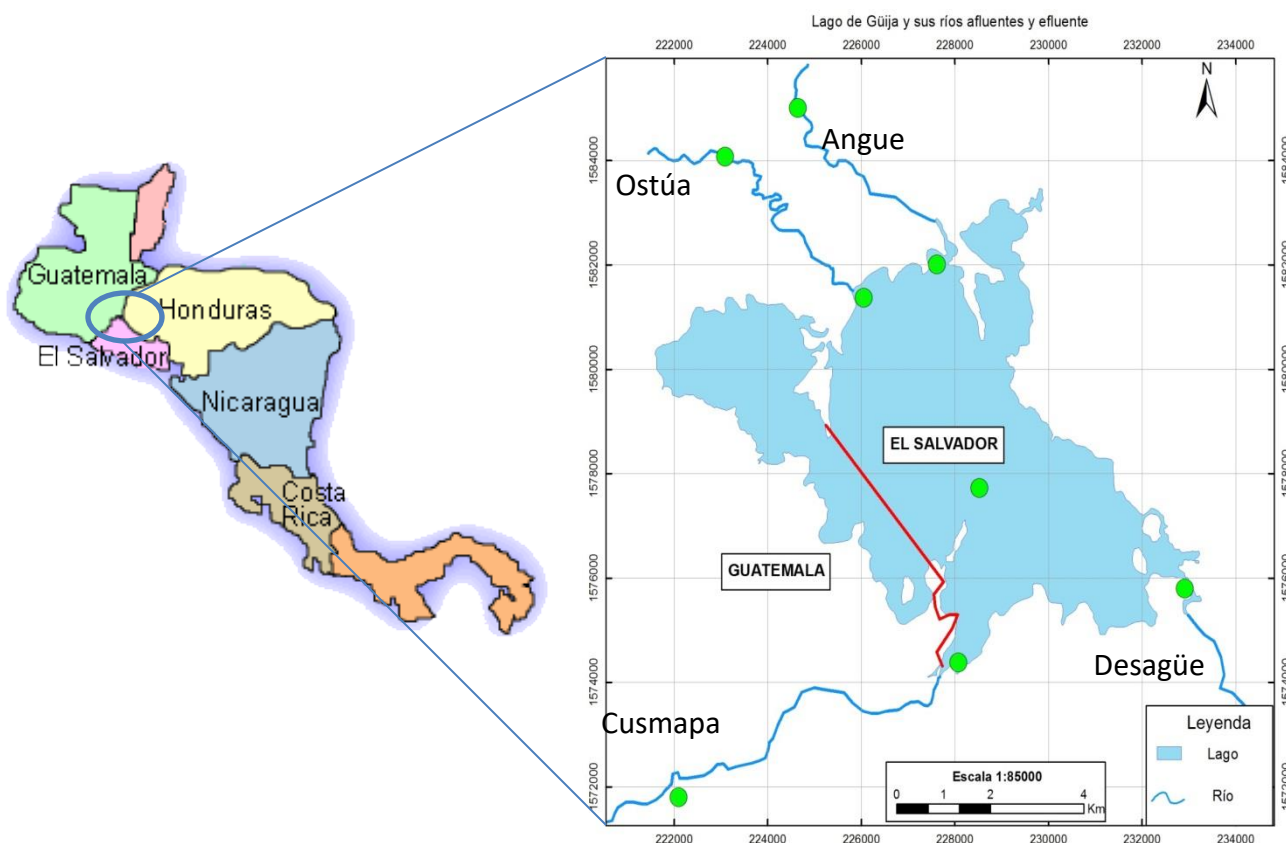
Es trascendental conocer la calidad de las aguas desde diferentes puntos de vista lo cual permite tener una visión integral. Las comunidades biológicas son excelentes indicadores de la calidad del agua, ya que estas permanecen en el cuerpo de agua por un tiempo considerable, en el cual se adaptan al medio y nos muestran si han habido cambios en el medio, estas comunidades analizadas para esta investigación son las diatomeas, las algas, el zooplancton y los macroinvertebrados.

El estado trófico que determina los niveles de nutrientes en los cuerpos de agua se estimó con el fosforo total, ortofosfato, clorofila a y transparencia. Además se realizaron otros análisis como fisicoquímico completo para las aguas naturales, metales pesados y granulometría.

Para la realización de esta investigación se coordinó con diferentes entidades públicas y privadas, las cuales formaron parte esencial en el desarrollo de la presente investigación. Las entidades participantes fueron: Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL), Unidad Ambiental de la Alcaldía de Metapán, Universidad de El Salvador, Asociación GAIA El Salvador, Centro para la Protección de Desastres (CEPRODE), Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua).

II. ÁREA DE ESTUDIO

El lago de Güija está ubicado en los municipios de Metapán y San Antonio Pajonal, del departamento de Santa Ana (El Salvador) y el municipio de Asunción Mita, departamento de Jutiapa (Guatemala), entre las coordenadas geográficas $14^{\circ} 16' 50.80''$ N, $89^{\circ} 34' 54.95''$ W en el extremo norte, y $14^{\circ} 14' 7.93''$ N, $89^{\circ} 28' 51.11''$ W en su extremo sur. Su altura es de 420 metros sobre el nivel del mar. Posee un espejo de agua de 42 km^2 , con un perímetro de 56 km y una profundidad máxima de 25 m. El lago cuenta con tres afluentes principales (ríos Angue, Ostúa, y Cusmapa) y un efluente (río el Desagüe). En el siguiente mapa se presenta la ubicación del lago de Güija en El Salvador en la zona fronteriza de Guatemala y El Salvador.



Mapa 1. Localización de los puntos de muestreo en la zona de estudio

Alrededor del lago de Güija se encuentran 11 comunidades pesqueras: el Guayabo, el Platanar, Canteada, los Cerritos, San Juan, la Barra, las Conchas, Azacualpa, el Desagüe, el Estero y las Cuevitas, las cuales albergan a un total de 315 pescadores artesanales datos que pueden variar por razones de migración interna o externa, quienes reportan una producción pesquera anual de 474,910 kg. (PREPAC, 2006).

III. ANTECEDENTES

La calidad del agua del lago de Güija fue monitoreada por primera vez en 1973 por biólogos del Servicio de Recursos Pesqueros del Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador, y la primera evaluación pesquera se realizó en 1924 por Samuel Hildebrand y Fred Foster de la United States Bureau of Fisheries. Las principales variables de importancia ecológica medidas en ese estudio en superficie fueron temperatura y oxígeno los cuales mostraron rangos de 29-31°C y de 26.3-28 en el fondo a 25 m, a su vez el oxígeno disuelto se comportó entre 6-7.5 mg.l⁻¹ en la superficie y 0.3-4.8 mg.l⁻¹ a una profundidad de 15m.

En 1999, HARZA Engineering Company International, elaboró para CEL un estudio que incluyó el análisis de la concentración en tejidos de peces con Cadmio, Plomo, Mercurio, Arsénico, Cromo y Coliformes totales. En base al estudio antes mencionado se determinó realizar un fortalecimiento al programa de monitoreo de bioacumulación en los tejidos de los peces en el periodo 2003-2008 (CEL, 2009).

Los principales resultados de este estudio fueron: la determinación de niveles de mercurio en tejido de peces que oscilaron entre <0,001-0,87 μg.kg⁻¹ de mercurio en 27 peces pertenecientes a las especies *Parachromis managuensis* (Guapote tigre), *Parachromis dovii* (Guapote Dovie) *Amphilophus macracanthus* (Mojarra) y *Oreochromis* sp (Tilapia). Además determinaron que el nivel de coliformes fecales en tejido de músculo de peces presentó un nivel máximo de 1110 NMP.

Ese mismo estudio realizado por CEL en el agua del lago de Güija y de los embalses, las concentraciones de dichos metales fueron trazas no significativas para la vida acuática, y la bioacumulación en los seres humanos.

En García, 2008 se reporta para este lago la profundidad y batimetría, variables físico-químicas y biológicas como temperatura, oxígeno disuelto, pH, demanda bioquímica de oxígeno disuelto, dureza, alcalinidad, fosfato, fósforo total, nitrógeno total, clorofila-a y plancton. Variables de contaminación ambiental como metales pesados coliformes totales y coliformes fecales, organofosforados, organoclorados y transparencia del disco de secchi.

Con el estudio antes mencionado se determinó que los rangos de las variables físico-químicas de calidad de agua temperatura, oxígeno disuelto y concentración de iones hidrogeno se encuentran dentro de los rangos aceptables para la vida íctica, en cambio la Demanda Bioquímica de oxígeno DBO, el grupo coliformes totales y fecales se encuentra por encima de los LMP recomendados por COGUANORM Norma No. NGO 29-001, por lo que el agua del lago no es recomendable para consumo humano sin previo tratamiento. La concentración de metales pesados en agua, en músculo de pescado, las concentraciones de pesticidas organoclorados y organofosforados se encuentra a niveles inferiores al límite máximo permisible (García 2008).

Según el estudio (Caracterización del lago de Güija con énfasis en pesca y acuicultura) realizado en el 2006 por la PREPAC la mayoría de los parámetros físicos, biológicos y ambientales muestreados indica que en el lago no existen altos niveles de contaminación apreciable. Los valores registrados en la mayoría de los casos son bajos y en algunos casos como el de los metales pesados el 90% de las muestras no se detectaron. La presencia de coliformes totales, coliformes fecales y E colí no mantuvo resultados fuera de los límites máximos permisibles recomendados por la norma COGUANORM No. NGO 29-001 únicamente durante el primer mes de monitoreo (octubre 2005) excedieron estos límites.

IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

4.1 Caracterización del Problema:

En El Salvador el agua superficial se encuentra con índices significativos de contaminación por metales pesados, agroquímicos y compuestos nitrogenados, lo cual influye directamente en la alteración de la calidad del agua subterránea, por ello es de suma importancia conocer a detalle el estado trófico de los cuerpos de agua superficial.

El lago de Güija posee tres ríos principales afluentes: río Angue, río Cusmapa y río Ostúa y un río efluente El Desagüe. De los ríos mencionados anteriormente hay registros de análisis de calidad de las aguas en cuanto parámetros bacteriológicos, fisicoquímicos y metales pesados (sedimentos y agua) por parte del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales dos veces por año y CEICOM (Centro de Investigación sobre Inversión y Comercio) quien ha realizado muestreos puntuales sobre la calidad de agua biológica y fisicoquímica de forma esporádica. En cuanto al lago de Güija se realiza un monitoreo de las variables fisicoquímicas y metales pesados (en sedimento y agua) por parte del Ministerio de Recursos Naturales del Medio Ambiente (MARN) de El Salvador de forma permanente.

4.2 Delimitación del Problema:

Se evaluó la calidad del agua del lago de Güija y los ríos (Angue, Ostúa, Cusmapa y El Desagüe) a través de fitoplancton, fitobentos, zooplancton, macroinvertebrados acuáticos, metales y variables fisicoquímicas condicionantes de los procesos de eutrofización. El área estudiada es amenazada constantemente por la contaminación ambiental de diferentes fuentes agrícolas y domésticas presentes en la zona de recarga de los ríos y el lago. Con la presente investigación se determinarán los niveles de contaminación de una forma integral.

V. OBJETIVOS

5.1 Objetivo General.

Evaluar la calidad del agua y el estado trófico en el lago de Gūija y sus ríos afluentes y efluente para un programa de monitoreo.

5.2 Objetivos Específicos.

- 5.2.1. Determinar la calidad del agua del lago de Gūija y sus ríos afluentes y efluente.
- 5.2.2 Establecer el estado trófico del lago de Gūija y sus ríos afluentes y efluentes.
- 5.2.3 Cuantificar los metales pesados más importantes presentes en el río efluente (Desagüe) en la matriz agua.
- 5.2.4 Proponer un programa de monitoreo hídrico sobre calidad y estado trófico en el lago de Gūija y los ríos afluentes y efluente.

VI. JUSTIFICACIÓN

El lago de Güija es un “Sitio Ramsar” (Numero internacional 1924) en territorio salvadoreño, este lago es compartido con la República de Guatemala, y está siendo afectado con la contaminación antropogénica. Con la presente investigación se pretende evaluar la calidad del agua del lago, sus ríos afluentes y efluentes así como estado trófico, para la obtención de la línea base ambiental.

El lago de Güija también es parte de la zona triffinio la cual ha sido declarada como reserva de Biosfera Triffinio-fraternidad, por lo tanto es un sitio de importancia nacional e internacional. Esta zona hídrica es de suma importancia para El Salvador ya que pertenece a la parte alta de la cuenca del río Lempa, que es el principal proveedor de recursos hídricos para el país, además el desagüe del lago se une al río Lempa, de donde se está potabilizando el agua por parte de ANDA a unos 48km de la unión con el río Desagüe.

En la actualidad no se cuenta con un estudio de eutrofización y calidad del agua por parte de El Salvador con datos actuales y de una forma integral, es por eso que en coordinación con el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador se estableció el tema de la presente investigación.

La zona hidrogeológica donde se encuentran localizados los sitios de estudio, la mayor parte es un acuífero volcánico fisurado de gran extensión, y posiblemente de alta producción constituido por rocas volcánicas y otra parte del territorio es un acuífero local de extensión limitada y productividad mediana a baja constituida por sedimentos aluviales según el mapa hidrogeológico de El Salvador. Por ende al presentarse una contaminación elevada en los cuerpos superficiales es posible que se dé una contaminación cruzada con el agua subterránea con la cual se abastece la población local a través de pozos perforados.

En el lago existen varias comunidades que dependen de la pesca y si la calidad del agua se encuentra degradada así será la calidad del pescado que se comercializa y se consume en la zona.

VII. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

La calidad del agua y el estado trófico del lago de Güija difiere de la calidad del agua de los ríos afluentes y efluente.

VIII. MARCO TEÓRICO

8.1 Lago

Definición de lago: se caracterizan por ser normalmente de agua dulce, presentar un vaso (reservorio) bien definido con zonas litoral y bental profunda y bien diferenciadas, sedimento propio poblado por especies características, compartimentalización vertical con gradientes de luz, densidad y temperatura sujetos a variación estacional, que repercuten en los procesos biológicos y en la calidad del agua (Roldán, 2008).

Sierra menciona que los lagos son sistemas acuáticos donde la velocidad promedio del agua es relativamente baja 0,01 y 0,001m/s (valores en la superficie). Este hecho hace que el agua permanezca en el sistema desde unos pocos días hasta largos años. Con respecto a la calidad del agua, esta se comporta o está gobernada de acuerdo con el estado trófico y con los periodos de estratificación (Sierra 2001).

8.2.1 Los ríos

Estos cuerpos de agua, comúnmente denominados corrientes, se caracterizan porque fluyen unidireccionalmente con velocidades promedios relativamente altas que varían entre los 0,1 y 1 m/s. El flujo de los ríos es altamente variable y depende de las condiciones climáticas y de las características del área de drenaje. En general los ríos, son cuerpos de agua los cuales pueden considerarse permanentemente mezclados, y en la mayoría de ellos, la calidad del agua es importante en el sentido de flujo (Sierra 2001). Según Roldan,2012 los ríos son ecosistemas acuáticos de aguas corrientes o lóxicas, asociados comúnmente a lugares de erosión, transporte y sedimentación de materiales.

Ríos tributarios o afluentes: son aquellos ríos que entran o aportan agua al sistema ya sea durante todo del año o solo en la época lluviosa, para este caso se

estudiaron los tres tributarios más importantes del lago de Güija son: El río Angue, río Ostúa y río Cusmapa.

Ríos efluentes: corresponden a un curso de agua, también llamado distributivo, que desde un lugar llamado confluencia se desprende de un lago o un río como una desviación menor ya sea natural o artificial (Wikipedia, 2014).

8.3.1 La calidad del agua

La calidad del agua se refiere a la aptitud del agua para los usos beneficiosos a que se ha venido dedicando en el pasado, esto es, para consumo humano, animales domésticos y vida silvestre en general, para el soporte de una vida sana, para el riego de cultivos y la recreación. Desde el punto de vista ecológico, la calidad del agua tiene una connotación un poco diferente a la requerida para usos domésticos, agrícolas o industriales. En un ecosistema acuático natural la calidad del agua puede ser muy diversa; ciertos ecosistemas a pesar de concentraciones elevadas de sales, durezas y alcalinidades, y valores de pH muy ácidos o básicos, pueden tener comunidades estables y adaptadas a vivir en dichos nichos. En estos casos, la calidad del agua depende fundamentalmente de los aportes naturales dados por las lluvias y por la naturaleza geoquímica del terreno (Roldán, 2008).

8.4 Variables físico-químicas

8.3.1 pH

El pH es el logaritmo negativo de las concentraciones de H^+ . Es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución y es un factor abiótico importante. Un cambio en la unidad de pH corresponde a un cambio de 10 veces la actividad de los iones de hidrogeno. Los lagos muestran variaciones en el pH debido a diferencias en la geología y la hidrología de la cuenca (Brönmark&Hansson, 2005).

8.3.2 Oxígeno disuelto:

El oxígeno disuelto en el agua brinda información sobre las reacciones bioquímicas que tienen lugar en el medio, es un indicador de la carga orgánica al sistema, siendo utilizado en las determinaciones de producción primaria. Su concentración depende de parámetros físicos (presión, temperatura y concentración salina) y de factores biológicos (producción primaria y consumo oxidativo). Las aguas superficiales no contaminadas contienen entre 7 y 14 mg.l⁻¹ de oxígeno disuelto, aunque en situaciones de elevada productividad primaria o turbulencia pueden registrarse valores de sobresaturación. Altas cargas de materia orgánica resultan en valores bajos de oxígeno o en anoxia (ausencia de oxígeno). En su determinación se utilizan sensores selectivos o métodos químicos (Arocena & Conde, 1999).

La solubilidad del oxígeno disuelto en el agua está influenciada por la salinidad, la presión barométrica (altitud) y la temperatura y adicionalmente de otros factores como: reoxigenación atmosférica, fotosíntesis, respiración vegetal y animal y demanda béntica y bioquímica de oxígeno en el agua (Ramírez y Viña, 1998) citado por Caballero, 2007.

8.3.3 Temperatura: es el grado de energía térmica medida en una escala definida. La temperatura tiene una influencia significativa dentro de los procesos físicos, químicos y biológicos de un lago. Por lo que es de gran utilidad caracterizar los lagos de acuerdo a sus condiciones térmicas. Lo anterior permite una interpretación más precisa en el comportamiento de un lago (González et al, 1993).

8.3.4 Conductividad

Es la capacidad de un determinado elemento para conducir la corriente eléctrica. El agua pura es muy mal conductor de la corriente eléctrica. A medida que se disuelven en ella sólidos solubles en agua algunos elementos disueltos pueden alterar la conductividad de la misma. La cantidad de sustancias disueltas en el

agua afecta de forma directa la vida en su interior. Tanto plantas como animales deben ajustar continuamente sus procesos fisiológicos para compensar el equilibrio osmótico, entre sus cuerpos y el medio que les rodea. Muchas especies fijan su ritmo de vida en función de la conductividad del agua regida principalmente por ciclos de lluvia y sequía (Groel, 2006).

En los trópicos, los valores de conductividad están más relacionados con las concentraciones geoquímicas del terreno y su concentración varía principalmente con las épocas de lluvia y de sequía, y con su estado trófico (Roldán, 2008).

8.4 Variables para determinar el estado trófico del lago y los ríos

8.4.1 Fósforo total.

El fósforo total en los lagos está fraccionado por: fósforo soluble inorgánico, fósforo soluble orgánico, fósforo sestónico, fósforo orgánico total y fósforo total (Wetzel, 1981). Se usa el fósforo total como la variable indicadora del estado trófico (Salas, 2001). Wollenweir (1968) ha propuesto una clasificación con base en la concentración de fósforo total en el agua. Esta clasificación incluye desde lagos ultraoligotróficos con menos de $5\mu\text{g.l}^{-1}$ hasta politrófico con valores mayores que $100\mu\text{g.l}^{-1}$. Aunque estos valores fueron calculados para zonas templadas, pueden aplicarse también en buena parte a los lagos tropicales (Roldán, 2008).

8.4.2 Ortofosfato o fosfato disuelto.

El fosfato disuelto es la principal fuente de fósforo para las plantas acuáticas especialmente para el fitoplancton (Galizia, 2008). La única forma significativa del fósforo inorgánico es el fosfato o ortofosfato. La diferencia entre fósforo total y ortofosfato es que el primero incluye el fósforo orgánico e inorgánico y el segundo hace referencia al fósforo disponible para el metabolismo biológico por lo que es más importante (Sierra 2011).

8.4.2 Nitrógeno Total.

El Nitrógeno así como fósforo son esenciales para el crecimiento de protistas, algas y plantas, razón por la cual reciben el nombre de nutrientes o bioestimuladores. Debido a que el N es absolutamente básico para la síntesis de proteínas, será preciso conocer datos sobre la presencia del mismo en las aguas, y en qué cantidades, para valorar la posibilidad de tratamiento de las aguas residuales domésticas mediante los procesos biológicos. El N total incluye nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato (Sierra, 2001).

8.4.4 Clorofila a.

La clorofila es una medida de los pigmentos verdes y de la biomasa del fitoplancton (Tapia & Naranjo, 2011). La concentración de clorofila-a se utiliza para estimar en forma indirecta la biomasa de las comunidades fitoplanctónicas, debido a que es el principal pigmento fotosintético presente en las algas (Gregor y Marsálek, 2004). La clorofila-a también es un indicador del grado de contaminación de los ecosistemas acuáticos y un importante índice del estado fisiológico del fitoplancton (Pinto *et al.*, 2001).

8.4.5 Transparencia o visibilidad.

Se entiende por visibilidad la interferencia que producen los materiales suspendidos en el agua al paso de la luz. Se mide con el disco Secchi y se reporta en unidades de longitud. Este parámetro realmente representa la profundidad de la zona fótica, es decir, la zona hasta donde penetra la luz en el agua y puede realizar la fotosíntesis (Sierra, 2001).

8.5 Fitoplancton

Fitoplancton

El término fitoplancton según su origen griego significa plantas errantes. Es una comunidad de organismos microscópicos fotosintetizadores que viven suspendidos en la zona fótica de la columna de agua, algunas especies son heterotróficas por cortos periodos. El fitoplancton juega un papel muy importante como base de las redes tróficas y como indicadores de la calidad del agua (Oliva et al, 2014).

Entre el fitoplancton del reino Procariota se encuentra la división Cianoprocariota o Cyanophytas las cuales son comúnmente conocidas como algas verdes azules. Esta división puede considerarse como poseedoras de un amplio rango de tolerancia a muchos factores, lo que les permite adaptarse a condiciones difíciles. Algunos representantes producen toxinas que causan síntomas de intoxicación en el ganado, diarreas en humanos y muerte de otras algas, invertebrados planctónicos, peces y aves (Roldan, 2009).

Los grupos fitoplanctónicos principales presentes en el agua dulce comprenden dos reinos el *procariota* y el *eucariota*. En el primero de ellos figura la división Cianoprocariota; en el segundo se incluyen las siguientes divisiones: Chlorophyta, Chrysophyta, Euglenophyta, Pyrrophyta y Cryptophyta.

Reino procariota. División Cianoprocariota: conocida también como Cyanophyta y/o Cianobacteria, su nombre común es algas verdes azules o azul verdoso. Entre sus pigmentos figuran la clorofila *a*, carotenoides y ficobiliproteínas. Pueden considerarse como poseedoras de un amplio rango de tolerancia a varios factores lo que les permite adaptarse a condiciones difíciles. Se presentan en esta división formas unicelulares y pluricelulares, predominando en estas últimas las formas filamentosas.

Reino eucariota. División Chlorophyta. Se denominan algas verdes. Poseen principalmente clorofilas *a* y *b* que enmascaran los carotenos y xantofilas y almacenan almidón en paranoioides. Es el grupo más diverso en las aguas dulces y

con abundante número de representantes. La división constituye un grupo muy amplio y variado de algas unicelulares, de vida colonial y filamentosa.

División Chrysophyta. Se denominan también algas pardoamarillentas. Contienen clorofilas *a* y *c*, caroteno α y β y algunas xantofilas. Las Chrysophyta se dividen en tres clases las cuales son Chrysophytacea, las Bacillariophyceae y las Xanthophytaceae. Esta división posee una gran variedad de formas flageladas que pueden ser solitarias o vivir en colonias y muy rara vez son filamentosas. Las Chrysophytaceae viven en su mayor parte en aguas oligotróficas.

División Euglenophyta. Son organismos flagelados, desnudos y grandes. Poseen clorofilas *a* y *b* y β -carotenos y xantofilas. Predominan generalmente en agua dulce. Son abundantes en charcas y lagunas temporales con alta concentración de materia orgánica. Son poco importantes en los lagos con excepción de *Trachelomonas* y *Euglena*.

División Pyrrophyta. Esta división es muy importante en la clase de las Dinophyceae, la cual se encuentra ampliamente distribuida en aguas dulces. En general son unicelulares y autotróficas. Los pigmentos fotosintéticos son clorofilas *a* y *c* y carotenos.

División Cryptophyta. Son organismos unicelulares con un par de flagelos desiguales. La célula presenta cloroplastos de colores variados. No crean colonias y tienen una forma comprimida dorsoventralmente.

División Bacillariophyta. Comúnmente conocidas como diatomeas son parte del fitoplancton, bentos y perifitón y han sido utilizadas exitosamente como buenas indicadores de calidad de agua y para monitorear cambios ambientales así como la integridad ecológica de los sistemas lóticos. Las comunidades de diatomeas se ven afectadas por actividades agrícolas las cuales incrementan el ingreso de nutrientes a los cuerpos de agua y alteran el medio ambiente y las condiciones en los ríos y lagos afectando así los componentes bióticos de estos (Ndirítú, 2006).

Cuando se produce una alteración en el medio acuático se origina un cambio en la dominancia de las especies de las diatomeas, que condiciona la presencia o ausencia de una de ellas. Este cambio de especies ocurre cuando un cuerpo de agua recibe descargas de aguas residuales procedentes de vertidos urbanos, agrícolas e industriales. El impacto de esta contaminación altera la composición de las especies provocando un descenso en la diversidad de las especies (Hernández, 1999).

Índice Trófico de Diatomea (TDI por sus siglas en inglés) que permite estimar el estado de eutrofización de los ríos. Este índice es útil para valorar el grado de eutrofización de un cuerpo de agua provocado principalmente por las múltiples actividades (industrial, ganadera, agrícolas intensivas) que desarrolla la población dentro de la subcuenca, así como la explotación demográfica, que incrementa la demanda del suministro de agua. Otro factor no menos importante, es la variación en la hidrología de los sistemas lóticos (alteración del caudal), la cual modifica y desencadena la sucesión de las comunidades de diatomeas (Hernández, 2013).

8.5.2 Zooplancton

El zooplancton ocupa una posición clave en el flujo de energía a los niveles superiores del ecosistema acuático. Al actuar como principal consumidor del fitoplancton se constituye en el eslabón fundamental entre los productores primarios y los consumidores primarios de segundo y tercer orden ya que gran parte de los peces se alimentan exclusiva o fundamentalmente de él. El zooplancton como comunidad biológica reacciona ante los cambios del medio acuático. De tal manera, que cualquier situación persistente de tensión ambiental obliga a la comunidad zooplanctónica a sufrir cambios en su composición taxonómica que le permita continuar con su papel ecológico. Estas transformaciones se dan generalmente con la aparición o exclusión de las especies a las nuevas condiciones de la calidad del medio acuático (González et al 1993).

Los principales grupos de comunidades de zooplancton dulceacuícola son: Protozoarios, Rotíferos, Cladóceros, Copépodos (permanente) y Ostrácoda, larvas de insectos y peces (González et al 1993).

La riqueza del zooplancton, al igual que su densidad en los ecosistemas naturales es menor en comparación con el fitoplancton. Según Margalef (1983), la baja diversidad de animales en aguas continentales se debe, quizá, a lo efímero de los ecosistemas (Roldan, 2008).

La composición específica del zooplancton puede ser un excelente criterio para caracterizar el estado trófico de los sistemas acuáticos y para deducir la estructura de las comunidades acuáticas. Las diferencias en el estado trófico se manifiestan claramente en la estructura de la comunidad zooplanctónica y en las relaciones zooplancton-fitoplancton. (Conde et al 2004).

Los rotíferos juegan un papel fundamental en las cadenas tróficas pelágicas. Son un eslabón entre el fitoplancton y los consumidores secundarios, pero su importancia se acrecienta porque pueden transferir materia y energía desde bacterias y partículas detríticas de pequeño tamaño, que son recursos no utilizables por otros organismos planctónicos. Unas pocas especies pueden ser depredadoras de otras especies de rotíferos. (Conde et al 2004).

Se ha evidenciado que la importancia relativa del macro-zooplancton como depredador del fitoplancton es mayor en sistemas de estado trófico intermedio. En sistemas oligotróficos y eutróficos, la estructura de tamaños de la comunidad zooplanctónica no afecta a la biomasa de fitoplancton total ni a la biomasa de fitoplancton comestible por el zooplancton (Elser et al 1990; Morales et al 1994).

8.5.3 Macroinvertebrados acuáticos

Definimos los macroinvertebrados acuáticos como aquellos organismos que son observados a simple vista o bien que son retenidos por una red de malla de aproximadamente 0,5mm. Este grupo tiene representantes en muchos filos de

animales, entre ellos: Arthropoda, Mollusca, Anélida, Platyhelminthes, Nematoda y Nematomorpha. (Hanson *et al.*, 2008).

Las comunidades acuáticas actúan como testigos del nivel de deterioro ambiental de las corrientes superficiales. Específicamente, los macroinvertebrados fueron propuestos desde hace varias décadas como indicadores de la calidad del agua. Estos organismos responden a las condiciones ambientales del ecosistema ya que la mayoría de ellos se desarrollan total o parcialmente en el agua, su presencia y abundancia son el resultado de las relaciones con las variables físicas y químicas del agua.

El uso de los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua se basa en que dichos organismos ocupan un hábitat a cuyas exigencias ambientales están adaptados. Cualquier cambio en las condiciones ambientales se reflejará, por tanto, en las estructuras de las comunidades que allí habitan. Se considera que un organismo es un buen indicador de la calidad del agua cuando se encuentra invariablemente en un ecosistema de características definidas y cuando su población es en porcentaje superior o ligeramente similar al resto de los organismos con los que comparte el mismo hábitat (Roldán, 2008).

A diferencia de los análisis físico-químicos, los cuales representan la condición del agua en el momento del muestreo, los indicadores biológicos muestran tendencias a través del tiempo, es decir, se pueden comparar condiciones pasadas y presentes. De igual manera, mediante el uso de indicadores biológicos es posible detectar eventos puntuales de toxicidad, los cuales a menudo no son detectados por las mediciones físico-químicas estándares (Springer, 2010)

8.6 Índice de calidad del agua en función de Índice Biológico de Familias IBF

El Índice Biológico a nivel de Familias de invertebrados acuáticos adaptado para El Salvador (Sermeño *et al.*, 2010), tiene como base el método de cálculo, asignación de puntajes y escala de medición, propuestos por Hilsenhoff (1987).

Esencialmente, consiste en el promedio de los puntajes de los grupos taxonómicos encontrados en cada punto o sitio de muestreo, ponderado por su abundancia relativa. De esta manera, el índice presenta dos componentes principales: a) El puntaje asignado a cada grupo de invertebrado acuático; b) La abundancia relativa de los grupos de invertebrados acuáticos encontrados.

En El Salvador la experiencia de evaluación de la calidad de aguas con macroinvertebrados en lagos ha sido poca, el índice adaptado IBF-SV-2010 es válido solamente para ríos, pero otros países como Colombia y Brasil ya se han realizado estudios de este índole aplicando el índice de Diversidad (Shannon&Weaver 1949), de Dominancia (Simpson 1949) y de Equidad (Pielou 1975)(Jaramillo, 2005).

8.7 Estado trófico.

La eutrofización de lagos y embalses es un enriquecimiento con nutrientes para plantas, principalmente fósforo y nitrógeno que entra como soluto y se transforma en partículas orgánicas e inorgánicas. Las alteraciones de las cuencas provocan aumento en las descargas sobre los lagos y los ríos. Las condiciones ambientales dentro de los cuerpos hídricos, la atmosfera y las cuencas hidrográficas influyen la eutrofización (Galizia, 2001).

El Índice de Estado Trófico Modificado (IET_M) (Toledo *et al*, 1985) es mucho más apropiado para determinar el estado trófico de lagos y embalses tropicales que el IET de Carlson, ya que este último fue desarrollado para evaluar lagos y embalses de zonas templadas (Santos y Florencio, 2001). Los ecosistemas acuáticos de zonas tropicales, poseen un alto grado de productividad debido a una alta tasa de asimilación de nutrientes, teniendo una capacidad para metabolizar las cantidades de nutrientes mucho mayor a la que poseen los ecosistemas en zona templadas. Dicha capacidad para metabolizar los nutrientes permite que los límites establecidos para cada estado trófico (oligotrófico, mesotrófico y eutrófico)

sean más altos en relación con los cuerpos de agua en épocas de frío. (Rocha, 2006).

8.8 Programa de monitoreo

El monitoreo de la calidad de agua consiste en mediciones de largo plazo y estandarizadas del ambiente acuático, su evaluación e informe con el fin de definir su estado y tendencias. La información recabada a partir del monitoreo es utilizada por científicos y autoridades competentes. Cuando el monitoreo es realizado por un período prolongado de tiempo, puede mostrar si la calidad del agua se mantiene, mejora o empeora a lo largo el tiempo, lo que ayuda a determinar si las políticas o medidas realizadas hasta el momento, como ser la prevención, control de los vertidos, programas de educación, de limpieza, etc., funcionan o deben ser modificados (Mar, 2013).

Para el establecimiento de un plan de monitoreo es necesario establecer las variables a monitorear, las estaciones de muestreo, los procedimientos a utilizar tanto en campo como en el laboratorio, las entidades que formaran parte del programa de monitoreo y las posibles fuentes de financiamiento.

IX. DESEÑO METODOLOGICO

9.1 Tipo de estudio.

De acuerdo a Piura (2006), según el diseño metodológico el tipo de estudio es descriptivo, analítico y según el método de estudio es no experimental. De acuerdo a Canales, Alvarado y Pineda (1996), según el tiempo de ocurrencia de los hechos y registro de la Información, el estudio prospectivo y según el período y secuencia del estudio, es transversal. Todos las referencia antes citadas en Pedroza, 2012.

9.2 Universo y muestra de estudio.

El universo de esta investigación estuvo constituido por el lago de Güija y los ríos Ostúa, Angue, Cusmapa y Desagüe que fueron los objetos de estudio. Y la muestra de estudio los sitios analizados.

9.3 Selección de sitios de muestreo

Se seleccionaron los tres principales afluentes del lago de Güija en los sitios en donde se obtuvo acceso directo en vehículo en los cuatro momentos de muestreo (abril, septiembre, noviembre 2015 y julio 2014). en los sitios se cuenta con antecedentes de la calidad del agua. Los ríos afluentes seleccionados fueron el Ostúa, Cusmapa y Angue. También fue seleccionado el efluente (Desagüe) para recolectar muestras. Dentro del lago fueron seleccionados las desembocaduras de los ríos Angue, Ostúa y Cusmapa así como el centro del lago, totalizando ocho sitios de muestreo.

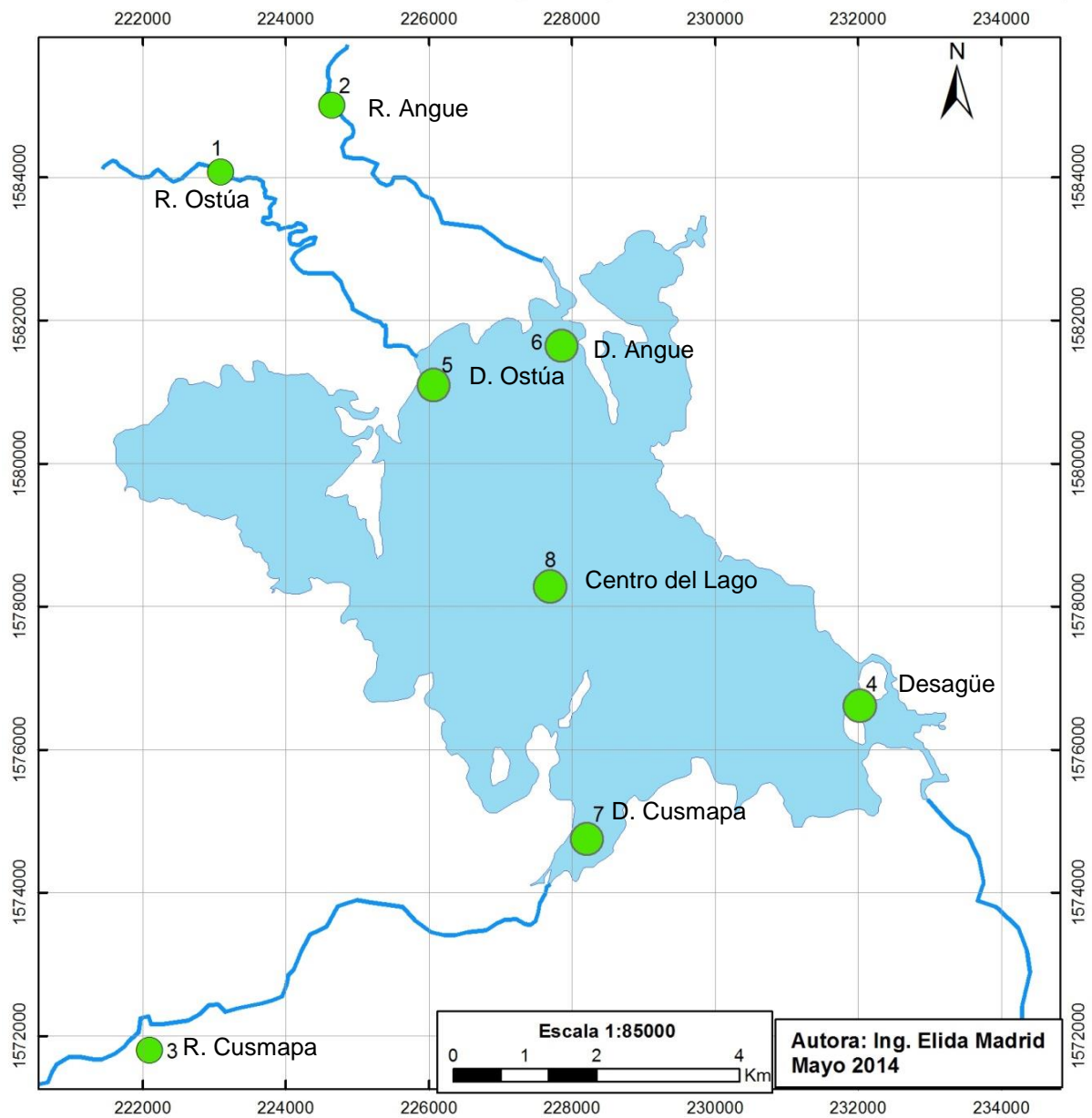
Tabla 1. Sitios muestreados en la zona del lago de Güija para establecer la calidad del agua y el estado trófico.

No.	Sitios de muestreo	Ubicación		Elevación (msnm)
		Nortes	Estes	
1	Río Ostúa.	1584079	223089	460
2	Río Angue.	1585013	224647	420
3	Río Cusmapa.	1571802	222093	468
4	Río Desagüe.	1575798	232916	445
5	Desembocadura Río Ostúa.	1581995	225286	462
6	Desembocadura Río Angue.	1582285	222093	451
7	Desembocadura Río Cusmapa.	1574384	228076	455
8	Centro del lago de Güija.	1577730	228521	446

Los sitios de muestreo fueron seleccionados en coordinación el comité de tesis, y el técnico ambiental de la alcaldía de Metapán, Santa Ana persona que conoce el área de estudio y ha participado en muestreos con proyectos anteriores.

En el siguiente mapa se presenta la distribución espacial de los sitios muestreados en la zona del lago de Güija en los municipios de Metapán y San Antonio Pajonal, Departamento de Santa Ana, El Salvador.

Calidad del agua y estado trófico en el lago de Güija y sus ríos afluentes y efluentes para un programa de monitoreo



Mapa 2. Ubicación de los sitios de estudio en el lago de Güija y los ríos Angue, Ostúa, Cusmapa y Desagüe

9.4 Técnicas para la recolección de datos e información.

La recolección de información primaria fue realizada a través de los diferentes muestreos en los ríos y lago descritos en el área de estudio. A dichas muestras se les realizaron diferentes análisis previamente establecidos.

La información primaria de esta investigación se obtuvo a través de las mediciones de variables físico-químicos en campo, así como las muestras que fueron analizadas en los laboratorios.

9.5 Técnicas de recolección y análisis de las muestras.

9.5.1 Muestras físico-químicos.

Las muestras para los análisis físico – químicos fueron recolectadas con una botella Van Door en el caso del lago la muestra fue integral y se obtuvo dividiendo la profundidad de la columna de agua en tres y mezclando la muestra obtenida de cada uno de los tres puntos. En los ríos las muestras se tomaron de forma directa del espejo de agua tratando de no contaminar la muestra, estas fueron preservadas, transportadas y analizadas siguiendo los Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Aguas Residuales y Aguas Naturales del CIRA / UNAN-Managua, que obedecen a los procedimientos descritos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 1999, 20th edition. Las variables analizadas y los límites de detección analíticos se detallan en anexos en las tablas 3 y 4.



Figura 1. Recolecta directa en ríos



Figura 2. Botella de muestreo Van Door

9.5.2 Análisis microbiológicos

Las muestras para análisis de Coliformes Totales, Coliformes termotolerantes (fecales) y *Escherichia coli*, fueron recolectadas en recipientes de plástico, de 1 litro y de material no tóxico (polipropileno), cubiertos con papel bond y esterilizados previamente en laboratorios (FUSADES-EI Salvador). La muestra en el caso del lago se tomó superficial directamente en el envase y en los ríos también se realizó directamente en el cauce del mismo. Las muestras fueron transportadas al laboratorio de FUSADES en un termo con hielo, y entregadas al laboratorio en un periodo menor a 8 horas después de tomada la muestra en campo. Para posteriormente ser analizadas de acuerdo a los Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Microbiología de FUSADES.



Figura 3. Muestra de agua para análisis de microbiología

9.5.3 Muestras del fitobentos

Las muestras del fitobentos en los ríos fueron recolectadas de las rocas en las zonas donde el sol incidía directamente y las rocas tenían una coloración café, sobre las que se utilizó un cepillo de dientes suave para rasparlas y obtener la muestra objetivo.

En cuanto a las muestras de fitobentos del lago de Güija estas fueron tomadas de las macrófitas lirio de agua (*Pistiastratiotes*), a las raíces de estas plantas fueron lavadas con un cepillo de cerdas suaves y el agua se dejó reposar en recipientes plásticos por 24 horas, luego se decantó la muestra y fue colocada en recipientes plásticos, conservando en hielo para su traslado.

Estas muestras fueron analizadas siguiendo los Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Microbiología del CIRA / UNAN-Managua, que obedecen a los procedimientos descritos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 1999, 20th edition.

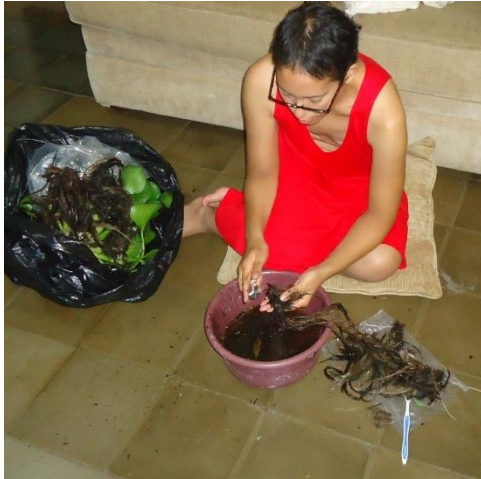


Figura 4. Lavado de raíces de macrófitas



Figura 5. Lavado de piedras

9.4.4 Muestras de fitoplancton

Las muestras del fitoplancton fueron recolectadas con una red de 20 micras (μm). Estas muestras fueron tomadas de diferentes estratos de la columna de agua del lago en la parte superficial, media y fondo luego fueron homogenizadas para formar una muestra compuesta, posteriormente eran filtradas con la red de fitoplancton con una rejilla de $20\mu\text{m}$. Las muestras de agua a diferentes profundidades fueron tomadas con una botella Van Door. Estas muestras fueron recolectadas siguiendo los Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Hidrobiología del CIRA/UNAN-Managua, que obedecen a los procedimientos descritos del **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 1999, 20th edition.**



Figura 6. Filtrado de las muestras de fitoplancton

9.4.5 Muestras de zooplancton

Para la recolecta de las muestras de zooplancton se midió la profundidad de la columna de agua en cada sitio de muestreo para determinar la profundidad a la cual se hicieron los arrastres. En cada punto se tomaron 3 submuestras, cada submuestra estuvo formada por tres arrastres verticales realizados con una red Wisconsin de 53 micras. Las muestras fueron preservadas con un 30% de alcohol al (90%) del total de la muestra. Estas muestras fueron analizadas siguiendo los Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Hidrobiología del CIRA / UNAN-Managua, que obedecen a los procedimientos descritos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 1999, 20th edition.



Figura 7. Red Wisconsing de Zooplancton



Figura 8. Lavado de la red (agua destilada)

9.4.6 Muestras de Macroinvertebrados Acuáticos (MIA)

Para el análisis cualitativo y cuantitativo de los macroinvertebrados acuáticos en los ríos, las muestras fueron recolectadas con la red de captura tipo D y recolecta directa de rocas y hojas. La red D utilizada fue la diseñada y recomendada por Sermeño, *et al.*, 2010 (siguiendo los diseños por otros autores). Los macroinvertebrados una vez recolectados fueron preservados en alcohol al 90% y trasladados al Laboratorio de Hidrobiología del CIRA-/UNAN-Managua para el análisis correspondiente.

Las muestras de sedimentos en el lago para el análisis de macroinvertebrados fueron extraídas con una draga Petite Ponar de 231.04 cm² de área de captura. Se colectaron tres submuestras en cada sitio de muestreo, colocando cada una en bolsas plásticas de 25 libras, preservándolas con alcohol al 90%. Cada submuestra fue analizada de forma individual siguiendo los Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Hidrobiología del CIRA / UNAN, que obedecen a los procedimientos del **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 1999, 20th edition.**



Figura 9. Colecta de MIA con red "D"



Figura 10. Colecta de MIA con draga Petite Ponar

9.4.7 Muestras de metales pesados

En coordinación con el Lic. Douglas García (Jefe de la unidad de laboratorio de ANDA), se establecieron los metales pesados a evaluar en el río el Desagüe, se decidió evaluar solo este sitio dado a que el Ministerio del Medio Ambiente y

Recursos Naturales ha monitoreado metales pesados en otros sitios en el lago, además se seleccionó este sitio dado a que el río El Desagüe se une al río Lempa. Este río Lempa unos 40km hacia abajo el agua de este es potabilizada por ANDA.

Los metales analizados fueron Aluminio, Arsénico, Cadmio, Manganeso, Zinc, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel y Plomo.

9.4.8 Muestras para granulometría

Las muestras para granulometría fueron tomadas con una draga Petite Ponary depositadas en bandejas de metal previamente cubiertas con papel de aluminio y se transfirieron a bolsas plásticas para posteriormente ser analizadas de acuerdo a lo establecido en los Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Radioquímica Ambiental del CIRA / UNAN. El análisis se realizó por el método de Pipeta de Köhn y la clasificación de acuerdo a la norma Austriaca 1-1083-88.

9.4.9 Medición de caudales

Para tener un caudal estimado de los ríos se utilizó el método del flotador, para dicho método se usó material que flotara y tuviese las mismas dimensiones. Se tomó en cuenta a la hora de hacer las mediciones que se tuviese un espacio uniforme en el río al menos en unos 30 metros, se midió el ancho del punto de muestreo, el largo y la profundidad así como el tiempo que tardaba el objeto en llegar de un punto A hacia un punto B.



Figura 11. Medición del caudal a través del método de flotadores

Métodos para el análisis de las variables biológicas

Análisis	Métodos de análisis	Unidades	Matriz
Microbiología (Coliformes fecales, coliformes totales y Escherichia coli)	Tubos de fermentación múltiple	UFC/mL	Agua natural
Fitobentos	Observación directa y clasificación taxonómica	valvas y contadas	Sedimentos
Fitoplancton	Observación directa y clasificación taxonómica	ind.l ⁻¹ ;mg.l ⁻¹	Agua natural
Zooplancton	Observación directa y clasificación taxonómica	ind.m ⁻³	Agua natural
Macroinvertebrados acuáticos	Clasificación taxonómica de los organismos, observación directa y uso de claves actualizadas	No de individuos y ind.m ²	Sedimentos
Clorofila a	Nush, E.&G. Palme 1975	µg.l ⁻¹	Agua natural

Métodos utilizados para analizar las muestras en los laboratorios

Tabla 2. Métodos utilizados en los análisis físicos del agua

Parámetro	RD	Nombre del método	N de RSM*
pH	0,10-14,0 1,0-100	Potenciométrico	4500-H.B
Conductividad	000,00	Método de laboratorio	2510B
Turbidez	0,0-999	Nefelométrico	2130B
Color	5,0-70,0	Visual comparación	2120B
Solidos volátiles	Hasta 20,000	Gravimétrico (secado a 550°)	2540 E
Solidos totales disuelto	Hasta 20,000	Gravimétrico(secado a 180°C)	2540C
Solidos suspensos	Hasta 20,000	Gravimétrico (103°-105°C)	2540D
Granulometría		Norma Austriaca L-1061-88	2
Materia orgánica	0.067-13,33	Oxidación Húmeda	3

² Determinación del tamaño de partículas por el método de köhn

³ López, R. 1990 "El diagnostico de suelos y plantas" Métodos de campo y laboratorio. 4ta edición Madrid, España.

*N de RSM Número de referencia del Standard Methods (APHA, 1995)

Tabla 3. Métodos utilizados para la realización de los análisis químicos y metales pesados

Parámetro	LD	Nombre del método	N de RSM*
Calcio	0,08	titrimétrico	3500-Ca.B
Magnesio	0,2	titrimétrico	3500-Mg.B
Sodio	0,1	Electrodo IS-Na	Electrodo IS-Na
Potasio	0,1	Fotometría de llama	3500-K.B
Cloruros	0,25	Cromatografía Iónica con supresión química	4110.B
Nitratos	0,25	Cromatografía Iónica con supresión química	4110.B
Sulfatos	0,25	Cromatografía Iónica con supresión química	4110.B
Carbonatos	2	Titrición	2320.B
Bicarbonatos	0,75	Titrición	2320.B
Dureza total (como CaCO ₃)	0,13	Titrición	2540.C
Alcalinidad total (como CaCO ₃)	62	Titrición	2320.B
Alcalinidad a la fenolftaleína	1,67	Titrición	2320.B
Sílice reactivo disuelto	0,2	Molibdosilicato	4500-SiO ₂ .C
Nitritos	0,003	Colorimétrico	4500-NO ₂ .B
Hierro total	0,02	Fenantrolina	3500Fe.B

Calidad del agua y estado trófico en el lago de Güija y sus ríos afluentes y efluentes para un programa de monitoreo

Amonio	0,0003	Método del Fenato	4500-NH3.F
Nitrógeno Total	0,1	Segunda derivada	Segunda derivada
Balance iónico muestra		Balance de cargas	1030.E
Demanda química de oxig.	10	Método titrimétrico a reflujo cerrado	5220.C
Fosforo reactivo disuelto	0,016	Método del ácido ascórbico	4500.P.E
Fosforo total	0,016	Método del ácido ascórbico	4500.P.B.E
Fluoruro	0,25	Cromatografía iónica con supresión química	4110.B
Aluminio total	3,99	E. Rothery. Et al, 1988 ²	
Arsénico total	2,02	E. Rothery. Et al, 1988 ¹	
Cadmio total	0,15	E. Rothery. Et al, 1988 ²	
Zinc total	35,95	E. Rothery. Et al, 1988 ²	
Cobre total	3,84	E. Rothery. Et al, 1988 ²	
Cromo total	0,71	E. Rothery. Et al, 1988 ²	
Manganeso total	1,4	E. Rothery. Et al, 1988 ²	
Mercurio total	0,09	E. Rothery. Et al, 1984 ¹	
Niquel total	5	E. Rothery. Et al, 1988 ²	
Plomo total	4,64	E. Rothery. Et al, 1988 ²	
Mercurio T en agua	0,14 (ng.L ⁻¹)	Akagi, H. & Nishimura, H. (1991).	
Mercurio T en sedimento	0,5 µg.kg ⁻¹	EPA Method (2007)	7473

9.5 Métodos de interpretación de los resultados

Para el desarrollo del Índice Trófico de Diatomeas TDI se aplicaron las siguientes formulas:

Calcular para cada taxa (abundancia (a) X v y (a*v*c)

Sumar todos los valores de a*v para obtener Σav

Repetir para a*s*v para obtener Σasv

Calcular $\Sigma asv \div \Sigma av$ para obtener el WMS

Calcule el TDI como (WMS*25)-25

Dónde: a) Son las valvas contadas

v) y c) son dados tablas del índice según cada taxa

Los resultados obtenidos son analizados a través del TDI son analizados según la siguiente tabla

Tabla 4. Rango del Índice Trófico de Diatomeas y su respectiva calidad del agua (Dumnicka et al 2006, citado por Szczepocka 2009).

Calidad del agua	Clase de calidad del agua	Significado	Estado Ecológico	TDI	Estatus trófico
Muy buena	I	Polución débil	Alto	<35	Oligotrófico
Buena	II	Eutrofización	Bueno	35-50	Oligo/Mesotrófico
Satisfactoria	III	Eutrofización acentuada	Media	50-60	Mesotrófico
Insatisfactoria	IV	Polución fuerte	Satisfactorio	60-75	Eutrófico
mala	V	Polución muy fuerte	Mala	>75	Hipereutrófico

*Los colores mostrados en esta tabla fueron tomado del documento: Estudio de la calidad y disponibilidad de los recursos hídricos en la subcuenca del Río Viejo. CIRA/UNAN-Managua 2013.

El Índice de Estado trófico Modificado (IET_M) tiene menos categorías para su clasificación, sin embargo, el rango numérico es mayor, lo que permite detectar pequeñas concentraciones de cada variable. (García et al., 2007).

Profundidad disco secchi (Sec) $IET_M Sec = 10^{*}\{6-[0.64+\ln DS / \ln 2]\}$

Donde $\ln DS$ es el logaritmo natural del promedio de la profundidad Secchi, en metros, medida con el disco Secchi.

Clorofila a (Cla) $IET_M Cla = 10^{*}\{6-[(2.04-0.695*\ln Cl-a) / \ln 2]\}$

Donde $\ln Cla$ = logaritmo natural de la clorofila a en $\mu g.l^{-1}$

Fósforo Total $IET_M (PT) = 10^{*}\{6-[\ln (80.32 / PT) / \ln 2]\}$

Donde $\ln PT$: logaritmo natural de la medición del fósforo total $\mu g.l^{-1}$

Orto Fosfato $IET_M (P-PO_4) = 10^{*}\{6-[\ln (21.67 / P-PO_4) / \ln 2]\}$





Donde $\ln P-PO_4$ = logaritmo natural de Ortofosfato en $\mu g.l^{-1}$

El resultado final se calcula obteniendo las medias de los valores obtenidos.

$$\text{Media } IET = IET_M DS + IET_M Cla + IET_M PT + IET_M P-PO_4 / 4$$

Los resultados obtenidos con las ecuaciones anteriores son analizados en base al siguiente cuadro propuesto por Toledo.

Tabla 2. Valores propuestos por el índice de estado trófico modificado por Toledo et al 1984.

Valores propuestos por Toledo et al (1984)		
Rangos propuestos	Estado trófico	color según estado
<44	Oligotrófico	
44-54	Mesotrófico	
55-74	Eutrófico	
>74	Hipereutrófico	

X. PRESENTACION DE RESULTADOS

10.1. Variables de campo

10.1.1 pH

Según las normas Canadienses para mantener un equilibrio la vida acuática se requieren un pH de 6,5 - 9,0 por lo tanto los valores de pH fueron encontrados dentro del rango adecuado en todos los puntos en los tres muestreos. En abril y septiembre el pH es muy alto en las desembocaduras en el lago, esto se puede deber a la alta producción primaria la cual libera CO₂, esto permite la basificación del medio o la elevación del pH.

La norma de agua potable de El Salvador establece que el pH máximo permisible es de 8.5 en base a esta los puntos que se encontraron por encima fueron: la desembocadura del río Angue con 8,59 y 8,78 correspondientes a los meses de abril y septiembre. Desembocadura del río Ostúa con valores de 8,6 y 8,68 en los meses de abril y septiembre. Desembocadura del río Cusmapa en el mes de abril con 8,7 y muy cerca del límite en el mes de septiembre con 8,49. El río Desagüe con 8,6 en el mes de abril así como el río Cusmapa con 8.59 en el mes de noviembre, todos en el año 2013.

El pH es ligeramente alcalino quizá por la alta actividad fotosintética que consume el dióxido de carbono disponible alcalizando de esta manera el agua, estos valores alcalinos del pH sugieren un sistema amortiguador eficiente (López, 2006).

El pH en un medio acuático es muy importante ya que las comunidades biológicas que habitan este medio están adaptadas a ciertas condiciones de acidez, y cuando estas condiciones varían las comunidades se ven afectadas y se da un reemplazo de especies variando así la calidad del agua.

Cada organismo tiene un rango de pH dentro del cual su ciclo de vida se hace posible. La mayoría de los ecosistemas acuáticos naturales tienen un pH que

oscila entre 5 y 9. Muy pocas especies acuáticas pueden sobrevivir en pH fuera de ese rango (Roldán, 2008)

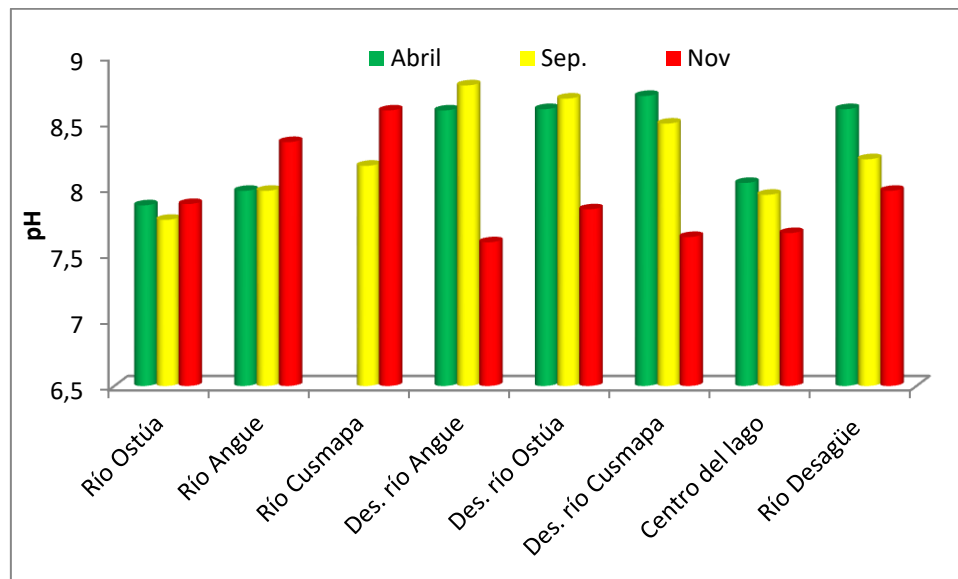


Gráfico1. Comportamiento del pH en mediciones de campo en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.

En la caracterización realizada por PREPAC (2006) los valores más bajos de pH se observan en el noreste del lago, la tendencia del pH en la presente investigación fue diferente ya que los valores más altos se encuentran en las desembocaduras de los ríos Angue, Cusmapa y Ostúa los cuales corresponden a la zona noreste del lago. Según los resultados de pH (López, 2008) se obtuvo un rango de 7,24 a 8,81, el rango general obtenido en la presente investigación fue de 7,59 a 8,78 similares a los resultados de hace 5 años.

Se realizó un análisis de varianza (anova) de los resultados el cual permite constatar la hipótesis nula de que las medias de las muestras son iguales, frente a la hipótesis alternativa de que por lo menos una de las poblaciones difiere de las demás en cuanto a su valor esperado. Dicho análisis se realizó para la mayoría de los parámetros fisicoquímicos de la presente investigación.

El planteamiento es el siguiente

Ho: $M_A=M_S=M_N$ (hipótesis nula, todos los meses son iguales)

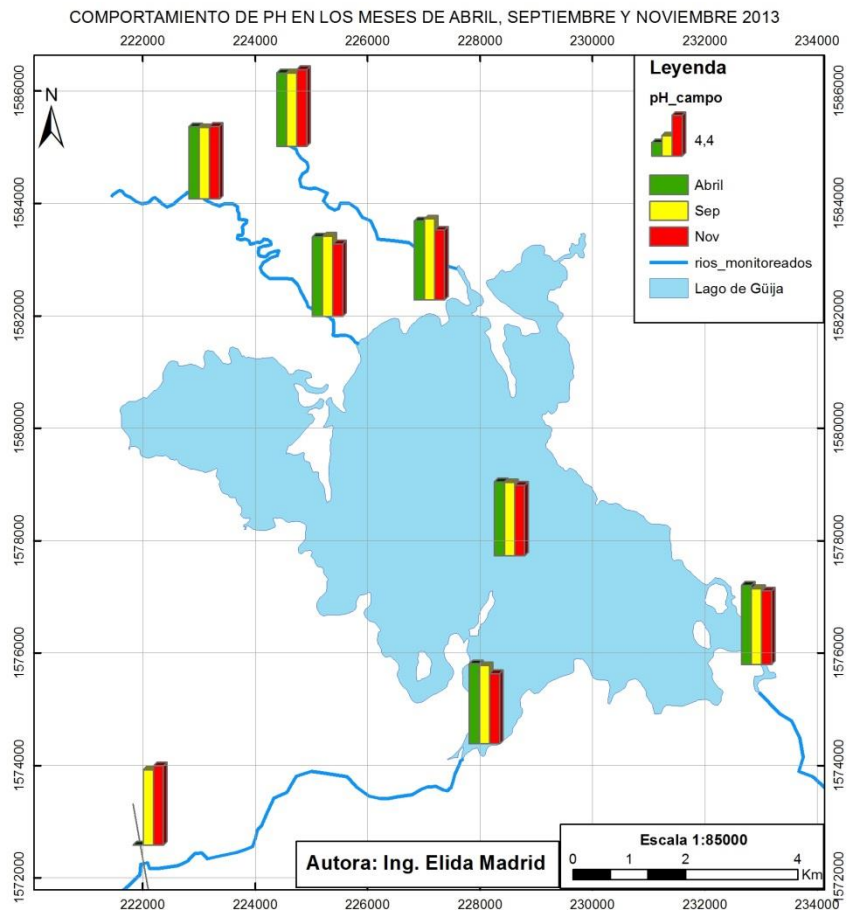
H1: $M_A \neq M_S \neq M_N$ al menos uno de los meses es diferente

Para el análisis de los resultados del anova si $p < \alpha$ se rechaza Ho donde $\alpha = 0.005$

Para el caso del pH la significancia fue de 0.098 entonces $p < \alpha$ por lo tanto se rechaza Ho lo que significa que si hay diferencias significativas entre los meses.

Se realizó una Prueba Pos Hoc una vez que se ha determinado que existen diferencias estadísticas entre las medias, las pruebas de rango post hoc permiten determinar qué medias difieren. La prueba de rango post hoc identifica subconjuntos homogéneos de medias que no se diferencian entre sí.

Aplicando la prueba de Pos Hoc se encontró que de abril a septiembre no hay diferencias significativas, de abril a noviembre si hay diferencias significativas a favor de abril y de septiembre a noviembre no hay diferencias significativas. Por lo tanto las concentraciones más altas de pH se encontraron en el mes de abril, entre los meses de septiembre y noviembre no hay diferencias significativas.



Mapa 3. Comportamiento del pH en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.

Según los registros de pH del centro del lago de Güija se puede ver que los valores de pH del 2013 son levemente más altos en comparación con los pH de años anteriores registrados por la CEL.

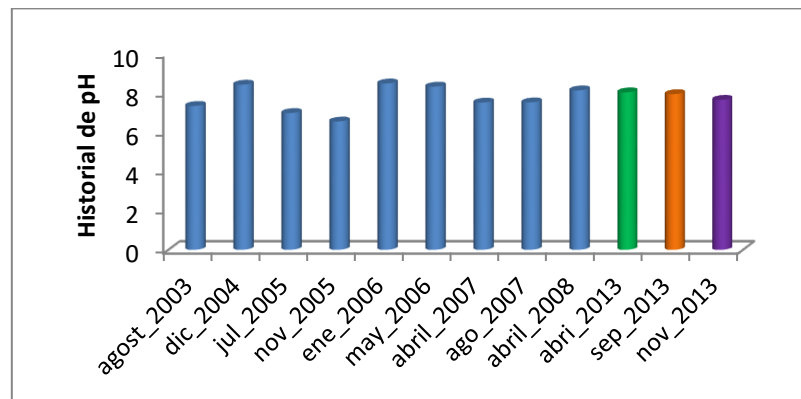


Gráfico 2. Comportamiento histórico del pH en el lago de Güija, datos de CEL y esta investigación

En los ríos los pH de las épocas secas y lluviosas del 2013 son levemente mayores en comparación con las épocas lluviosas de 1998 y 2007, resultado similares a los valores de pH encontrados en el lago de Güija.

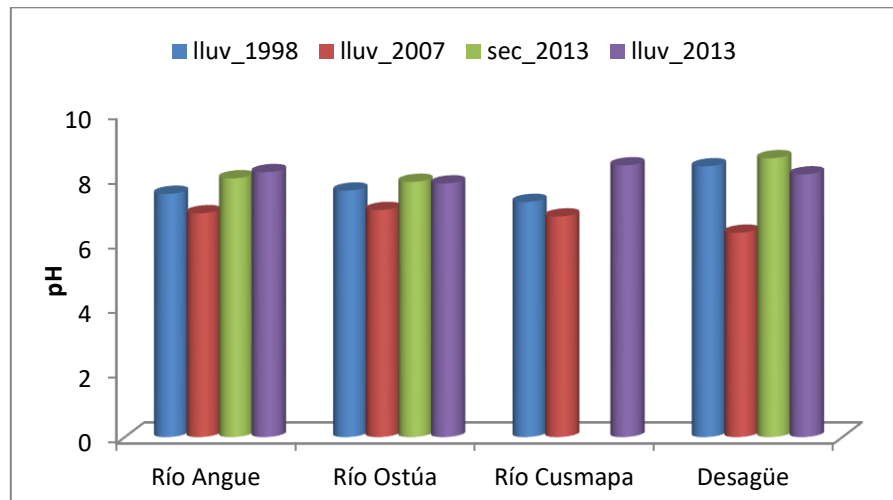


Gráfico3. Comportamiento del pH en las épocas secas y lluviosas en los ríos Angue, Ostúa, Cusmapa y desagüe en los años 1998, 2007 y 2013.

Basterrechea (2008) describe que los valores de pH en los ríos afluentes del lago fueron bastante similares, pero no menores a los reportados en la superficie de las tres estaciones en el lago. El comportamiento de los resultados obtenidos es similar a excepción del centro del lago el cual presenta pH más bajos al de los ríos durante las tres campañas de muestreo.

10.1.2.2 Conductividad

Cuanto mayor sea la cantidad de las sales disueltas en el agua, mayor será el valor de la conductividad. Según las normas CAPRE el valor de referencia para la conductividad es de $400\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. En el gráfico 4 Se muestran los resultados encontrados en los sitios analizados en las épocas de estudio y se observó que de los ocho puntos monitoreados solamente el río Ostúa no cumple con la norma CAPRE.

Las conductividades tienden a ser más altas en el mes de abril con un promedio de $293\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ y más bajas en el mes de septiembre con un promedio de

$200\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Por lo tanto la presencia de sales disueltas en los puntos monitoreados es baja la cual está asociada con una mayor concentración de electrolitos por ausencia de lluvias.

Una de las razones por las cuales el río Ostúa presenta una conductividad más alta en comparación con los otros sitios puede deberse a que en la rivera de este río se practica la agricultura extensiva en el lado de Guatemala. El río Angue además de la agricultura que tiene en su cuenca también cuenta con altos índices de deforestación lo cual facilita la aportación de las sales a río a través de la escorrentía.

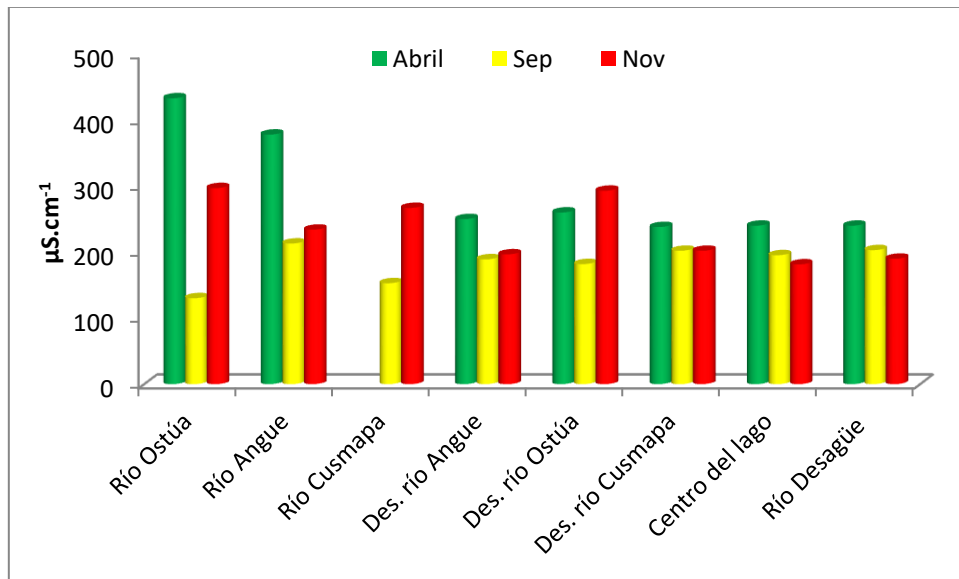
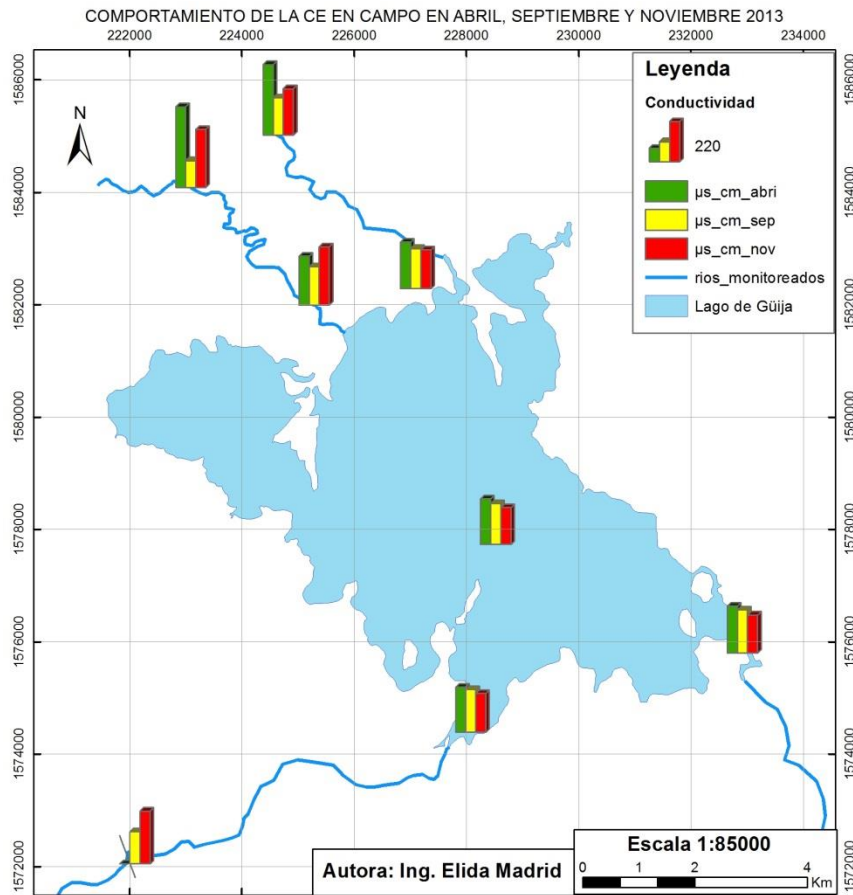


Gráfico4. Comportamiento de la conductividad en mediciones de campo en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.

López en el 2007 registro la mayor conductividad en el río Ostúa con $382\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ y la menor para el río Angue con $177,82\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ y en el resto de estaciones se mantuvo entre 300 y $370\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. El río Ostúa en el 2013 se obtuvo un promedio de $286\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ y para el río Angue fue de 275 por lo que para el río Ostúa se tiene una menor conductividad y una mayor conductividad para el río Angue en el 2013.

Según el anova la $p=0.013 < 0.05$ se rechaza H_0 y si hay diferencias significativas.

La prueba de Post Hoc da como resultado que si hay diferencias significativas entre abril y septiembre a favor de abril, entre abril y noviembre no hay diferencias significativas, y entre noviembre y septiembre no hay diferencias significativas.



Mapa 4. Distribución espacial de la conductividad en el lago de Güija y los ríos Angue, Ostúa Cusmapa y desagüe en los meses de abril, mayo y junio 2013.

Históricamente según los datos de CEL correspondientes al centro del lago la conductividad ha sido levemente más baja en los años registrados en comparación con los resultados obtenidos en campo en los muestreos de los meses de abril, septiembre y noviembre del 2013, siendo la conductividad más alta registrada en el mes de abril del 2013 con un promedio de $243\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Las conductividades promedio reportadas en el gráfico 5 correspondientes al centro del lago de Güija, presenta una tendencia decreciente de abril a noviembre con valores de $243\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a $297\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ efecto de ausencia y ocurrencia de las lluvias. La conductividad baja del mes de noviembre del 2005 con $63\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ se pudo haber debido a las copiosas lluvias presentadas a finales del 2005 y a posible influencia del huracán Katrina.

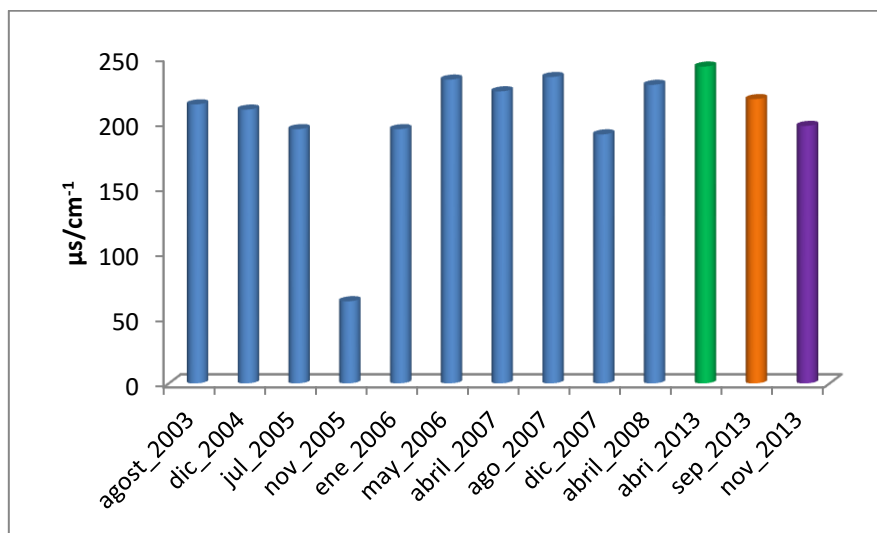


Gráfico5. Comportamiento histórico de la conductividad en el lago de Güija

Al comparar las conductividades de los ríos estudiados con resultados obtenidos hace 6 años se puede ver que en los ríos Ostúa, Cusmápa y desagüe las conductividades eran mayores en el 2007 y que solamente el río Angue ha presentado un leve incremento en la conductividad. El río Ostúa es el que presente las más alta conductividad en los dos periodos. Cabe mencionar que las conductividades utilizadas para el 2013 son las promedio de las mediciones realizadas en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.

Basterrechea en su informe relata que los resultados de la conductividad reportados en el mes de abril 2008 fueron mayores a los observados en los muestreos de septiembre y octubre. En la presente investigación la relación fue la

misma obteniéndose mayores promedios de conductividad en la época seca que en la época lluviosa del 2013.

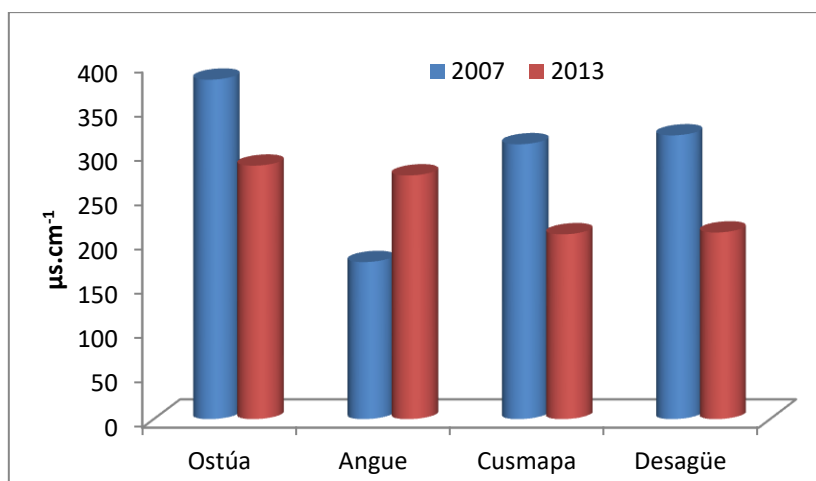


Gráfico6. Comparación de las conductividades promedio de los años 2007 y 2013.

10.1.2.3 Temperatura

La temperatura en todos los sitios de muestreo varió entre 25,8°C y 31°C. El promedio de temperatura más alta se registró en el mes de septiembre y es de 28,7°C y el promedio de la temperatura más baja fue registrado en noviembre con 26,58°C. Este parámetro es variable de acuerdo a la hora en que se realizan los muestreos.

Los rangos de temperatura establecidos por las normas CAPRE son de 18°C a 32°C por lo tanto ninguno de los sitios se encuentra fuera de los valores de referencia. La norma de agua potable de El Salvador no establece límite para la temperatura.

La distribución espacial de la temperatura mantuvo un comportamiento bastante similar durante los 6 meses de muestreo que realizó PREPAC, las temperaturas más cálidas se registraron en la zona sureste del lago y las más bajas al norte (PREPAC, 2006). El comportamiento de las temperaturas fue similar en el 2013

con pocas variaciones espaciales, no se reportan cambios bruscos en la temperatura.

López (2007) registró temperaturas de 25°C a 30°C, dichas temperaturas se mantuvieron estables, el rango obtenido en el 2013 fue de 25,8-31°C con un grado de diferencia influenciado seguramente por las horas a las que se midieron los parámetros en campo.

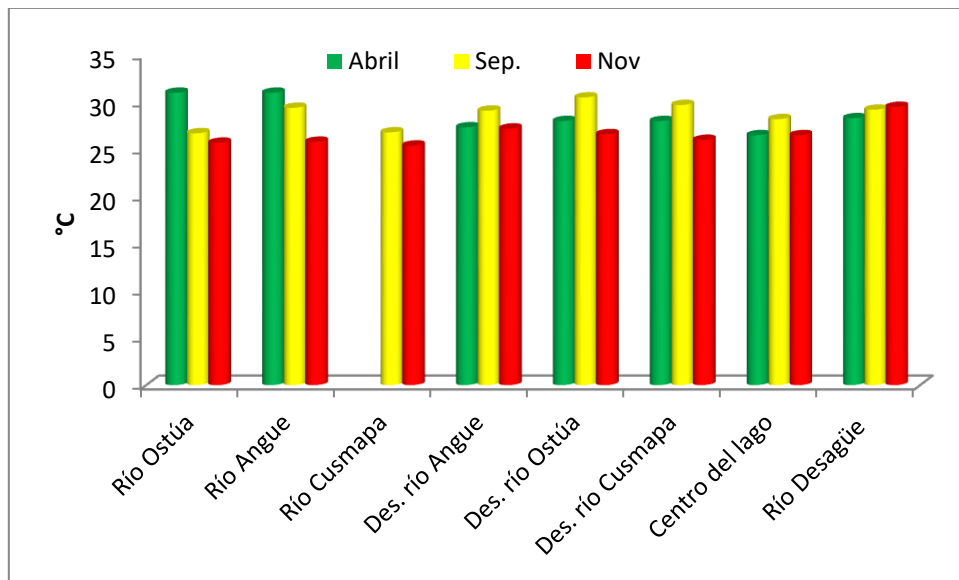


Gráfico7. Comportamiento de la temperatura en las mediciones de campo en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.

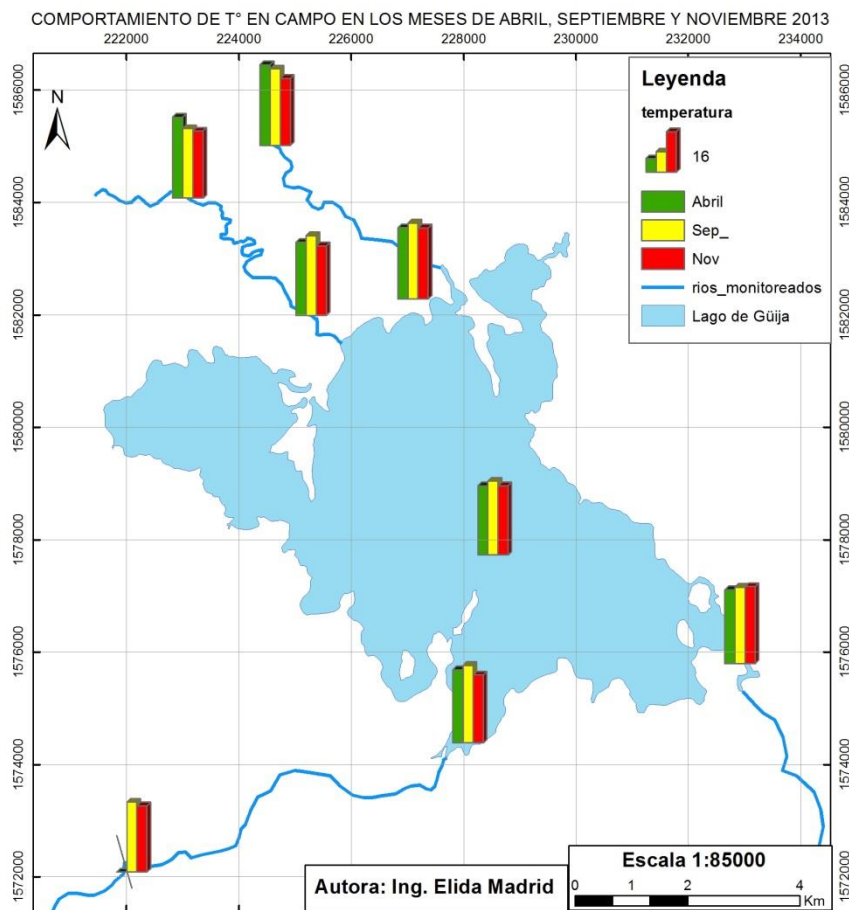
Según el anova la $p=0.016 < 0.05$ se rechaza H_0 y si hay diferencias significativas.

La prueba de Post Hoc da como resultado que no hay diferencias significativas entre abril y septiembre, entre abril y noviembre si hay diferencias significativas a favor de abril lo que significa que las temperaturas fueron más altas en este mes, y entre noviembre y septiembre no hay diferencias significativas.

Según Sagastizado y Hernández en el 1998 las temperaturas en los ríos tributarios Ostúa, Angue y Cusmapa es menor a los 26 grados siendo más frescas que las del lago las cuales variaron de 26-30°C. Para los mismos sitios en las mediciones obtenidas en el 2013 en las tres épocas de muestreo se obtuvo un

promedio de 27,72 obteniendo así un aumento mínimo de 1,73°C en cuanto a las temperaturas del lago en los 5 sitios monitoreados se obtuvo un promedio de 27,80°C con un máximo de 30,5°C y un mínimo de 26°C.

Basterrechea (2008) menciona que los valores de temperatura de los ríos como era de esperarse fueron menores a los del lago. Los valores de temperatura en los ríos fueron influenciados por la hora de muestreo. En la gráfica 7 se puede observar que en el lago las temperaturas son más estables que las temperaturas de los ríos afluentes y efluente.



Mapa 5. Distribución espacial de la temperatura en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.

10.1.2.4 Oxígeno Disuelto

Concentración de oxígeno disuelto, este gas es uno de los más importantes en la dinámica y caracterización de los sistemas acuáticos. El oxígeno llega al agua por difusión de la atmósfera o por fotosíntesis, su difusión dentro de un ecosistema acuático se lleva a cabo por medio de la circulación y movimientos del agua provocados por diferencia de densidad de las capas de agua o por vientos (Roldán, 2008).

En general se midieron valores más altos en la época seca con un promedio de $7,36\mu\text{g/l}^{-1}$ y los valores más bajos se encontraron en la salida del invierno con un promedio de $6,55\text{mg.l}^{-1}$ según las normas canadienses en su acápite de agua fresca para la vida acuática el OD del agua debe de ser como mínimo entre $5\text{-}6\text{mg.l}^{-1}$, por lo tanto solamente el centro del lago en los meses de septiembre y noviembre se encontrarían por debajo de los límites establecidos, el resto de puntos monitoreados están por encima de 5 miligramos por litro.

Las concentraciones de oxígeno indican la alta disponibilidad del gas especialmente en el río Cusmapa que tiene los niveles más altos. El centro del lago en donde el OD es menor esto debido a su profundidad cercana a los 25 metros.

El oxígeno disuelto es esencial para el metabolismo de todos los organismos acuáticos (Wetzel 1981). El contenido de oxígeno de las aguas naturales varía con la temperatura, la salinidad, la turbulencia, la actividad fotosintética y la presión atmosférica (Ramírez y Viña, 1998). El oxígeno es vital en un cuerpo de agua porque de este depende la vida de las comunidades bióticas como los macroinvertebrados los cuales están íntimamente relacionados a la cantidad de oxígeno disponible, entre más OD hay en el agua, mayor será la diversidad de las familias y mejor la calidad biológica del agua. Las concentraciones encontradas a excepción del lago son óptimas para el desarrollo de las diferentes comunidades, en caso de tener valores más altos de 12mg.l^{-1} si sería preocupante porque puede ser tóxico también para algunas especies.

Según el anova la $p=0.563 < 0.05$ se acepta H_0 y no hay diferencias significativas. La prueba de Post Hoc no se aplica en este caso por no haber diferencias significativas.

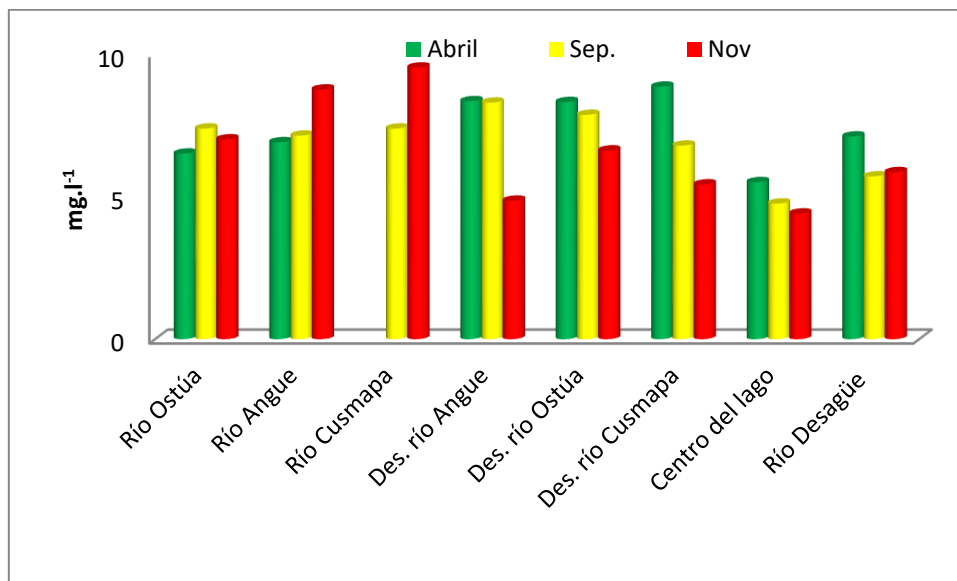


Gráfico8. Comportamiento de la Oxígeno Disuelto en las mediciones de campo en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.

En la caracterización (PREPAC, 2006) menciona que las concentraciones de oxígeno disuelto presentaron un patrón similar al de la temperatura. La relación en el 2013 no fue muy estrecha con la temperatura.

En el 2008 López reporta niveles de oxígeno disuelto de 6-7,5 mg.l⁻¹, para el 2013 el rango de oxígeno disuelto fue 4,4 a 8,55mg.l⁻¹ un rango más amplio al encontrado en el 2008.

Los valores de oxígeno disuelto en los ríos y en la superficie del lago fueron alrededor de 5 mg.l⁻¹. Los menores valores fueron reportados en el intermedio y fondo del lago, lo cual evidencia que el lago estuvo estratificado durante los tres días de muestreo, los valores de oxígeno disuelto reportados en los ríos reflejan el aporte de materia orgánica (Basterrechea, 2008). Los resultados del 2013 fueron

superiores a 5 mg.l^{-1} en la mayoría de los sitios a excepción de la desembocadura del río Angue en el mes de noviembre y el centro del lago en los meses de septiembre y noviembre. Chávez et al en el 2012 encontró valores de oxígeno disuelto en un rango de 5-6,8 los valores encontrados en el 2013 tuvieron un rango más amplio de $4,4 \text{ mg.l}^{-1}$ a $9,52 \text{ mg.l}^{-1}$ estos valores son los más altos reportados a la fecha en los ríos y lago de estudio.

El comportamiento del oxígeno disuelto en los últimos años ha variado en el lago de Güija, en los últimos años en promedio se ha obtenido un promedio de $5,8 \text{ mg.l}^{-1}$ durante 5 años y en el 2013 se obtuvo un promedio de $6,66 \text{ mg.l}^{-1}$ lo que muestra una tendencia a aumentar pero disminuye de abril a noviembre 2013 mg.l^{-1} .

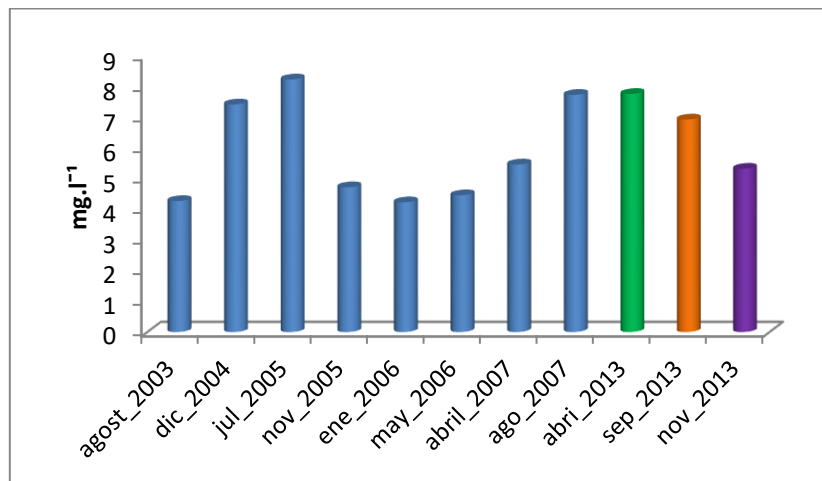
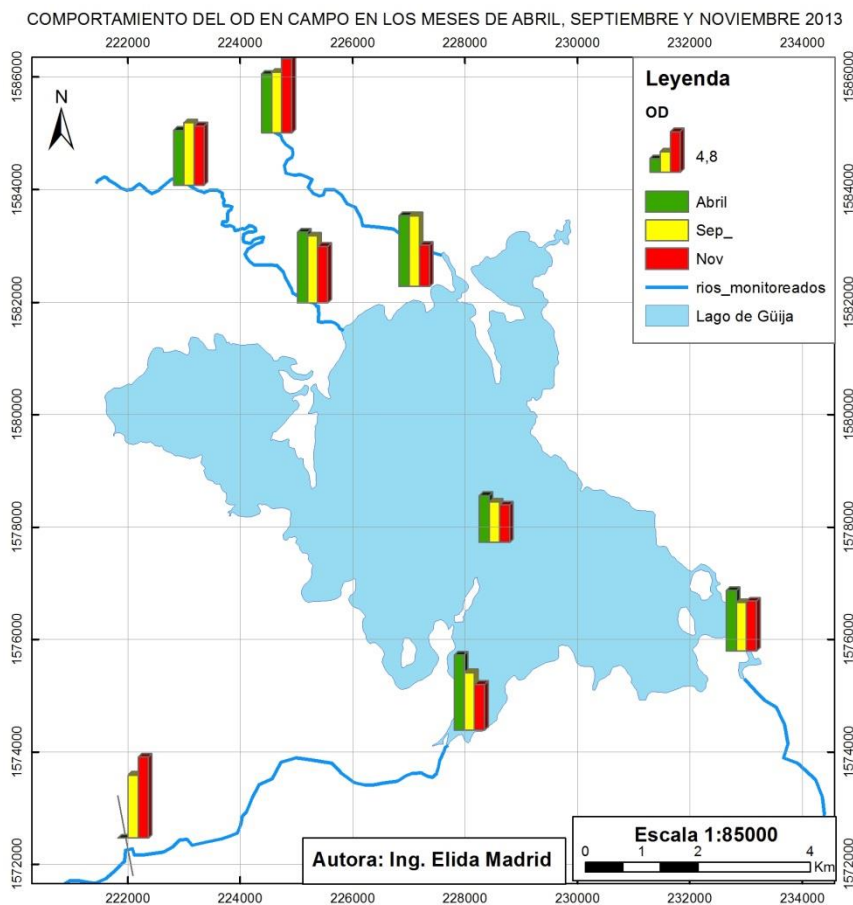


Gráfico9. Comportamiento del Oxígeno Disuelto en el tiempo



Mapa 6. Distribución espacial del OD en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013

10.1.2.5 Turbidez y Color verdadero

La turbidez en las diferentes épocas tiene intervalos de 3,2 UNT para el mes de abril en el río Angue a 153 UNT para el mes de septiembre en el centro del Lago. Según la norma salvadoreña de calidad de agua potable el límite máximo permisible para la turbidez es de 5 UNT al igual que las normas CAPRE, dentro de este límite solamente hay 4 puntos muestreados que cumplen estos punto son: río Cusmapa en el mes de septiembre con 4UNT, río Ostúa con 4,6 UNT en el mes de abril, el río Angue con 3,2 UNT y el Desagüe que se encuentra muy cerca del límite en el mes de septiembre con 5,1 UNT,el restos de puntos monitoreados en

las tres épocas se encuentran muy por encima de las normas establecidas en El Salvador.

Los niveles de turbidez más altos se encuentran en el mes de septiembre influenciado por las lluvias y la escorrentía en la cuenca, así los niveles más bajos en el mes de abril en la época seca.

En cuanto al color verdadero este es ascendente de abril a noviembre presentando valores más bajos en la época seca y más altos en la época lluviosa mostrando una relación directa con la turbidez. El valor más alto de color verdadero se registró en el mes de noviembre en el río El Desagüe con 144,77mg.l-1 de Pt-Co y los valores más bajos se registraron en el todos los sitios muestreados en el mes de abril a excepción del río Ostúa.

Las normas salvadoreñas de agua potable establecen 15 Pt-Co de color verdadero como límite, en este caso solo cumplirían con las normas todos los sitios en el mes de abril excepto el río Ostúa.

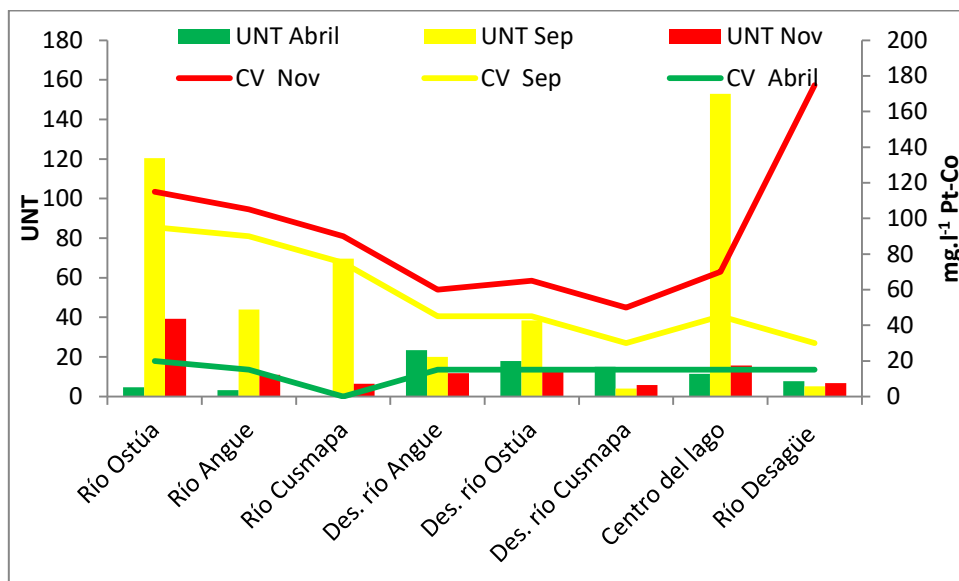
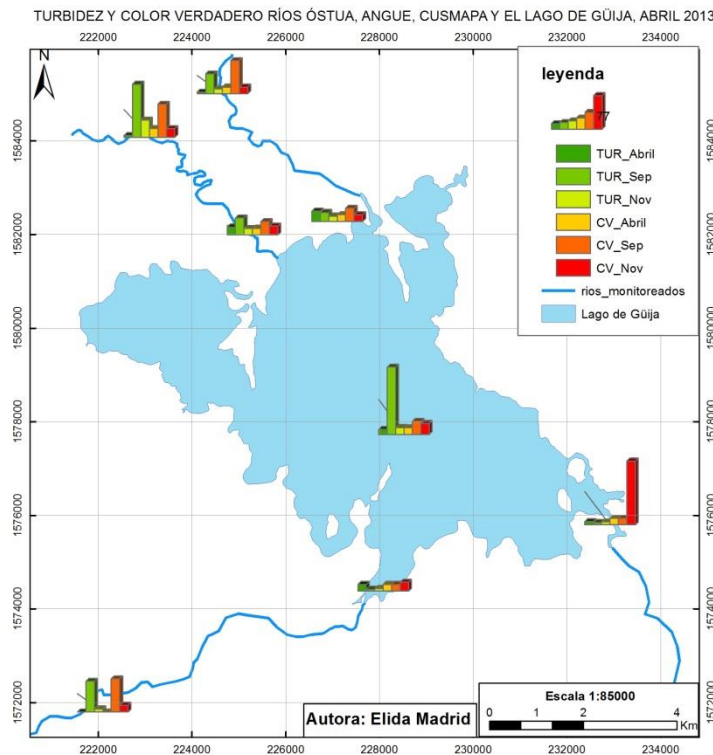


Gráfico10.Comportamiento de la turbidez y el color verdadero en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013

Según el anova para la turbidez la $\rho=0.023 < 0.05$ se rechaza H_0 y si hay diferencias significativas.

La prueba de Post Hoc da como resultado que si hay diferencias significativas entre abril y septiembre a favor de septiembre, entre abril y noviembre no hay diferencias significativas, y entre noviembre y septiembre si hay diferencias significativas a favor de noviembre.

Según el anova para el color verdadero $p=0.246 > 0.05$ se acepta H_0 y no hay diferencias significativas por lo tanto no se aplica la prueba de Post Hoc.



Mapa 7. Distribución espacial de la turbidez y el color verdadero en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.

En cuanto a la turbidez (López, 2007) para el lago de Güija tuvo un rango de 76,37 UNT-1020UNT. El rango obtenido en el 2013 en el presente estudio fue de 3,2-153UNT, dicho rango es menor al de hace seis años.

La distribución espacial de la turbidez superficial muestra un patrón caracterizado por presentar los mayores valores durante los meses de octubre a diciembre. Los niveles más bajos se localizaron a partir de enero. Este

comportamiento está en concordancia con el ciclo de precipitaciones sobre la zona, en el cual los meses lluviosos se extienden hasta noviembre y a partir de enero se inicia un período seco. No se observa un patrón de distribución espacial definido dentro del lago (PREPAC, 2006).

Los resultados corresponden al comportamiento antes descrito con mayores valores de turbidez en el mes de abril, y esta se incrementa en septiembre y noviembre.

10.1.2.6 Sólidos totales, sólidos fijos y sólidos volátiles

Los sólidos totales disueltos (TDS), son un índice de la cantidad de sustancias disueltas en el agua y proporciona una indicación de la calidad química del agua. Este parámetro es definido analíticamente como residuo filtrable total (mg/L) y está estrechamente relacionado con la conductividad eléctrica; cuanto mayor sea la cantidad de sales disueltas en el agua, mayor será el valor de la conductividad. Las concentraciones de sólidos disueltos totales guardan una correlación positiva con la productividad en lagos, al tiempo que afectan la penetración de la luz en la columna de agua y la absorción selectiva de los diferentes largos de onda que integran el espectro visible de luz, lo cual sin duda afecta la fotosíntesis del fitoplancton y las plantas en general (PREPAC,2006).

En cuanto a los sólidos totales disueltos los valores registrados tienen un comportamiento inverso a la conductividad. Estos valores van de 141 en el mes de septiembre en el centro de lago a 299 en el río Ostúa. Los valores en general fueron más altos en el la noviembre seguido por abril y finalmente septiembre. Los sólidos totales por cada muestreo se comportan inversamente a la conductividad de tal forma que el mes con mayores conductividades tiene menores valores de sólidos totales.

Las normas CAPRE establecen para el parámetro STD un máximo de $1000\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ por lo que se cumple con este parámetro en todos los sitios durante los tres muestreos realizados.

Las normas canadienses sin embargo recomiendan para la vida acuática unos 100mg.l^{-1} desde este parámetro no se cumplirían con las normas canadienses en ninguno de los sitios en los tres muestreos.

La mayor concentración de STD se encontraron en el río Ostúa en el mes de noviembre con 299mg.l^{-1} y la menor concentración se encontró en la desembocadura del río Cusmapa en el mes de noviembre con 109mg.l^{-1} .

Los sólidos volátiles fueron más altos en el mes de abril, disminuyeron en septiembre y así sucesivamente en el mes de noviembre. Los sólidos fijos sin embargo fueron más altos en el mes de septiembre y muy bajos en los meses de abril y noviembre.

Según el anova para los sólidos totales disueltos la $p=0.706 > 0.05$ se acepta H_0 , por lo tanto no hay diferencias significativas.

Según el anova para los sólidos volátiles la $p=0.000 < 0.05$ se rechaza H_0 , por lo tanto si hay diferencias significativas. Entre abril y septiembre si hay diferencias a favor de abril, entre abril y noviembre si hay diferencias a favor de abril, y entre septiembre y noviembre hay diferencias a favor de septiembre.

Según el anova para los sólidos totales fijos la $p=0.00 < 0.05$ se rechaza H_0 , por lo tanto si hay diferencias significativas. Entre abril y septiembre si hay diferencias significativas a favor de abril, entre abril y noviembre no hay diferencias significativas y entre septiembre noviembre si hay diferencias significativas a favor de septiembre.

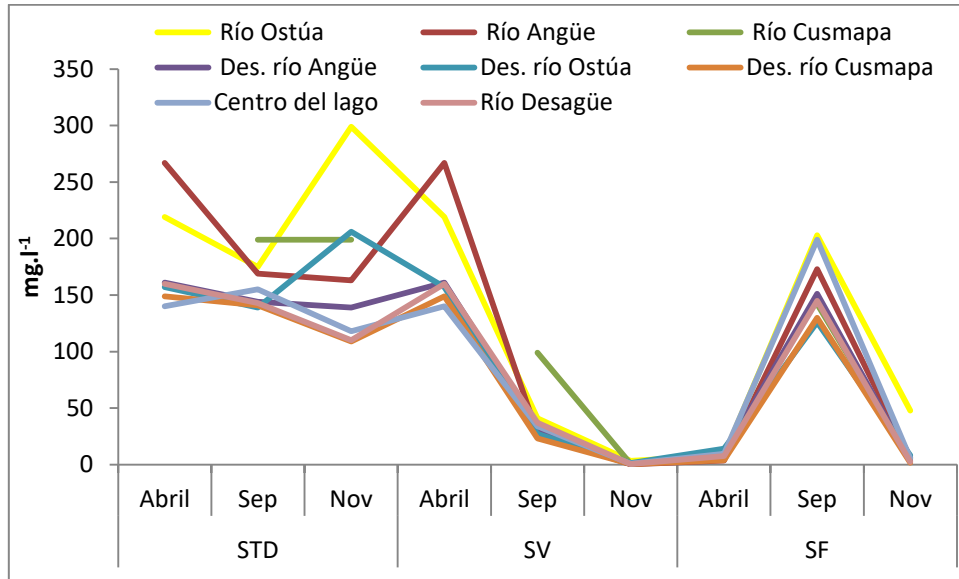
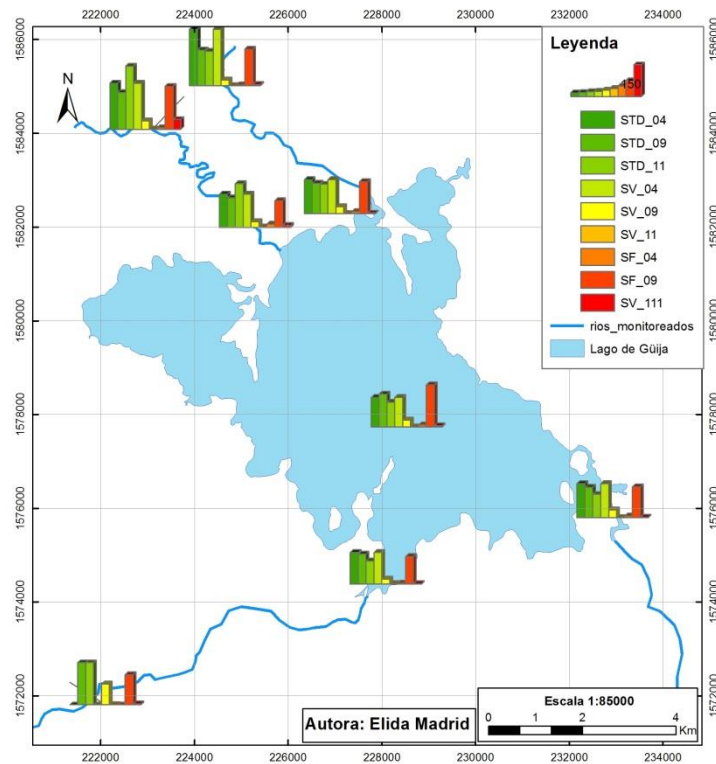


Gráfico 11. Comportamiento de los Solidos Disueltos Totales, Solidos Volátiles, Solidos Fijos en los meses de abril, septiembre y noviembre del año 2013.



Mapa 8. Distribución espacial de los STD, SV y SF en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013

PREPAC 2006 encontró que la distribución espacial presenta una mayor concentración en el área noreste del lago, sugiriendo que el efecto de estas concentraciones se debe al aporte de los tributarios localizados en el lugar –ríos Ostúa y Angue. Los resultados en la presente investigación tienen la misma tendencia, se encontraron resultados más altos en los ríos, disminuyendo en las desembocaduras y así en la zona sur del lago. Sin embargo al comparar los resultados en el 2006 se obtuvo un promedio 1232mg.l^{-1} en 6 meses de monitoreo, los valores obtenidos en esta investigación son inferiores a los encontrados por el PREPAC con un promedio de 167mg.l^{-1} .

En el río Angue (Chávez et al,2012) encontró un promedio de 421mg.l^{-1} de sólidos totales en el 2013 en la presente investigación para el río Angue en los tres muestreos se obtuvo un promedio de 200mg.l^{-1} mucho más inferior a los datos obtenidos un año antes.

El río Ostúa en el mismo estudio antes mencionado se obtuvo un promedio de $544,2\text{mg.l}^{-1}$ en el 2013 se obtuvo un promedio de 231mg.l^{-1} al igual que el río Angue se obtuvieron valores mucho menores comparados con el año anterior.

10.1.2.7 Composición Hidroquímica del agua

10.1.2.7.1 Calidad físico-química

Aniones y Cationes

Las concentraciones de Sodio, Calcio, Potasio, Magnesio y Cloruros se mantienen relativamente constantes en las diferentes épocas muestreadas. Sin embargo el Sodio en el Río Ostúa en el mes de abril y el Magnesio en el mes de noviembre en la Desembocadura del Río Ostúa registran variaciones significativas con respecto a los resultados obtenidos en el resto de puntos los cuales son similares. (ver anexo 1,2 y 3).

El Sodio presenta las concentraciones más altas en las tres épocas en la mayoría de los puntos a excepción de la desembocadura del río Ostúa donde el Magnesio presenta la mayor concentración. Según Roldán altas concentraciones de sodio crean una barrera osmótica para la mayoría de los organismos.

Con relación a las normas CAPRE ninguno de los cationes se encuentra sobre los límites admisibles establecidos para el agua de consumo humano.

10.1.2.8 Tipo Hidroquímico del agua

Para la determinación del tipo Hidroquímico del agua se hizo a través de la elaboración de Diagramas de Piper correspondientes a cada ciclo de muestreo y no se encontraron variaciones significativas en los resultados obtenidos.

De acuerdo al diagrama de Piper se determinó que el tipo hidroquímico del agua para el mes de abril en los 7 puntos muestreados es bicarbonatada cálcica. Los iones predominantes fueron el bicarbonato (HCO_3^-), el calcio (Ca) y el sodio (Na). Este tipo de agua está relacionado con el tipo de litología de la zona, su composición química, el tiempo y la distancia recorrida por el agua analizada. Por lo general las aguas bicarbonatadas cálcicas son aptas para todo uso (Caballero, 2007).

Los resultados tienen relación con la dureza total de las aguas las cuyos valores oscilaron $47,5 \text{ mg.l}^{-1}$ y $158,38 \text{ mg.l}^{-1}$ los cuales de conformidad con las normas CAPRE no exceden las normas de calidad del agua para consumo humano.

Desde el punto de vista Hidroquímico las aguas son de tipo bicarbonatadas - cálcicas están relacionadas con aguas de zonas de recarga, que son aguas relativamente jóvenes con poco tiempo de permanencia en el subsuelo y en su mayoría puede ser de origen meteórico, tomando en cuenta los resultados del gráfico, son consideradas como aguas de buena calidad natural. (Altamirano 2007).

La calidad de las aguas bicarbonatadas para uso potable no presenta problemas de toxicidad en cuanto a su composición química, aunque esto no es determinante para valorar su calidad para consumo humano, químicamente, hay que tomar en cuenta los resultados de otros parámetros.

El comportamiento hidroquímico del agua fue similar durante los tres muestreos no se observaron variaciones en los tipos de agua en todos los sitios muestreados, como se puede observar en los siguientes gráficos.

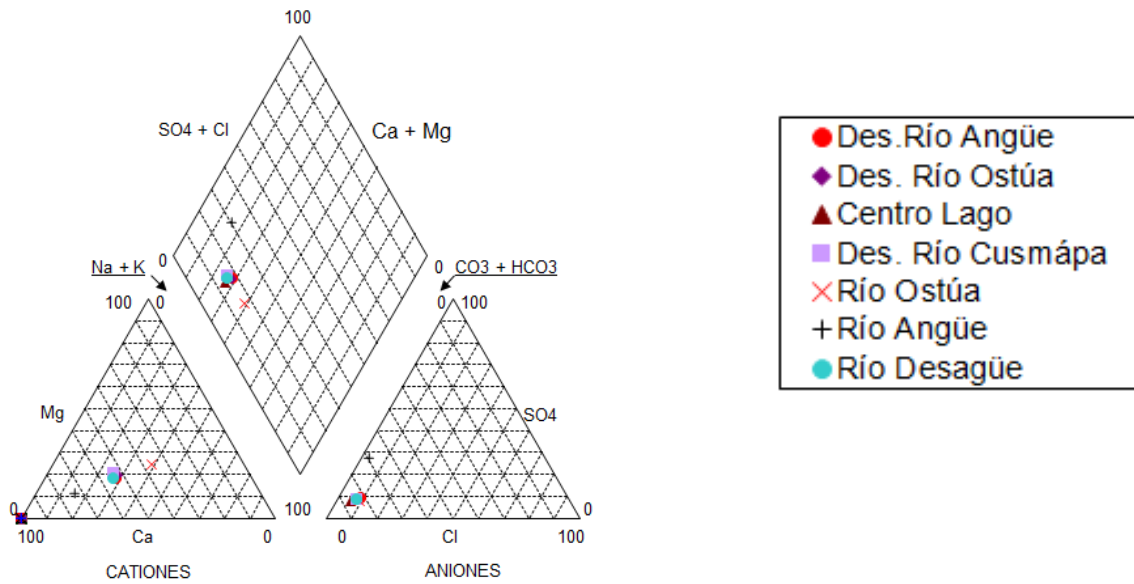


Figura 12 Diagrama de Piper tipo Hidroquímica HCO₃-Ca del lago de Güija y sus ríos afluentes y efluente en el mes de abril 2013.

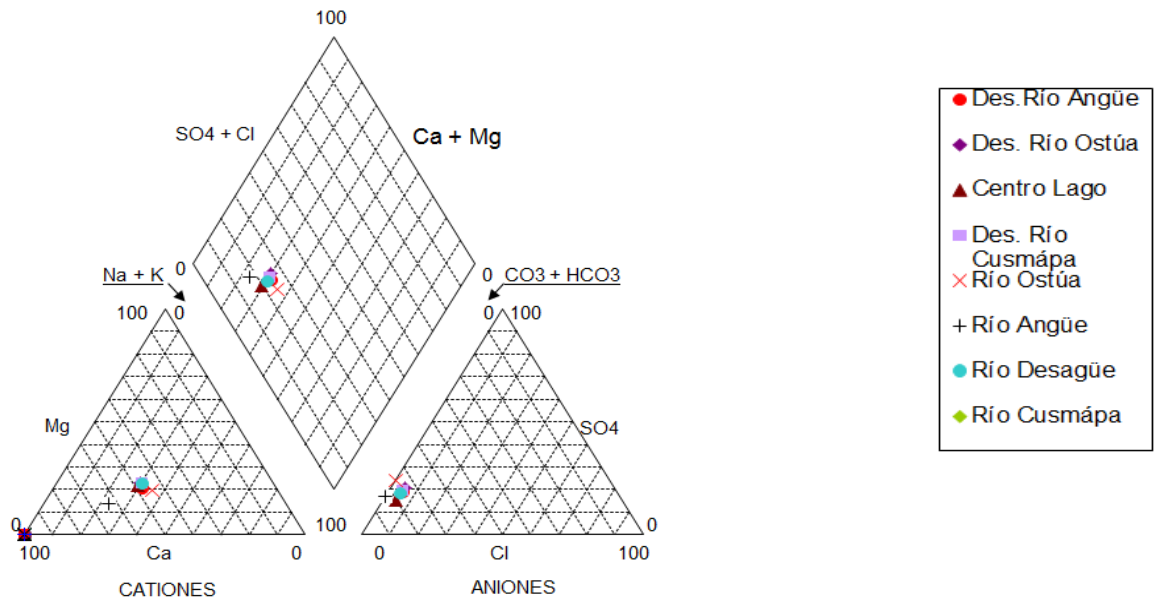


Figura 13 Diagrama de Piper tipo Hidroquímica HCO₃-Ca del lago de Güija y sus ríos afluentes y efluente en el mes de septiembre 2013.

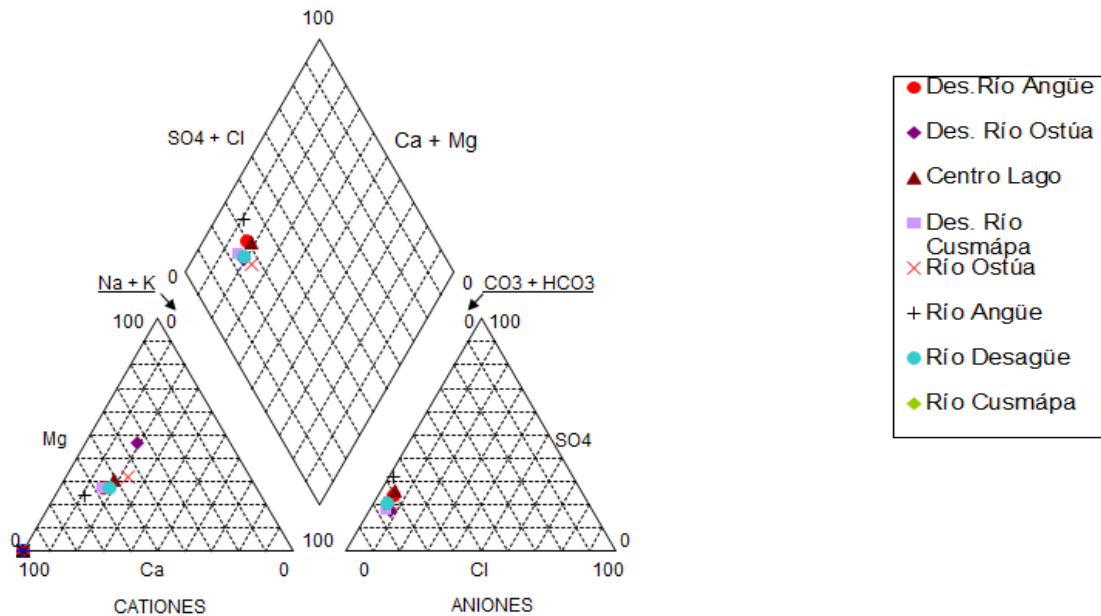


Figura 14 Diagrama de Piper tipo Hidroquímica HCO₃-Ca del lago de Güija y sus ríos afluentes y efluente en el mes de noviembre 2013.

10.1.2.9 Calidad del agua para riego

La clasificación del agua para riego según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos se basa en dos criterios los cuales son la conductividad eléctrica y la relación de absorción de Sodio a través del índice RAS (Relación de Absorción del Sodio).

La clasificación del Laboratorio de Salinidad de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, se basa en las siguientes características: (Custodio & Llamas, 2001)

- 1) La concentración total de sales solubles expresada mediante la conductividad eléctrica en $\mu\text{S}\cdot\text{cm}$ a $25\text{ }^\circ\text{C}$.
- 2) La concertación relativa del sodio con respecto al calcio y magnesio, denominada índice RAS, es la siguiente:

$$\text{RAS} = [\text{Na}^+] / \{[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] / 2\}^{1/2}$$

Las concentraciones de sodio, calcio y magnesio se expresan en términos de mili equivalentes por litro.

Como se contempla en las siguientes tablas para los tres muestreos la clasificación fue la misma en todos los puntos en donde predominan las aguas de tipo **C2-S1**. Las cuales son aguas de buena calidad aptas para el riego.

C2: Agua de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad.

S1: Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo puede presentar problemas para cultivos muy sensibles al sodio (Caballero, 2007).

Tabla 5. Clasificación del agua superficial del lago de Güija y sus ríos afluentes y efluente para el mes de abril 2013

Sitio de muestreo	Calcio	Magnesio	Sodio	RAS	Conduc-tividad	Clasificación	Aptitud para el riego
Pto 1. Des. río Angue	26,85	5,59	16,45	0,507	250	C2-S1	BCAPR*
Pto 2. Des. río Ostúa	28,06	6,08	17,6	0,516	260	C2-S1	BCAPR*
Pto 3. Centro del lago	26,05	5,59	15,1	0,477	240	C2-S1	BCAPR*
Pto 4. Des. río Cusmápa	26,05	6,08	14,6	0,454	238	C2-S1	BCAPR*
Pto 5. Río Ostúa	32	12,88	40,2	0,896	433	C2-S1	BCAPR*
Pto 6. Río Angue	54,51	5,1	13,8	0,232	378	C2-S1	BCAPR*
Pto 7. Río Desagüe	26,45	5,35	14,8	0,465	240	C2-S1	BCAPR*

*BCAPR Buena Calidad Apta para el riego

Tabla 6. Clasificación del agua superficial del lago de Güija y sus ríos afluentes y efluente para el mes de Septiembre 2013

Sitio de muestreo	Calcio	Magnesio	Sodio	RAS	Conduc-tividad	Clasificación	Aptitud para el riego
Pto 1. Des. río Angue	21,08	5,51	15,7	0,590	189,1	C2-S1	BCAPR*
Pto 2. Des. río Ostúa	20,23	6,01	14,8	0,564	181,9	C2-S1	BCAPR*
Pto 3. Centro del lago	21,88	6,01	15,2	0,545	195,3	C2-S1	BCAPR*
Pto 4. Des. río Cusmapa	21,88	6,51	16,2	0,571	202	C2-S1	BCAPR*
Pto 5. Río Ostúa	13,23	3,52	12,2	0,728	130,2	C2-S1	BCAPR*
Pto 6. Río Angue	24,05	3,16	10	0,368	165,6	C2-S1	BCAPR*
Pto 7. Río Desagüe	21,88	6,51	16,2	0,571	203	C2-S1	BCAPR*
Pto 8. Río Cusmapa	16,03	4,74	13,4	0,645	152,9	C2-S1	BCAPR*

*BCAPR Buena Calidad Apta para el riego

Tabla 7. Clasificación del agua superficial del lago de Güija y sus ríos afluentes y efluente para el mes de Septiembre 2013

Sitio de muestreo	Calcio	Magnesio	Sodio	RAS	Conduc-tividad	Clasificación	Aptitud para el riego
Pto 1. Des. río Angue	25,89	7,59	8,66	0,259	196,6	C2-S1	BCAPR*
Pto 2. Des. río Ostúa	26,73	22,28	17,53	0,358	293	C2-S1	BCAPR*
Pto 3. Centro del lago	20,88	7,6	8,81	0,309	181,4	C2-S1	BCAPR*
Pto 4. Des.río Cusmapa	30,07	8,61	9,37	0,242	202	C2-S1	BCAPR*
Pto 5. Río Ostúa	29,23	12,66	17,43	0,416	297	C2-S1	BCAPR*
Pto 6. Río Angue	36,75	8,1	7,02	0,157	234	C2-S1	BCAPR*
Pto 7. Río Desagüe	23,39	7,1	9,21	0,302	190	C2-S1	BCAPR*
Pto 8. Río Cusmapa	32,58	7,59	16,9	0,421	267	C2-S1	BCAPR*

*BCAPR Buena Calidad Apta para el riego

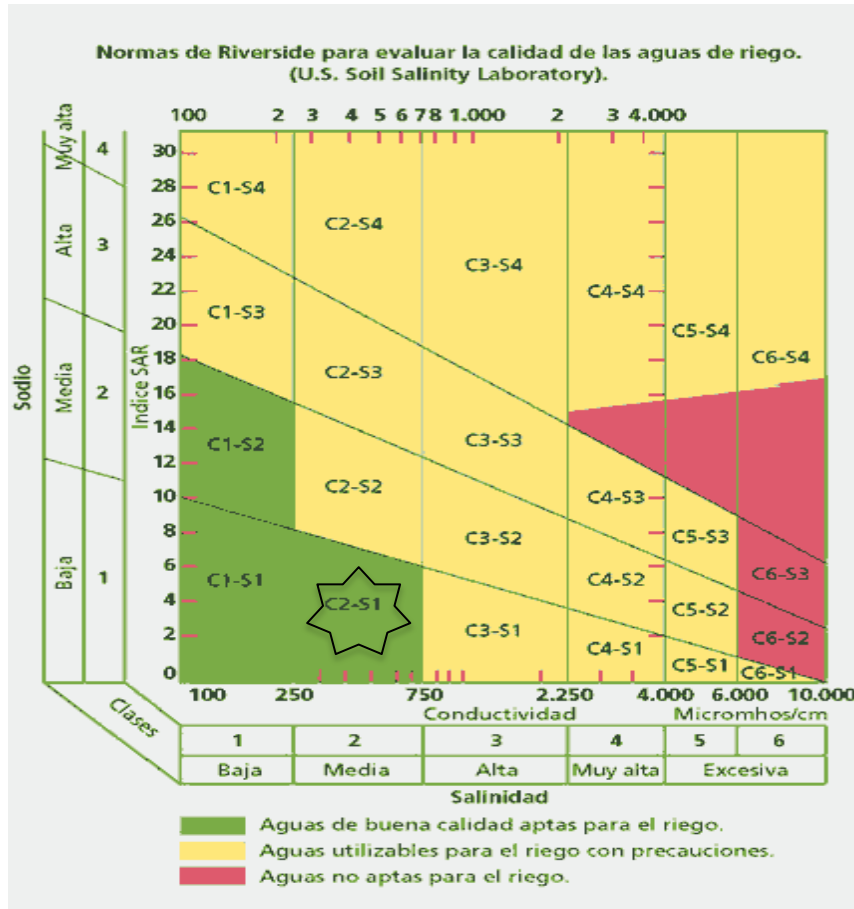


Figura 15 Diagrama de clasificación de las aguas para riego. Normas de Riverside para evaluar la calidad del agua de riego (U.S SoilSalinityLaboratory), 1973.

10.1.2.10 Boro

Para conocer la calidad del agua para el riego es importante también conocer las concentraciones de boro, ya que este es un microelemento esencial requerido por las plantas en pequeñas cantidades pero si se encuentra por encima de 2mg.l^{-1} puede ser toxico para las plantas.

Según las normas canadienses para irrigación el agua no debe de sobre pasar los 0.5mg.l^{-1} pero se permite hasta 6mg.l^{-1} en los casos de cultivos tolerantes al boro.

Según los resultados obtenidos en un muestreo extraordinario en el mes de mayo 2014 según recomendó la comisión de investigación de la maestría se obtuvo que

los rangos de boro en el lago de Güija varía $0,03 \text{ mg.l}^{-1}$ en el río desagüe a $0,11 \text{ mg.l}^{-1}$ en la desembocadura del río Cusmapa.

En base a los resultados obtenidos se asegura que el agua del lago de Güija es de buena calidad para el riego dado a que los niveles de Boro son bajos inferiores a $0,11 \mu\text{g.l}^{-1}$.

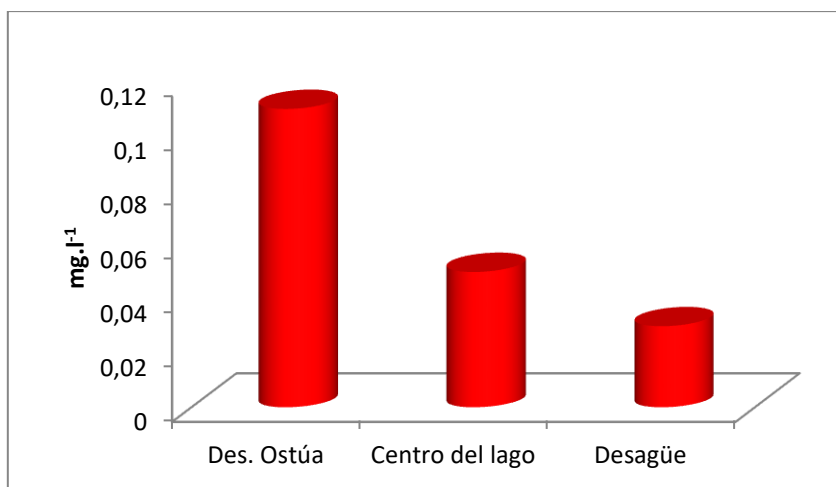
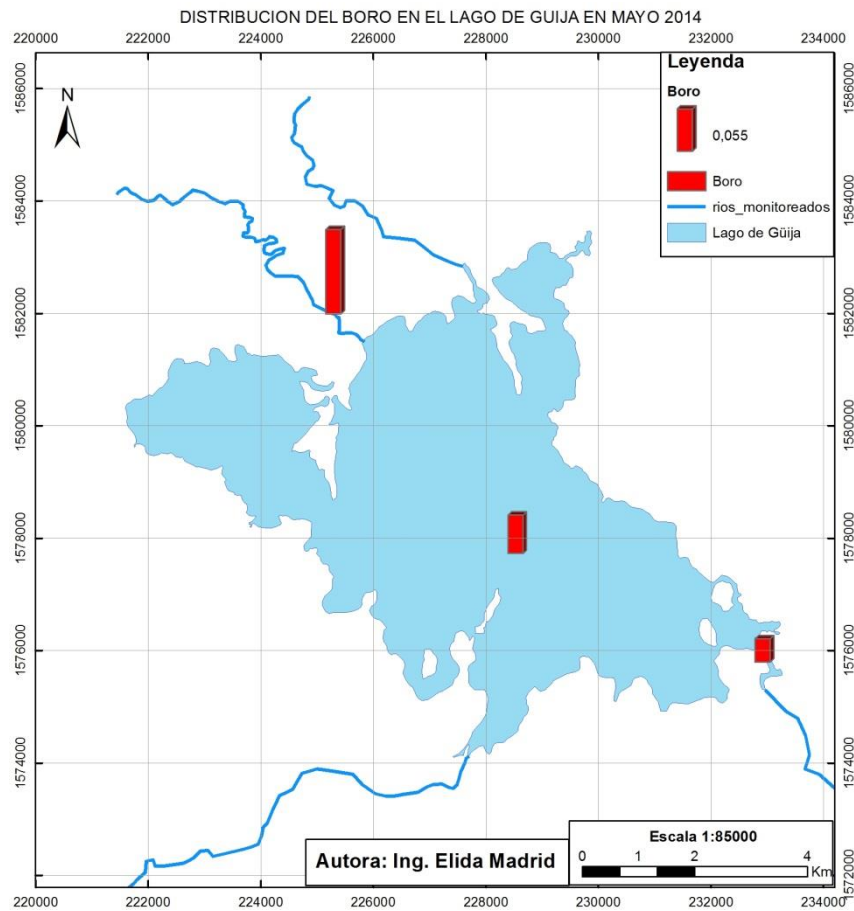


Gráfico12. Concentraciones de Boro correspondientes al mes de mayo 2014

En el mapa 9 se aprecia claramente como el boro es más alto en la desembocadura del río Ostúa y disminuye conforme se acerca al Desagüe, sin embargo los niveles de boro encontrado no se encuentran sobre los límites permisibles para la irrigación.

Estos resultados de Boro son similares a los resultados obtenidos de Mercurio disuelto el cual tuvo concentraciones más altas en la desembocadura de río Ostúa, disminuyeron en el centro y fueron mucho menores en el Desagüe , lo cual indica que pueden estar relacionados.



Mapa 9. Distribución espacial del Boro en el mes de mayo 2014 en el lago de Güija

El boro no había sido estudiado en la zona anteriormente por lo cual no se cuenta con antecedentes de este parámetro tanto para los ríos como para el lago de Güija.

10.1.2.10 Nutrientes

10.1.2.10.1 Nitrógeno

El nitrógeno puede presentarse en los ambientes acuáticos principalmente en las siguientes formas: nitrito, nitrato y amonio, estos constituyen la fuente principal para los organismos residentes del medio. Según las normas CAPRE los límites establecidos para nitritos NO_2 son $0,06 \text{ mg.l}^{-1}$ y amonio $1,37 \text{ mg.l}^{-1}$ para nitrato NO_3 es de $3,0 \text{ mg.l}^{-1}$, las canadienses no lo tienen regulado.

Durante la época seca, en el mes de abril 2013 la concentración más alta de nitrito se encontró en el río Ostúa con un valor de $0,053 \text{ mg.l}^{-1}$ este sitio se encontró muy cerca del límite el cual es $0,06 \text{ mg.l}^{-1}$, el resto de las concentraciones varió de $0,003$ a $0,01$ en el río Desagüe.

El nitrato en el muestreo de abril al igual que el nitrito tuvo su mayor concentración en el río Ostúa con $1,82 \text{ mg.l}^{-1}$. Los otros tres sitios donde se obtuvieron valores estos variaron de $1,8 \text{ mg.l}^{-1}$ a $0,84 \text{ mg.l}^{-1}$, también hubieron sitios en los cuales los resultados fueron menores al límite de detección estos puntos fueron las desembocaduras de los ríos Angue y Cusmapa así como el Desagüe. Para este mes con relación al nitrato todos los sitios cumplen con las normas CAPRE.

El amonio tuvo su mayor concentración en el río Ostúa con $0,112 \text{ mg.l}^{-1}$, el resto de puntos monitoreados tienen concentraciones de $0,063 \text{ mg.l}^{-1}$ a $0,005 \text{ mg.l}^{-1}$, ninguno de los sitios monitoreados sobrepasa los límites establecidos por las normas Canadienses para el ion amonio. Según las normas CAPRE el valor máximo admisible para el ion amonio fue de $0,5 \text{ mg.l}^{-1}$ por lo tanto solamente el río Ostúa no cumple con el límite establecido para el consumo humano, el resto de sitios si cumplen con la norma en el mes de abril 2013.

El nitrógeno total se encuentra en una mayor concentración en el río Ostúa con $1,96 \text{ mg.l}^{-1}$, seguido por el río Angue con $1,62 \text{ mg.l}^{-1}$. En general las concentraciones fueron mayores en la época lluviosa comparada con la época seca.

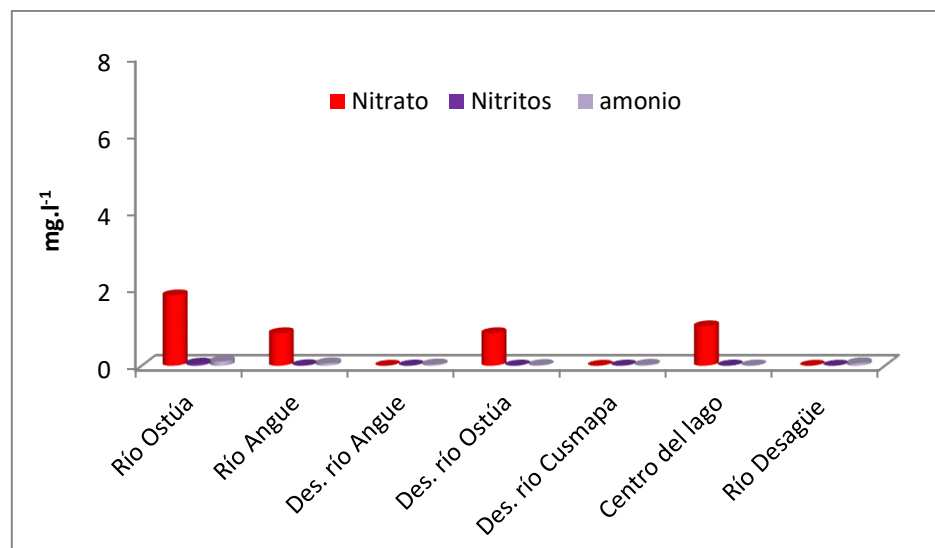


Gráfico13. Comportamiento del amonio, nitrato y nitrito en el mes de abril 2013.

Durante la época lluviosa, en el mes de septiembre 2013 la concentración más alta de nitrito se presentó en el río Angue con $3,01 \text{ mg.l}^{-1}$ seguido por el centro del lago con $0,0638 \text{ mg.l}^{-1}$ sobrepasando ambos sitios los límites establecidos por las normas canadienses, otro sitio que se encontró cerca del límite fue la desembocadura del río Cusmápa con 0.0516 mg.l^{-1} , en el resto de los sitios los valores fueron inferiores a $0,094 \text{ mg.l}^{-1}$.

En el mes de septiembre los nitratos en la gran mayoría de los puntos sobrepasaron los límites establecidos en las normas canadienses con rangos de $6,93 \text{ mg.l}^{-1}$ a $4,84 \text{ mg.l}^{-1}$ los sitios en este rango fueron río Cusmápa, río Angue, desembocadura del Cusmápa, río Ostúa, Centro del lago y desembocadura del río Angue. Los sitios que si cumplen con las normas en este mes fueron la desembocadura del río Cusmápa con $0,21 \text{ mg.l}^{-1}$ y el río Desagüe con $0,20 \text{ mg.l}^{-1}$.

El amonio tuvo su mayor concentración en el Centro del lago con $0,638 \text{ mg.l}^{-1}$, seguido por el centro del lago $0,638 \mu\text{g/litro}$ y el río Cusmápa con $0,516 \text{ mg.l}^{-1}$. Según la norma CAPRE el valor máximo admisible para el amonio es de 0.5 mg.l^{-1} por lo tanto los tres puntos mencionados anteriormente se encuentran por encima de lo recomendado, el resto de puntos monitoreados tienen concentraciones bajas y estos sitios no sobrepasan los límites establecidos por las normas CAPRE para el ion amonio.

El nitrógeno total se encuentra en una mayor concentración en el río Cusmápa con $1,96 \text{ mg.l}^{-1}$, seguido por el río Angue con $1,62 \text{ mg.l}^{-1}$. En general las concentraciones fueron mayores en la época lluviosa comparada con la época seca.

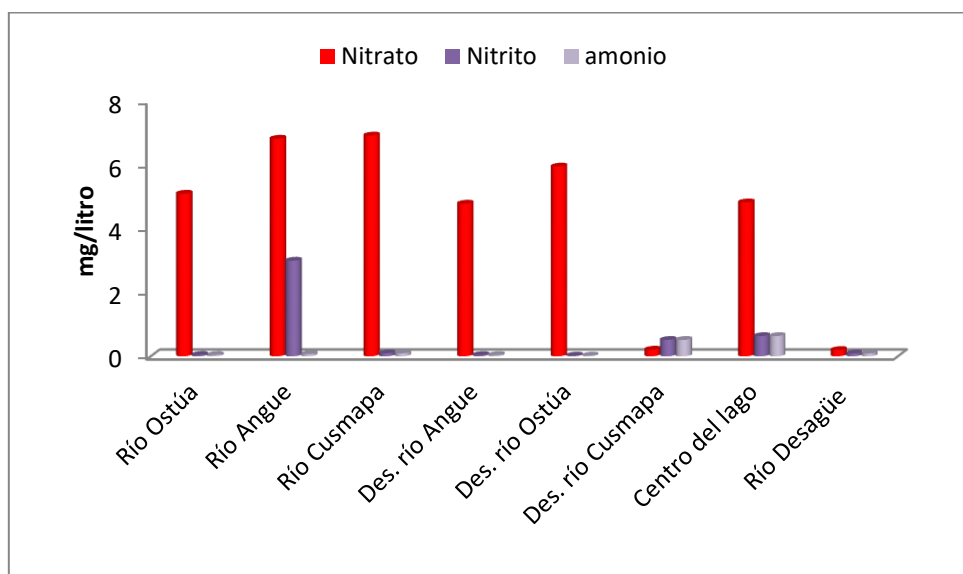


Gráfico14. Comportamiento del amonio, nitrato y nitrito en el mes de septiembre 2013

Durante la salida de la época lluviosa, en el mes de noviembre 2013 la concentración más alta de nitrato se encontró en el río Ostúa con un valor de $3,07 \text{ mg.l}^{-1}$ seguido por la Desembocadura del río Cusmápa con $2,87 \text{ mg.l}^{-1}$, así como el río Cusmápa con $2,21 \text{ mg.l}^{-1}$. Las concentraciones más bajas fueron en el resto de puntos muestreados fueron menor al límite de detección. Según las normas CAPRE el nitrato se encuentra muy por debajo del valor recomendado.

El amonio tuvo su mayor concentración en el Centro del lago con 0,476 mg.l⁻¹, seguido por la Desembocadura del río Angue con 0,152 mg.l⁻¹. Según la norma CAPRE el valor máximo admisible para el amonio es de 0.5 mg.l⁻¹ por lo tanto los puntos monitoreados se encuentran por debajo de los límites establecidos por las normas CAPRE para el ion amonio.

El nitrógeno total se encuentra en una mayor concentración en el Centro del Lago con 2,13 mg.l⁻¹, seguido por el río Ostúa con 1,75 mg.l⁻¹. En general las concentraciones fueron mayores en la época lluviosa comparada con la salida del invierno.

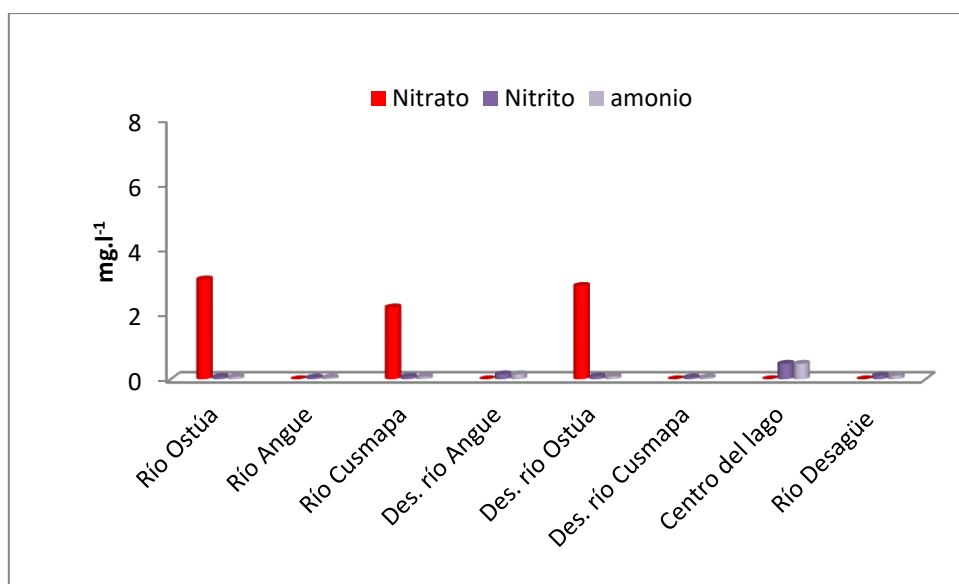


Gráfico15. Comportamiento del amonio y nitrato en el mes de noviembre 2013

En general las concentraciones de nitratos en el tiempo han variado con los años presentándose una mayor concentración en el lago de Güija para abril del 2008. Las concentraciones encontradas en el 2013 son las concentraciones más bajas que se han registrado. Lo cual indica que el lago posiblemente está realizando un proceso de depuración de las aguas ya que en la cuenca de este se desarrollan diversas actividades agrícolas en donde se usan agroquímicos que contienen nitrógeno.

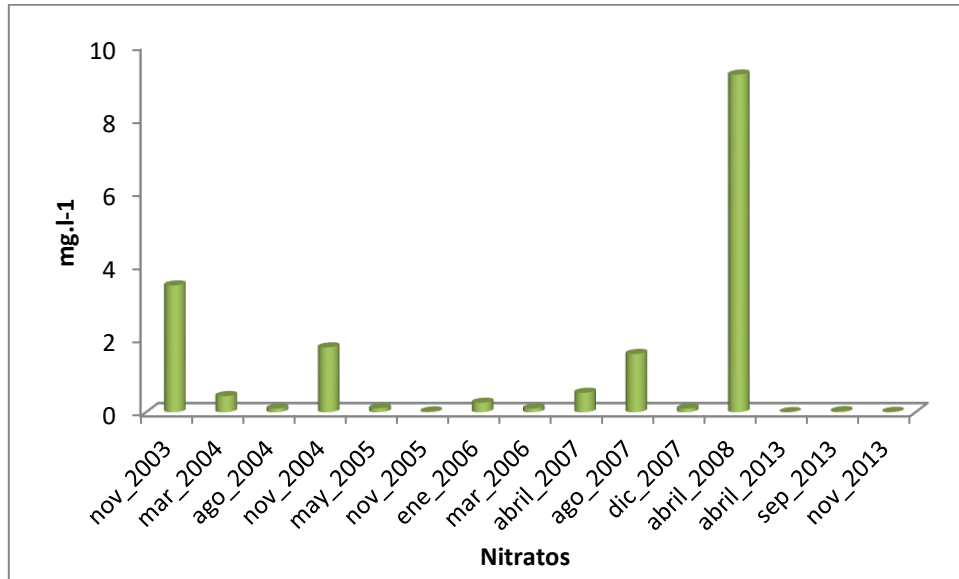
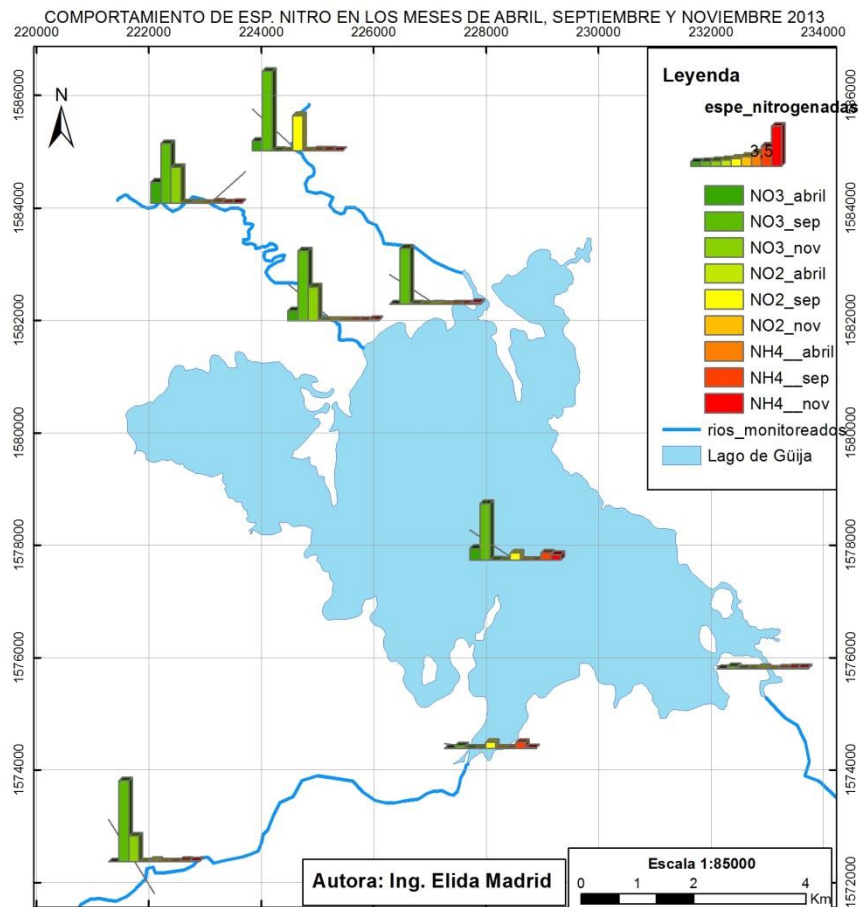


Gráfico16. Comportamiento histórico de los nitratos en el centro lago de Güija (Fuente CEL, 2007).

Según el anova para los nitratos la $p=0.001 < 0.05$ se rechaza H_0 , por lo tanto si hay diferencias significativas en los meses de muestreo. Según los resultados de la prueba Post Hoc las diferencias son: abril presenta diferencias significativas con septiembre a favor de septiembre, abril y noviembre no tienen diferencias significativas y septiembre noviembre si hay diferencias significativas a favor de septiembre lo que significa que las concentraciones más altas de nitrato fueron en el mes de septiembre.

Según el anova para los nitritos la $p=0.340 > 0.05$ se acepta H_0 , por lo tanto no hay diferencias significativas entre los meses de muestreo.

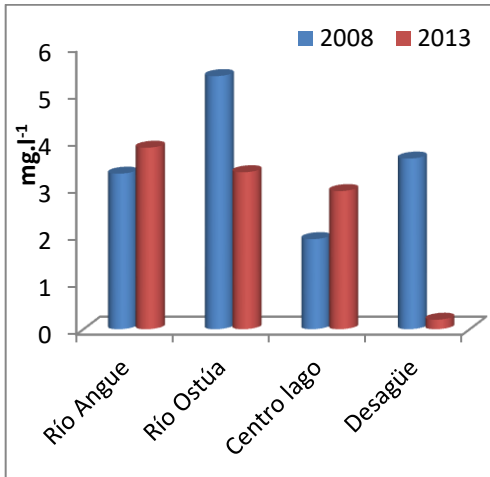
Según el anova para los amonio la $p=0.235 > 0.05$ se acepta H_0 , por lo tanto no hay diferencias significativas entre los meses de muestreo.



Mapa 10. Comportamiento espacial de las especies nitrogenadas en los meses de abril, septiembre y noviembre del 2013

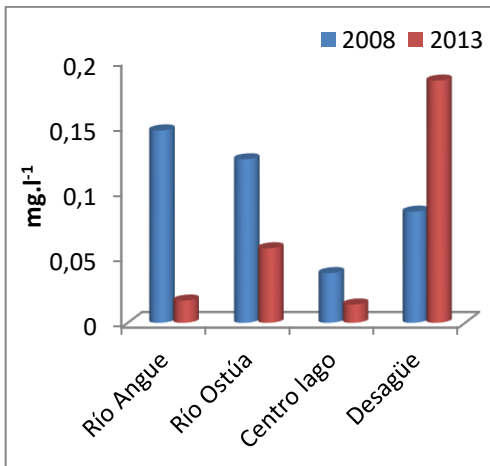
Comparación de resultados de nitratos, nitritos y amonio con los resultados obtenidos por Basterrechea en el 2008 en los ríos Angue, Ostúa desagüe y el centro del lago. Los resultados presentados en los siguientes gráficos son promedios por lo cual su valor es representativo.

La mayoría de los sitios la tendencia es a disminuir las concentraciones, sin embargo hay sitios en los cuales las concentraciones se han incrementado como se puede apreciar en los gráficos siguientes:



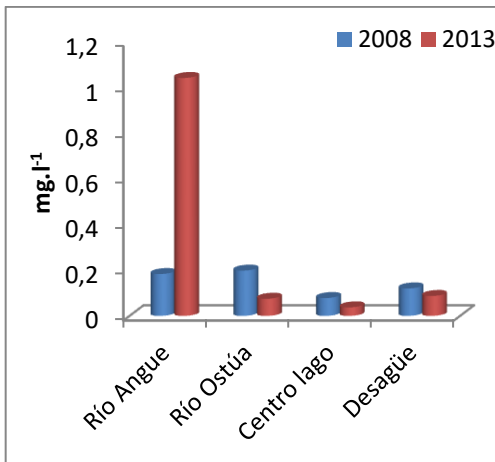
Haciendo una comparación de los nitratos en un periodo de 5 años se puede ver que las concentraciones han disminuido considerablemente en el río Desagüe y el río Ostúa, sin embargo se han incrementado en el centro del lago y en el río Angue, sin duda influido por las actividades antropogénicas de la cuenca.

Gráfico 17. Comportamiento de los nitratos en los años 2008 y 2013



Los nitritos han disminuido considerablemente en el río Angue, también en el río Ostúa y el centro del lago. Sin embargo en el río Desagüe la concentración se ha duplicad. Dado a que la concentración en el centro es baja los resultados del Desagüe muestran el impacto del territorio salvadoreño.

Gráfico 18. Comportamiento de los nitritos en los años 2008 y 2013



En cuanto al amonio las concentraciones han disminuido levemente en los ríos Ostúa y Desagüe así como en el centro del lago, solamente el río Angue presenta una mayor concentración a la registrada en el 2008.

Gráfico 19. Comportamiento del amonio en los años 2008 y 2013.

10.1.2.10.2 Fósforo

Las concentraciones encontradas fueron en generalmente bajas, lo cual se debe a que el fósforo raramente se encuentra en el agua en altas concentraciones debido a que las plantas lo absorben rápidamente y este también tiende a precipitarse en los sedimentos.

Las concentraciones de fosforo variaron de 0,019 mg.l⁻¹ en el río el Desagüe en el mes de abril a 0,373 en el río Ostúa en el mes de septiembre. Las concentraciones más altas se presentaron en el mes de septiembre seguido por noviembre y el menor promedio en el mes de abril.

El fósforo como tal, no se encuentra regulado en las normas salvadoreñas, CAPRE y canadienses por lo que no se han establecidos límites permisibles para la vida acuática como para el consumo humano. El fosforo en normalmente se relaciona con la eutrofización de los cuerpos de agua y se utiliza para establecer el estado trófico juntamente con el ortofosfato.

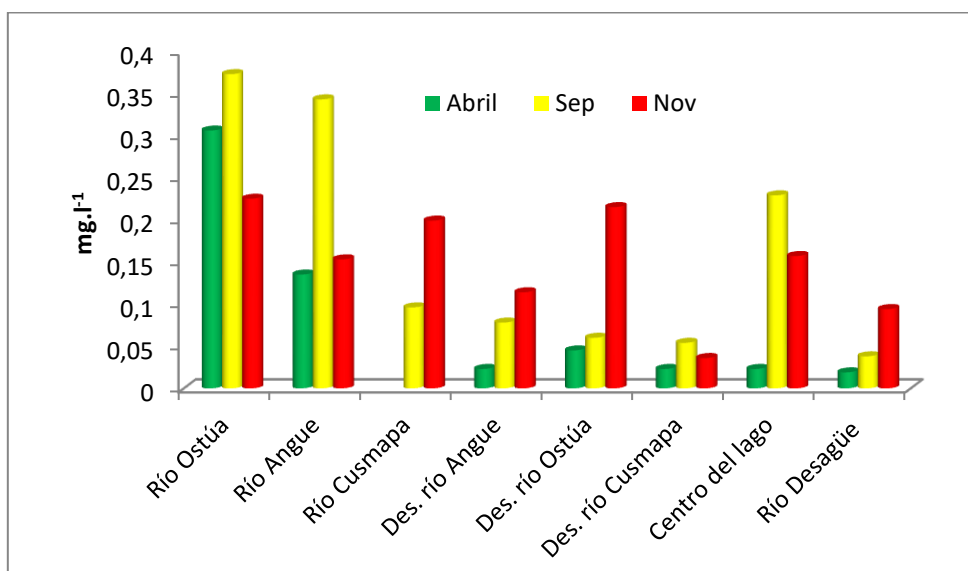
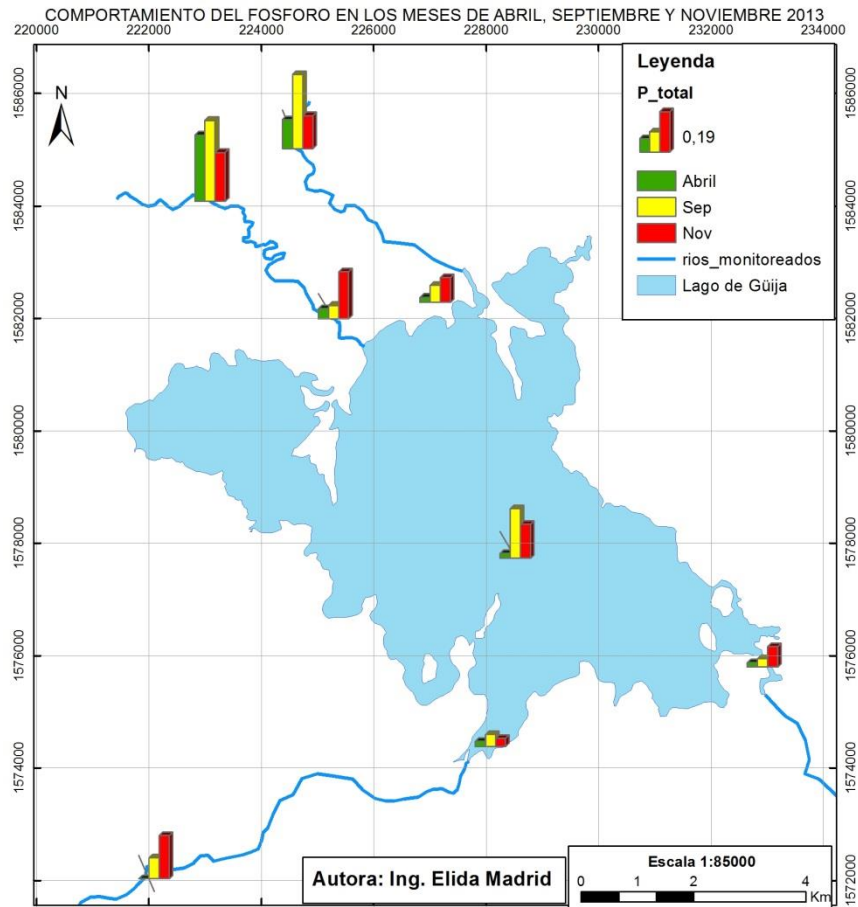
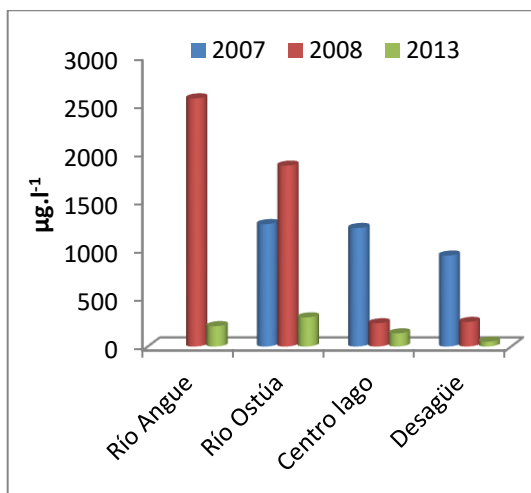


Gráfico20. Comportamiento del Fosforo total en los muestreos realizados en el 2013



Mapa 11. Distribución espacial del Fósforo en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.

Comparación de los resultados con López 2007 y Basterrechea en el 2008



Las concentraciones del fósforo total comparadas con las encontradas en el 2007 y 2008 son más bajas en especial en el río Angue y río Ostúa, en el centro del lago y Desagüe han disminuido levemente. Es posible que el PT en el lago sea menor por la actividad fotosintética y la precipitación.

Gráfico 21. Comportamiento del fósforo total en los años 2008 y 2013.

Según el anova para el fósforo total la $p=0.346 > 0.05$ se acepta H_0 , por lo tanto no hay diferencias significativas entre los meses de muestreo.

Para la concentración del fósforo se obtuvo un promedio para todo el lago de 0.063 mg/l^{-1} , lo cual hay que tomar en consideración, ya que algunos autores (Toledo et al; González A.) establecen que, para lagos en zonas tropicales, valores mayores de 0.052 mg/l^{-1} corresponden a lagos eutróficos, por lo que el lago de Güija podría estar entrando en un proceso de eutrofización (PREPAC, 2006).

10.1.2.10.3 Sodio, Magnesio, Calcio, Potasio y Cloruros

De estos cinco elementos todos se encuentra por debajo de los límites establecidos por las normas CAPRE, solamente el Sodio sobrepasa el límite de establecido para el consumo humano el cual es de $25 \mu\text{g/l}$ en el mes de abril en el río Ostúa con $40,2 \mu\text{g/l}$ (Anexo 1, 2 y 3).

De estos elementos en los el calcio y el sodio son dominantes durante los tres muestreos en la todos los sitios a excepción de la desembocadura del río Ostúa en el mes de noviembre donde el que se encontró en mayores concentraciones fue el magnesio. El elemento que presento concentraciones relativamente altas también fue el magnesio, en menores concentraciones se encontraron los cloruros y el potasio.

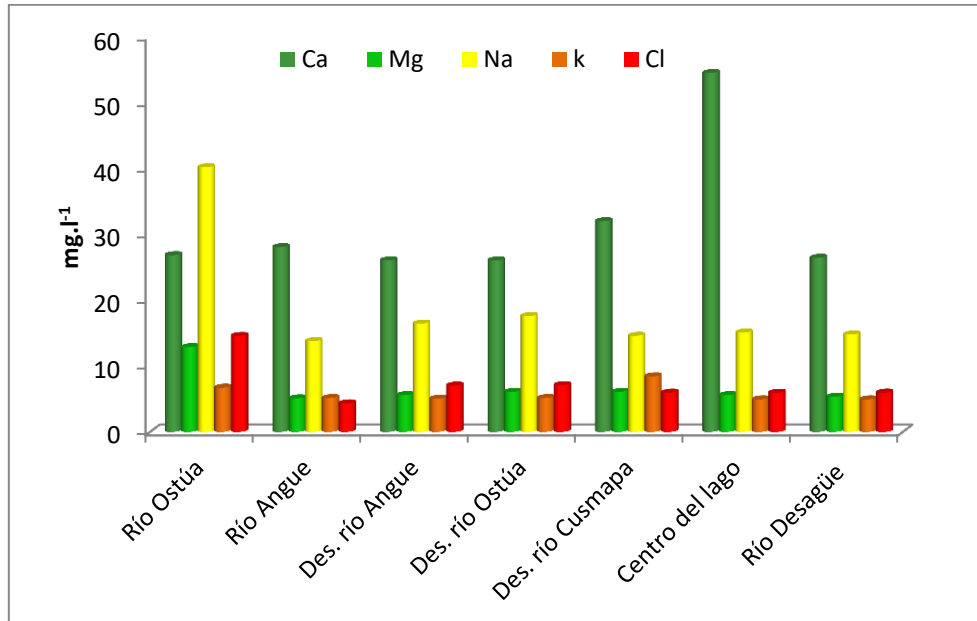


Gráfico22. Comportamiento del magnesio, sodio, potasio y cloruros en el mes de abril 2013.

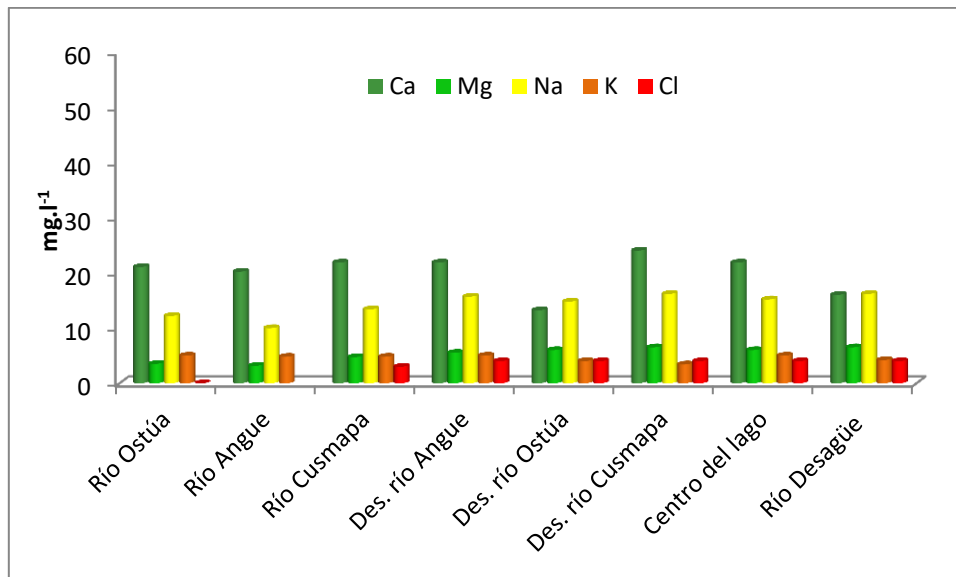


Gráfico23. Comportamiento del magnesio, sodio, potasio y cloruros en el mes de septiembre 2013.

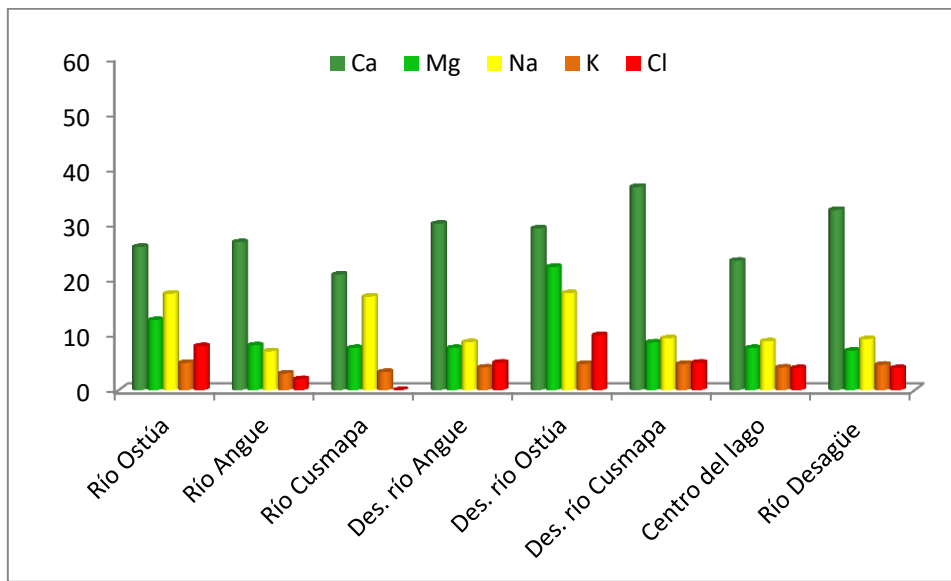


Gráfico24. Comportamiento del magnesio, sodio, potasio y cloruros en el mes de noviembre 2013.

Los promedios de los resultados obtenidos se comparan con los datos históricos obtenidos por la CEL en su estudio “Fortalecimiento del programa de monitoreo de la bioacumulación en los tejidos de los peces 2003-2008”.

En el gráfico 25 se presenta el comportamiento histórico de estos cuatro elementos para el centro del lago de Güija. Se puede apreciar que las concentraciones se han mantenido bajas especialmente para magnesio y cloruros. Los que presentan mayores concentraciones son el calcio que alcanza un máximo de $118,5\text{mg.l}^{-1}$ en abril del 2008 y un mínimo de $20,88\text{ mg.l}^{-1}$ en noviembre del 2013.

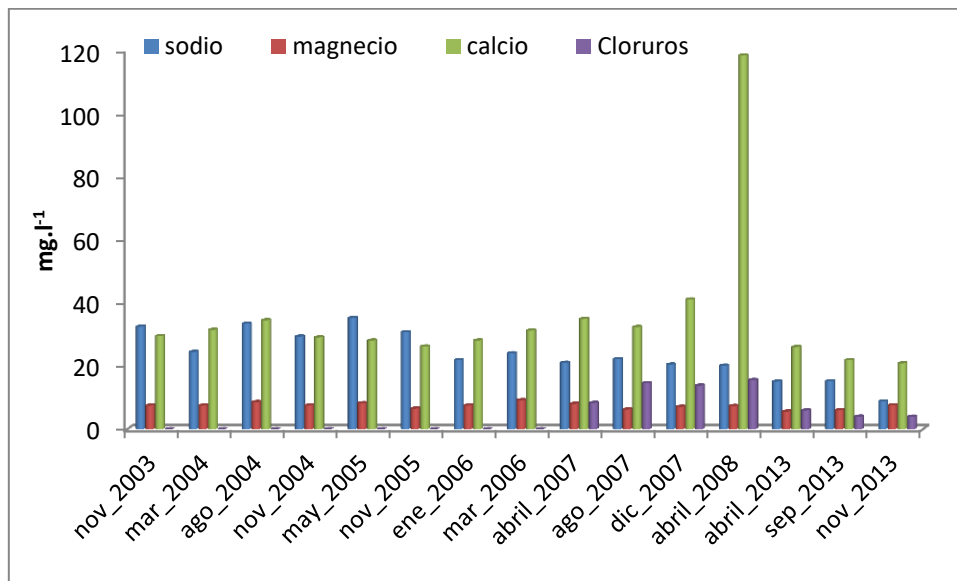


Gráfico25. Comportamiento histórico del Sodio, Magnesio, Calcio y Cloruros en el centro del lago de Güija.

Según el anova para el calcio la $p=0.011 < 0.05$ se rechaza H_0 , por lo tanto si hay diferencias significativas en los meses de muestreo. Según los resultados de la prueba Post Hoc las diferencias son: abril presenta diferencias significativas con septiembre a favor de abril, abril y noviembre no tienen diferencias significativas y septiembre noviembre si hay diferencias significativas a favor de septiembre lo que significa que las concentraciones más altas de calcio fueron en los meses de abril y septiembre.

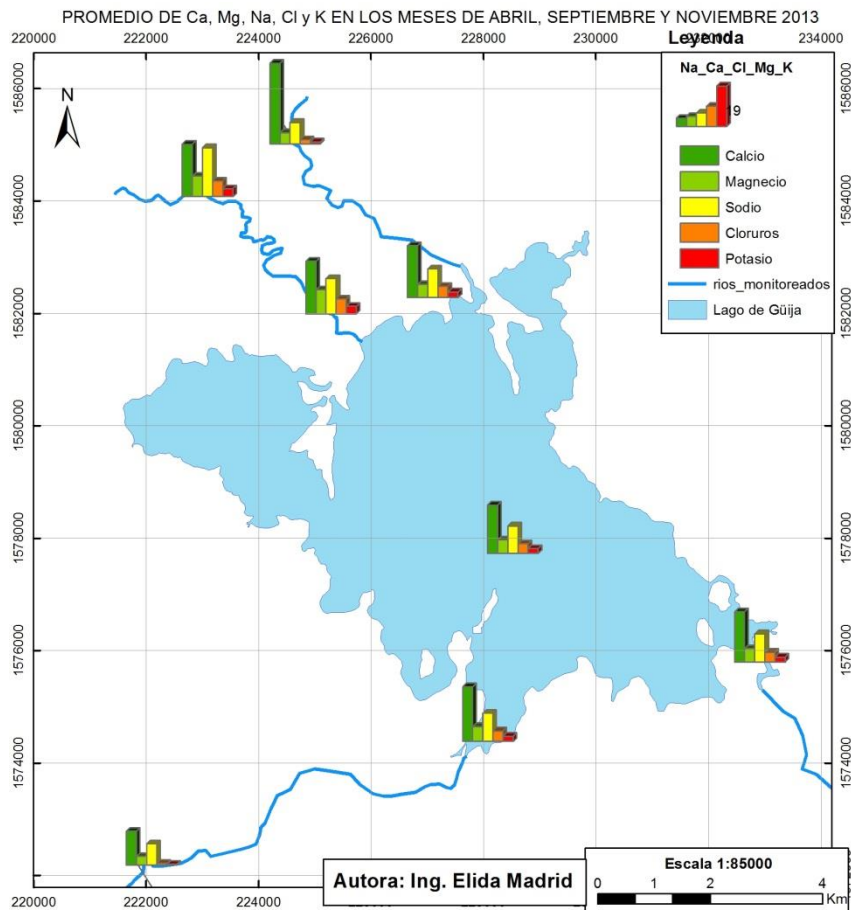
Según el anova para el magnesio la $p=0.030 < 0.05$ se rechaza H_0 , por lo tanto si hay diferencias significativas en los meses de muestreo. Según los resultados de la prueba Post Hoc las diferencias son: abril no presenta diferencias significativas, abril y noviembre no tienen diferencias significativas y septiembre noviembre si hay diferencias significativas a favor de septiembre lo que significa que la concentración más alta de calcio fueron en el mes septiembre.

Según el anova para el sodio la $p=0.094 > 0.05$ se acepta H_0 , por lo tanto no hay diferencias significativas entre los meses de muestreo.

Según el anova para el potasio la $p=0.008 < 0.05$ se rechaza H_0 , por lo tanto si hay diferencias significativas en los meses de muestreo. Según los resultados de la prueba Post Hoc las diferencias son: abril si presenta diferencias significativas a favor de abril, abril y noviembre si presenta diferencias significativas a favor de abril y septiembre noviembre no presenta diferencias significativas. Las concentraciones más altas de potasio se encontraron en el mes de abril 2013.

Según el anova para los cloruros la $p=0.023 < 0.05$ se rechaza H_0 , por lo tanto si hay diferencias significativas en los meses de muestreo. Según los resultados de la prueba Post Hoc las diferencias son: abril si presenta diferencias significativas a favor de abril, abril y noviembre no presenta diferencias significativas y septiembre noviembre no presenta diferencias significativas. Las concentraciones más altas de cloruros se encontraron en el mes de abril 2013.

Calidad del agua y estado trófico en el lago de Güija y sus ríos afluentes y efluentes para un programa de monitoreo



Mapa 12. Valores promedio del comportamiento del Ca, Mg, Na y Cl en el lago de Güija y los ríos Angue, Ostúa, Cusmapa y Desagüe en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.

10.1.2.10.4 Demanda Química de Oxígeno

La DQO es un parámetro analítico de contaminación que mide el contenido de materia orgánica en una muestra de agua mediante la oxidación química. Durante la determinación de la DQO la materia orgánica se convierte en dióxido de carbono y agua, sin importar tan asimilable biológicamente sea la sustancia. (Roldan 2008).

Según el gráfico26 podemos ver que la DQO fue mayor en el mes de septiembre que en el mes de noviembre, ya que en septiembre se encuentra un mayor contenido de materia orgánica en el agua, esto también de acuerdo con los sólidos totales encontrada que también son mayores en el mes de septiembre.

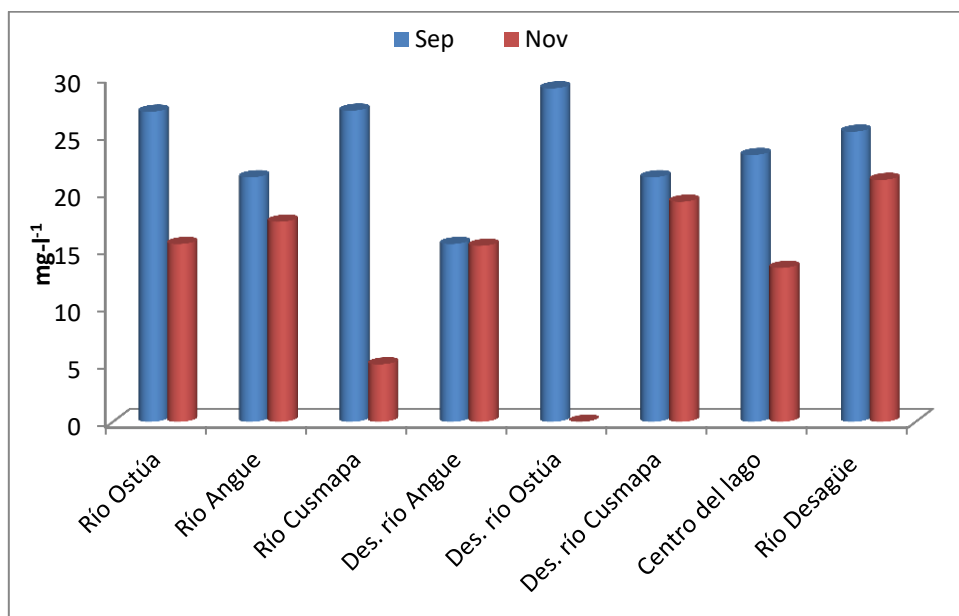


Gráfico26. Comportamiento de la demanda química del oxígeno en los meses de septiembre y noviembre del 2013

Basterrechea (2008) menciona que los valores de la DQO son mayores en los ríos más caudalosos como el Angue y el Ostúa. En el presente estudio los valores más altos se encontraron en el río Desagüe, seguidos por el río Ostúa, Angue y centro del lago. Las concentraciones en el río Angue son menores a las encontradas en el 2008, en cambio en los ríos Desagüe y Ostúa las concentraciones promedio son

más altas, el centro del lago sin embargo son similares a las encontradas en el 2008.

Otro estudio publicado en el 2008 (Chávez & Martínez) reportaron valores de DQO en los ríos Angue y Ostúa, los cuales comparados con los resultados de Basterrechea y esta investigación son mayores en el río Ostúa y medios en el río Angue.

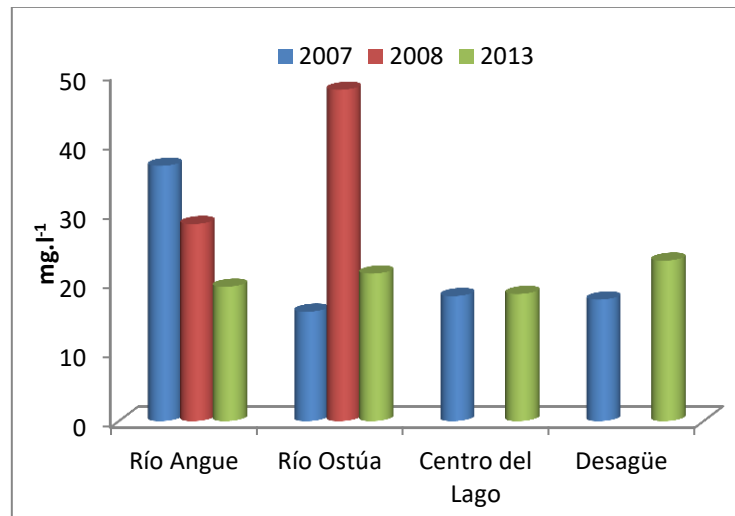
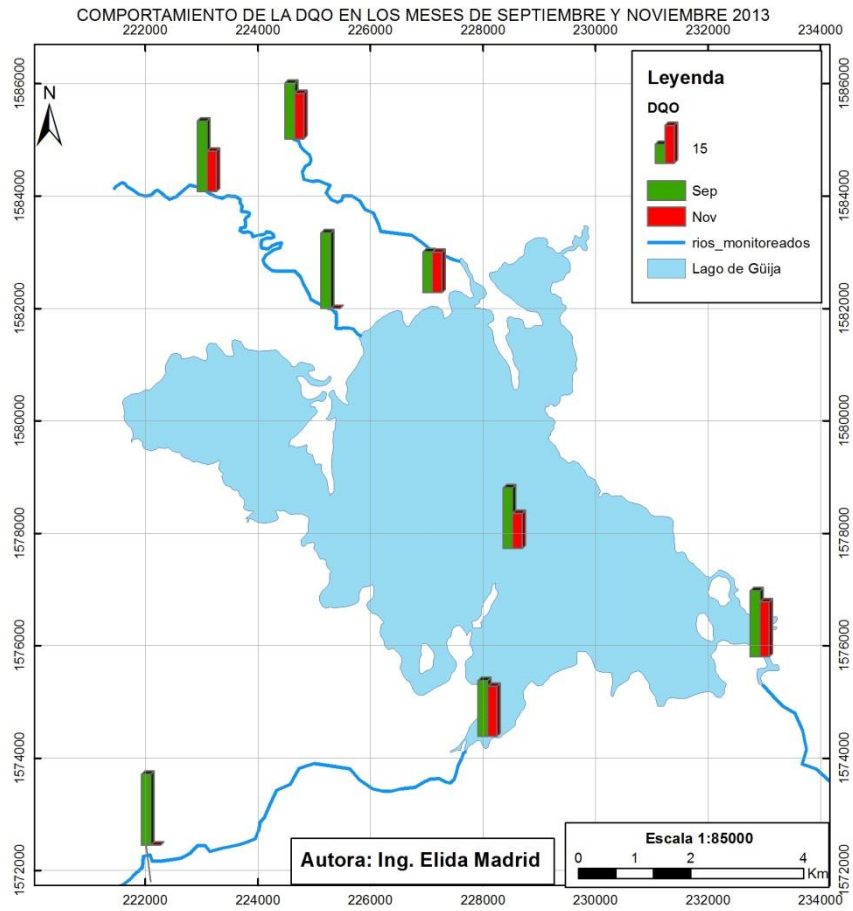


Gráfico 27. Comparación de la DQO con resultados promedios de Basterrechea 2008

Para el análisis estadístico de la DQO se realizó la prueba de Levene para la igualdad de las varianzas, con la prueba antes mencionada se obtuvo una $p=0.164$ por lo tanto se asume que las varianzas son iguales.

Calidad del agua y estado trófico en el lago de Güija y sus ríos afluentes y efluentes para un programa de monitoreo



Mapa 13. Distribución espacial de la Demanda Química de Oxígeno en los meses de septiembre y noviembre 2013.

10.1.2.11. Indicadores Biológicos

10.1.2.11.1 Indicadores bacteriológicos

Roldan menciona que otras bacterias pueden permanecer vivas en el agua solo por un tiempo limitado, como sucede con las procedentes del intestino del hombre y los animales (Roldán, 2008). En este estudio se realizaron tres análisis bacteriológicos los cuales fueron Coliformes Totales, Coliformes Fecales y *Escherichia coli*.

Según información personal con el señor Nahúm Gonzalez¹ unas 25 familias se abastecen de agua para consumo del lago y los pescadores a la hora de realizar sus faenas también suelen tomar agua del lago. Las normas canadienses no establecen parámetros para la agricultura de coliformes totales y fecales ni para la vida acuática. En este caso el agua que es usada para el consumo humano, debería de tener cero coliformes totales, fecales y *E. coli* según las normas CAPRE y las salvadoreñas.

En el mes de abril los puntos con mayores niveles de contaminación microbiológica fueron los ríos Angue y Ostúa y curiosamente el punto con mejor calidad microbiológica fue la desembocadura del río Cusmapa. Según este parámetro el agua de la desembocadura del río Cusmapa sería apta para el consumo humano ya que tiene menos de <1,8 NMP/100ml de colonias tanto fecales como totales y *E. coli*. La razón posible por la cual la desembocadura río Cusmapa no presenta coliformes es porque no hay aporte de agua dado a que se seca en el verano.

¹Unidad ambiental de la Alcaldía de Metapán, Santa Ana, El Salvador.

La *E. coli* puede producir diarreas, náuseas, dolor abdominal, vómitos y fiebre, por lo tanto es de las más importantes a contabilizar en una muestra de agua. Sin embargo el organismo de las personas al estar expuestos a bajas concentraciones puede irse adaptando y no presentar los síntomas antes descritos. Las colonias de *E. coli* en el centro del lago son mínimas al igual que en la desembocadura del río Cusmapa.

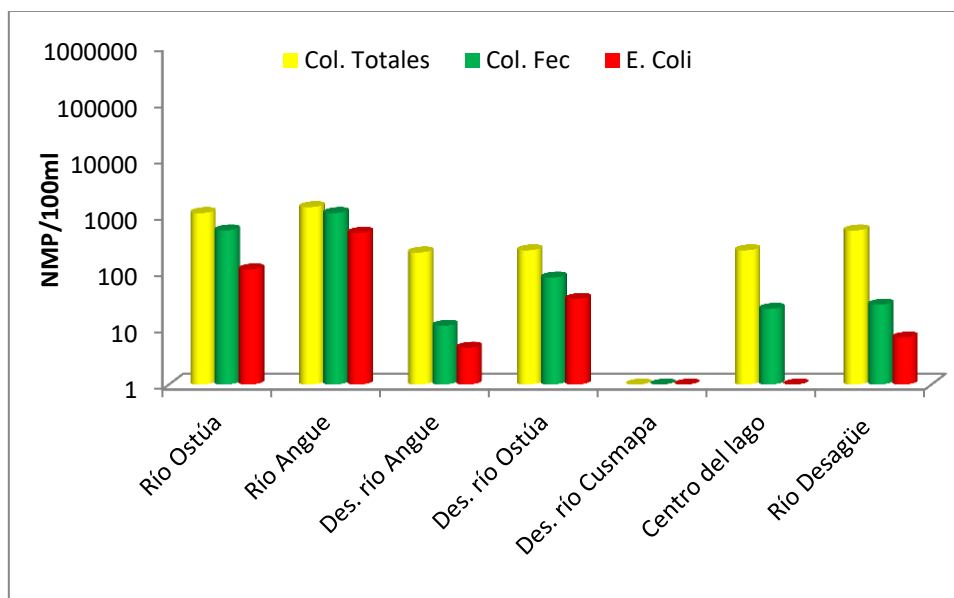
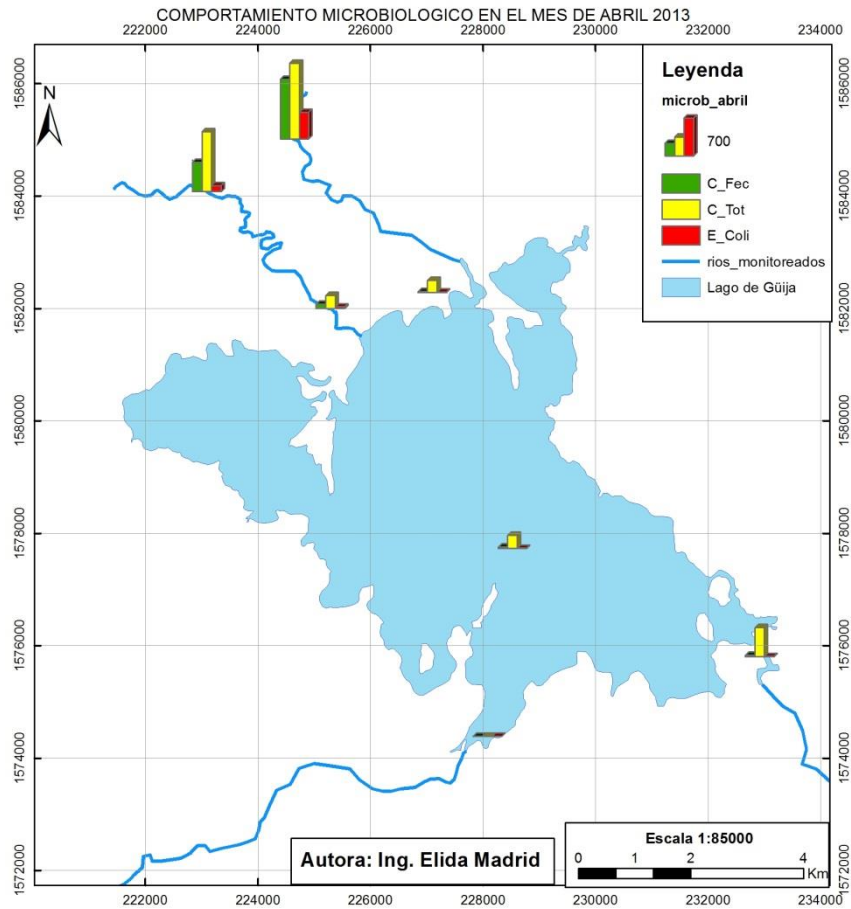


Gráfico28. Comportamiento de las coliformes totales, coliformes fecales y la *E. coli* en el mes de abril 2013.

Comparando con el nivel de coliformes reportados en el Catalogo de Mapas de Zonas Criticas Prioritarias en Humedales Ramsar de El Salvador (2012) los niveles de coliformes en las desembocaduras son críticos y aceptables en el centro del lago y en el caso de los resultados obtenidos para el 2013 para el mes de abril los niveles de coliformes son críticos incluso en el centro del lago y serian aceptables para la desembocadura del río Cusmapa.



Mapa 14. Distribución espacial del comportamiento microbiológico en el mes de abril 2013

En el mes de septiembre 2013 los puntos con mayor contaminación bacteriológica cambian en comparación con el mes de abril y pasan a ser río Desagüe y la desembocadura del río Cusmapa seguido por el río Cusmapa. En el resto de puntos se obtuvieron valores más bajos pero siempre fuera de los límites establecidos por las normas CAPRE y la Norma de aguas Potable de El Salvador.

Los puntos con mejor calidad bacteriológica fueron: el centro del lago con valores menores a los límites de detección, así como el río Ostúa donde solo se registró 7,8 NMP/100ml de colonias de coliformes totales. El resto de puntos tiene valores desde 130 hasta 54,000NMP/100ml.⁻¹.

Las concentraciones encontradas en la época lluviosa fueron mayores a las encontradas en la época seca. Esto se puede otorgar al arrastre de las lluvias de las bacterias hacia los cuerpos de agua por lo tanto las concentraciones son mayores que en la época de verano.

Es importante resaltar que para esta época los puntos con mejor calidad microbiológica del agua fueron el centro del lago y el río Ostúa, lo cual se podría tomar en cuenta para el futuro en caso de necesitar agua del lago para potabilizarla la menor zona de toma del agua sería el centro del lago.

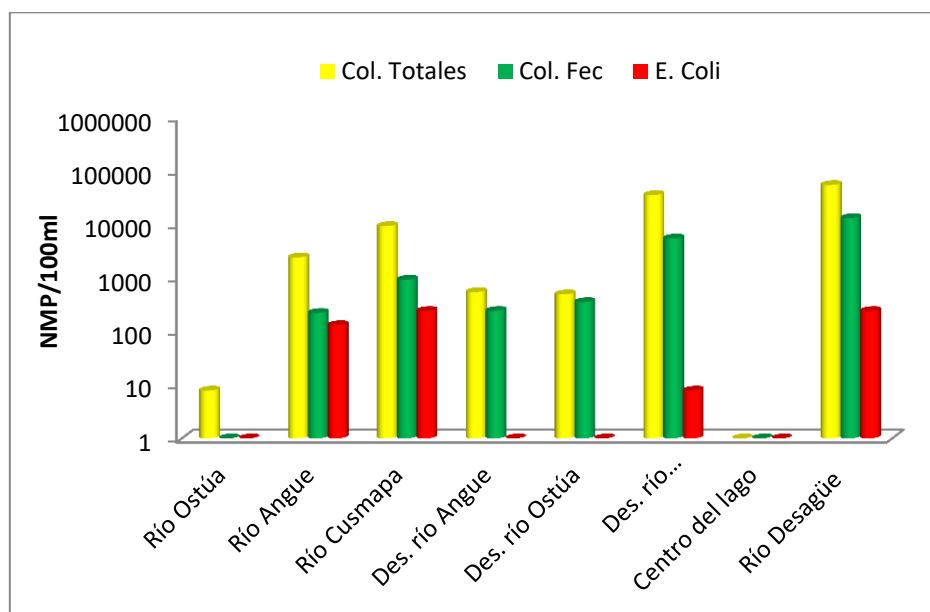
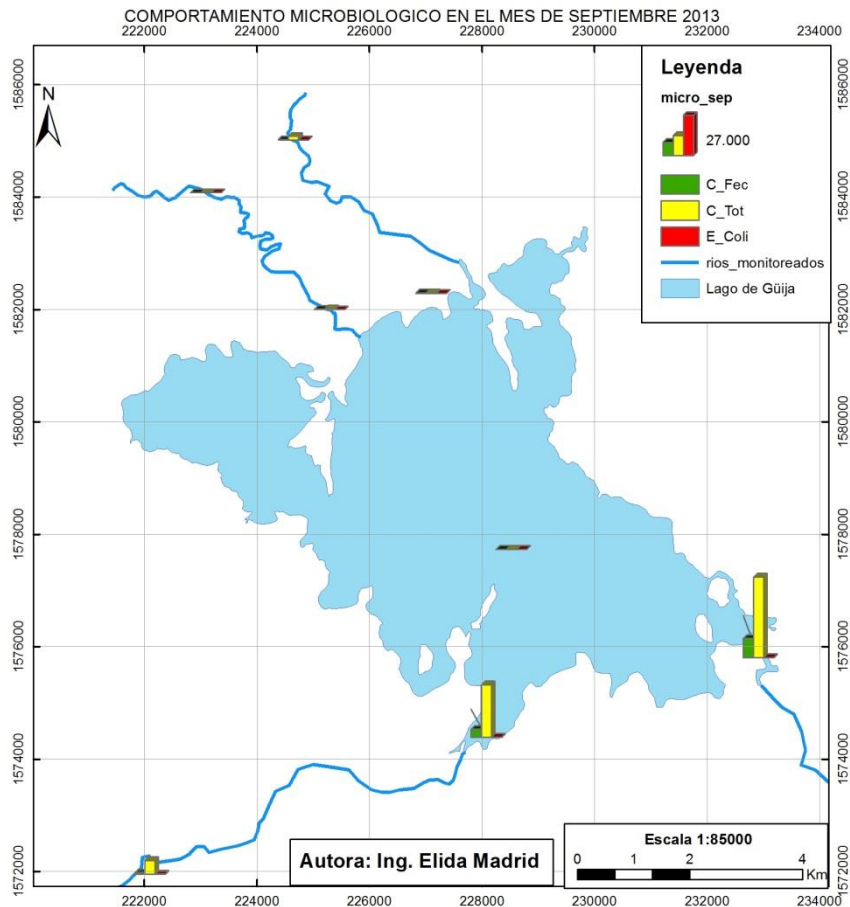


Gráfico29. Comportamiento de las coliformes totales, coliformes fecales la *E. coli* en el mes de septiembre 2013.

En los meses antes mencionados de los ríos más caudalosos que desembocan en el lago es el río Angue el que presenta mayores niveles de contaminación bacteriológica deteriorando así la calidad del agua del mismo. Lo cual es un dato interesante ya que el caudal es menor al del río Ostúa que proviene de Guatemala, por lo tanto es competencia de las autoridades nacionales tratar de reducir la contaminación bacteriológica del río Angue influenciada por el ser humano.

En el mes de septiembre las mayores concentraciones del lago se encuentran en la parte sur del lago, en la desembocadura del río Cusmapa como en el río Desagüe, se ve una clara disminución de las concentraciones de los diferentes tipos de bacterias en la parte norte del lago.



Mapa 15. Distribución espacial del comportamiento microbiológico en el mes de septiembre 2013

En el mes de noviembre las concentraciones más altas se encontraron en el río Ostúa así como en su desembocadura, seguidas por los ríos Angue y Cusmapa. Las concentraciones más altas de bacterias en los tres muestreos fueron encontradas en el mes de noviembre con 170 000 UNT de coliformes totales, y 130,000 UNT de coliformes fecales y con unas 79,000 de E. coli.

La cuenca del río Ostúa es compartida por Guatemala y El Salvador, por lo tanto la contaminación bacteriológica encontrada tiene su origen en ambos países y el problema debe de tratarse de manera conjunta.

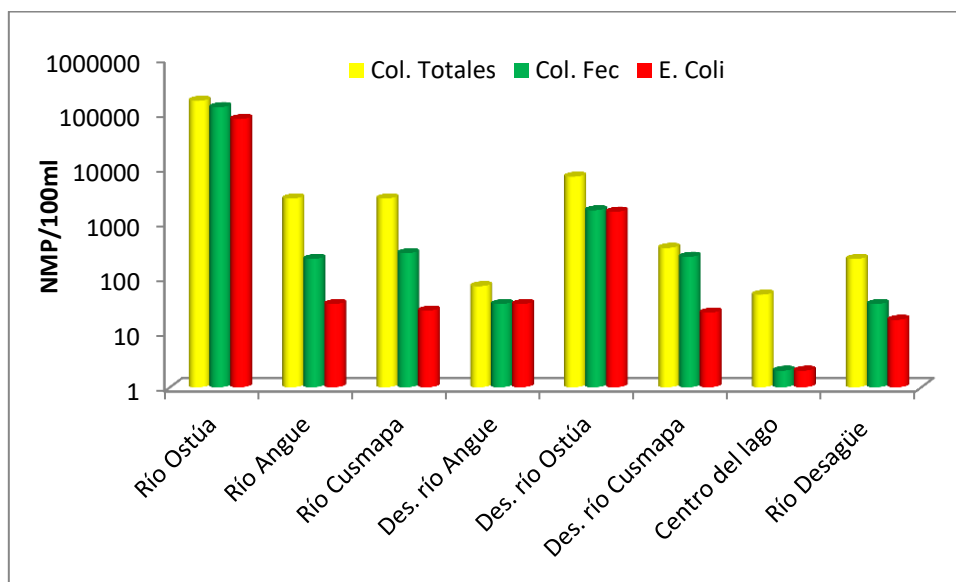


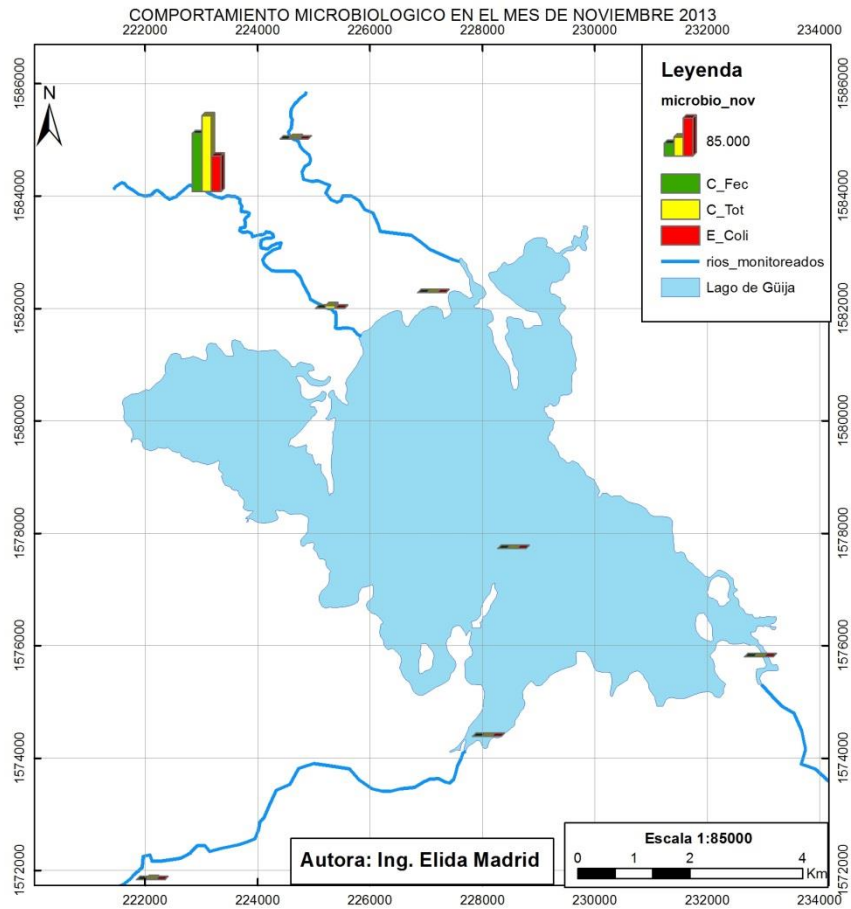
Gráfico30. Comportamiento de las coliformes totales, coliformes fecales la *E. coli* en el mes de noviembre 2013.

Según el anova realizado no hay diferencias significativas en los meses monitoreados. Las p obtenidas son mayores a 0.05 en los tres casos. Las significancias fueron:

Coliformes totales $p= 0,520 > 0,05$ por lo tanto se acepta la H_0 y no hay diferencias significativas en los tres muestreos.

Coliformes fecales $p= 0,457 > 0,05$ por lo tanto se acepta la H_0 y no hay diferencias significativas en los tres muestreos

E. coli $p= 0,520 > 0,05$ por lo tanto se acepta la H_0 y no hay diferencias significativas en los tres muestreos.



Mapa 16. Distribución espacial del comportamiento microbiológico en el mes de noviembre 2013

Las altas concentraciones de coliformes totales en la época lluviosa se deben a que en la cuenta de los ríos y el lago aún se practica el fecalismo al aire libre así como manejo inadecuado de excretas de animales domésticos. Es por esto que con la escorrentía se incrementan las concentraciones de coliformes en los cuerpos de agua estudiados.

Es importante conocer las concentraciones de los diferentes grupos de bacterias dado al uso que se le da al agua como el riego y en algunos casos el consumo humano, por lo encontrado las concentraciones son altas en la mayoría de los sitios por lo cual el agua debe de ser tratada de alguna forma para eliminar especialmente la E. coli antes de ser consumida.

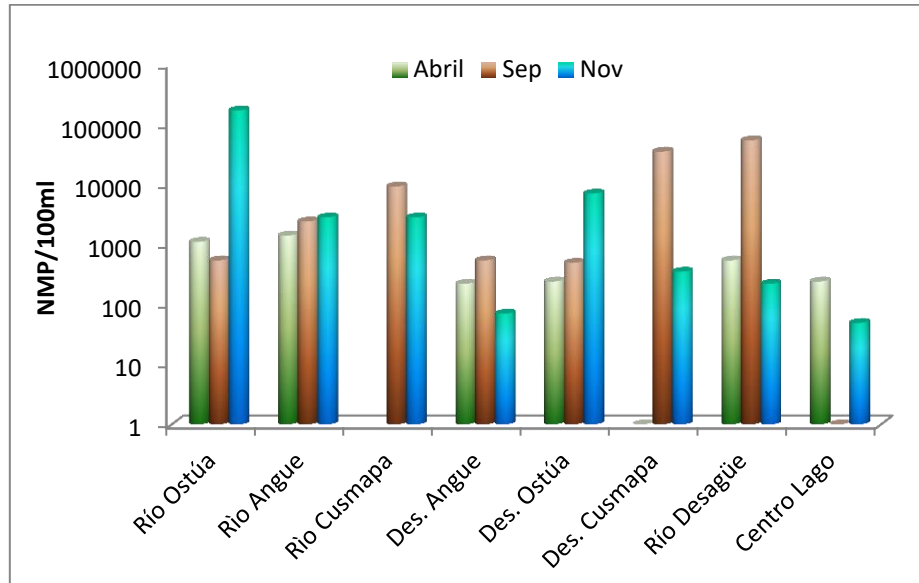


Gráfico31. Comportamiento de las coliformes totales en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.

En general las coliformes fecales encontrados en los diferentes sitios de muestreo también se comportan de menor a mayor de abril a septiembre y así sucesivamente al mes de noviembre, en el cual se encontró la concentración más alta de coliformes fecales en el río Ostúa

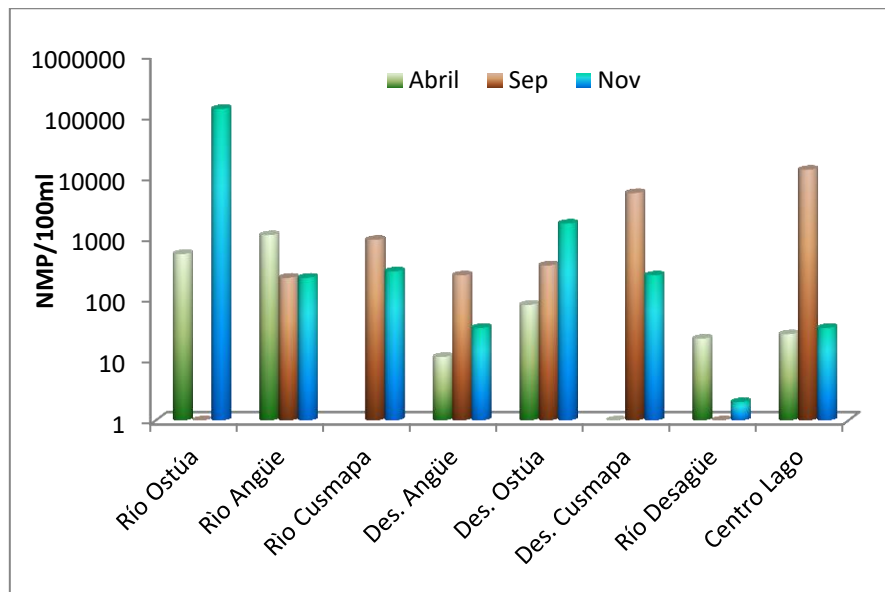


Gráfico32. Comportamiento de las coliformes fecales en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.

La *E. coli* se encontró menor al límite de detección en 6 ocasiones dos de ellas en el centro del lago, esto es muy importante porque cabe la calidad bacteriológica del centro del lago es buena a pesar que las desembocaduras presentan altas concentraciones en la época lluviosa. En el mes de septiembre fue donde se encontraron la mayoría de valores menores al límite en 4 sitios (Des. Ostúa, Des. Angue, Centro del lago y río Ostúa). El comportamiento promedio fue similar al de las otras bacterias analizadas, valores menores en el mes de abril y septiembre y mayores en el mes de noviembre.

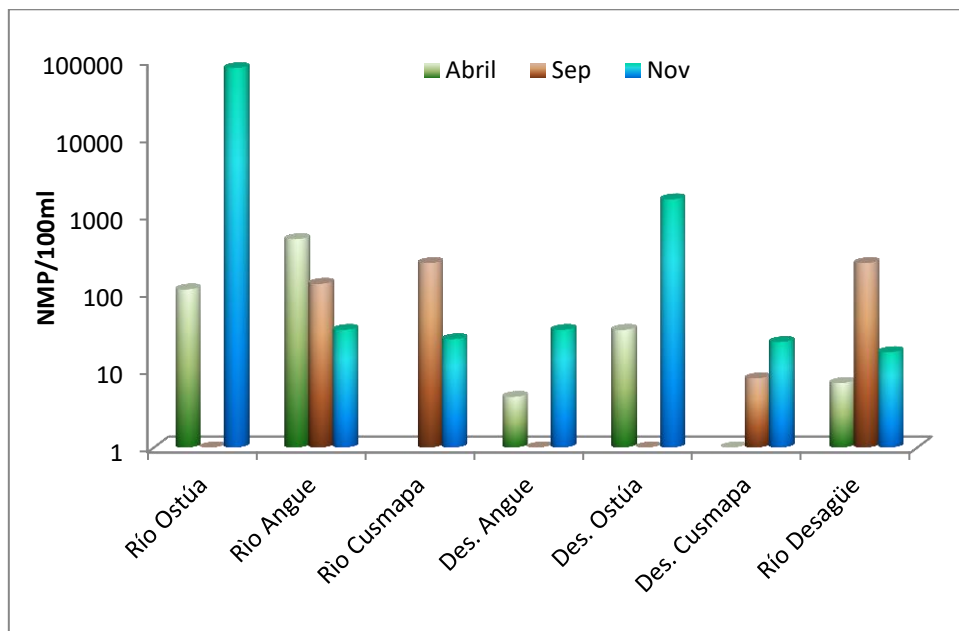


Gráfico33.Comportamiento de las *E. Coli* en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.

En general las concentraciones de las bacterias tanto totales como fecales y *E. Coli* son más bajas en la época seca (abril) y mayores en la época lluviosa (septiembre) así como en la salida del invierno (noviembre).

Históricamentelacionadoal centro del lago en los 7 años que CEL se tiene registro las concentraciones de coliformes totales y fecales son variantes de una época a otra, en la siguiente grafica se puede ver como los niveles más altos de

coliformes fecales y totales se encuentran en noviembre 2003 y 2004 así como en enero 2006.

El mes de septiembre en el 2013 fue el de mejor calidad del agua en el centro del lago respecto a coliformes totales y fecales.

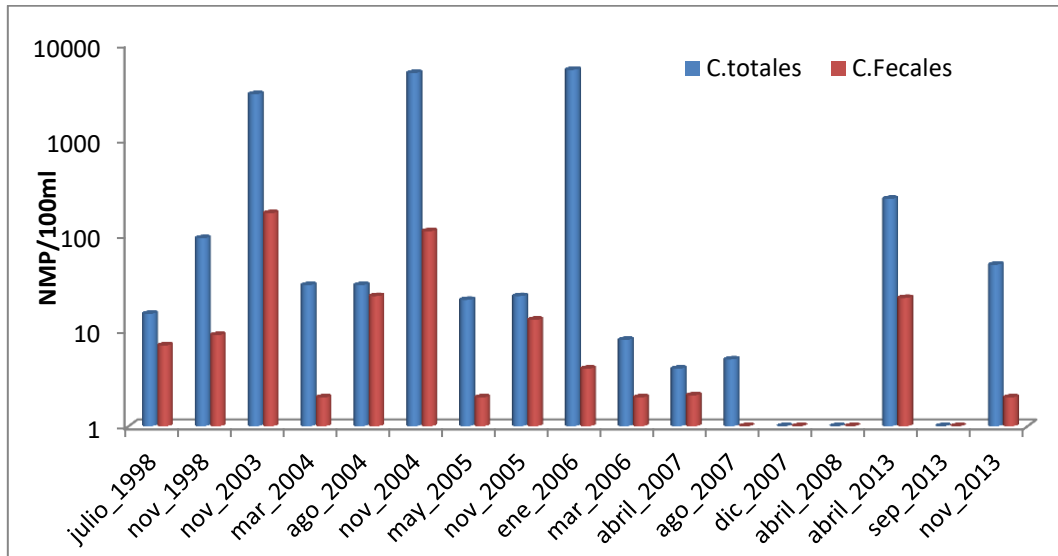


Gráfico34. Comportamiento histórico de las coliformes totales y coliformes fecales en el centro del Lago de Güija

En cuanto a calidad de bacteriológica del agua en los ríos solamente se encontró registro para tres años los cuales fueron 1998, 2007 y 2013 con la presente investigación.

El río que presenta una mayor contaminación por coliformes fecales es el río Ostúa, seguido por el río Angue y el río Cusmapa. El río Cusmapa es el que menos influencia antropogénica tiene es por eso que los niveles de coliformes fecales son menores.

Claramente se observa un nivel muy alto en el mes de septiembre en el río Ostúa y otro nivel alto en el mes de noviembre en río Desagüe. La época seca es la que

tiene menos concentraciones de coliformes fecales y el río Angüe fue el que tuvo el nivel de agua más alto.

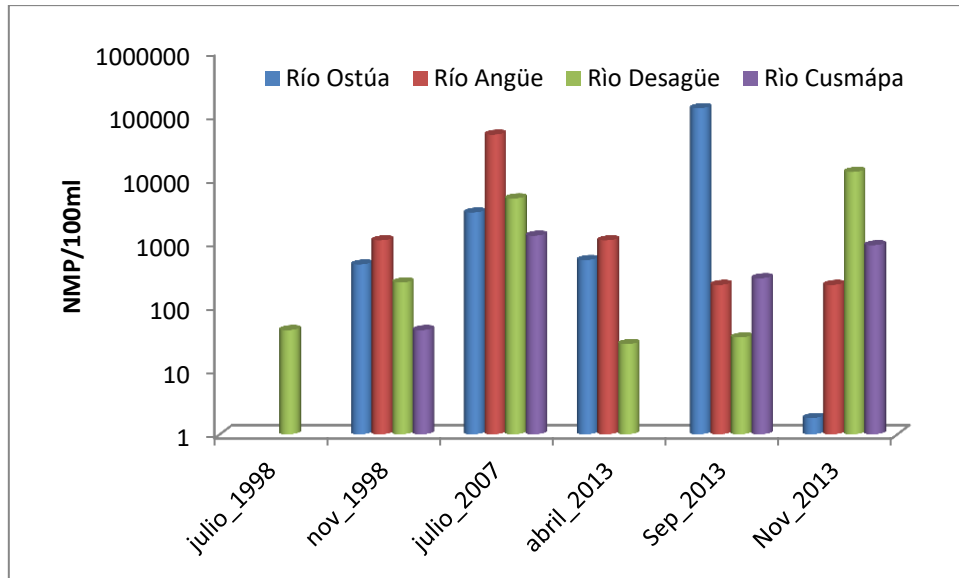


Gráfico35. Comportamiento histórico de las coliformes fecales en los ríos Angüe, Ostúa, Cusmapa y Desagüe

10.1.2.11.2 Fitobentos

10.1.2.11.2.1 Estructura comunitaria y riqueza de especies

Durante los tres muestreos se encontraron en total 89 taxas provenientes de los ríos y del lago. En el gráfico 36 se resume la distribución de la riqueza de especies para cada uno de los sitios de muestreo durante las tres épocas.

La mayor diversidad se encontró en el lago de Güija en el mes de abril donde se identificaron 33 taxa y la menor diversidad fue encontrada en el río Ostúa en el mes de noviembre donde se identificaron 15 taxa. En general en el mes de abril se encontraron mayores cantidades de taxas seguidas por el mes de noviembre y fue septiembre el mes donde la cantidad de taxas fue menor.

En el mes de septiembre en los ríos Angüe y Ostúa las muestras que se tomaron fueron pobres por lo tanto no fue posible el conteo de las diatomeas y en el mes de abril el río Cusmápa no tenía agua por lo que no fue posible realizar el muestreo correspondiente a esa época.

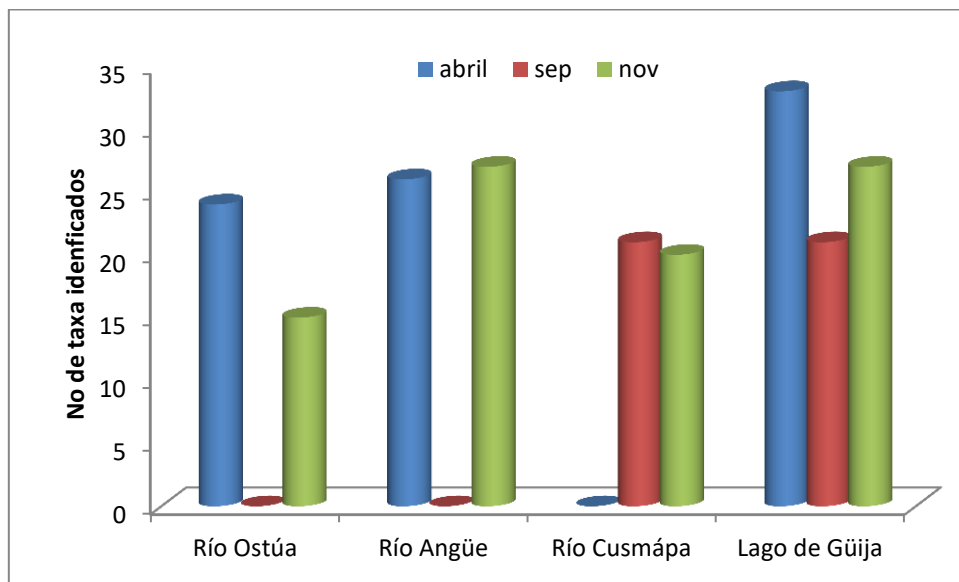


Gráfico 36. Total de taxa de diatomeas identificadas en los ríos Ostúa Angüe y Cusmápa así como en el lago de Güija.

En los siguientes gráficos (37,38,39 y 40) se presentan los porcentajes de los taxa más representativos por sitios de muestreo para el mes de abril. El taxa que estuvo presente en los cuatro sitios de muestreo fue *Nitzschia palea* en porcentajes que variaron del 12% en el río Ostúa hasta un 44% en el río Angue esta especie es típica de aguas con mala calidad y según Roldan como indicador de índice de polución orgánica. El taxa *Cocconeis placentula* estuvo presente en tres de los sitios muestreados estos fueron las desembocaduras de los ríos Angue y Ostúa así como en el río Ostúa con porcentajes del 6% al 11%.

En la desembocadura del río Ostúa los taxas tuvieron una dominancia similar, en cambio en la desembocadura del río Angue *Fragilaria construens* domino con un 30%. En el río Angue la dominancia la tiene *Nitzschia palea* con un 44% seguida por *Achnanthes exigua* la cual tuvo un 26%. En cambio en el río Ostúa la especie dominante fue *Achnanthes minutísima* con un 33%.

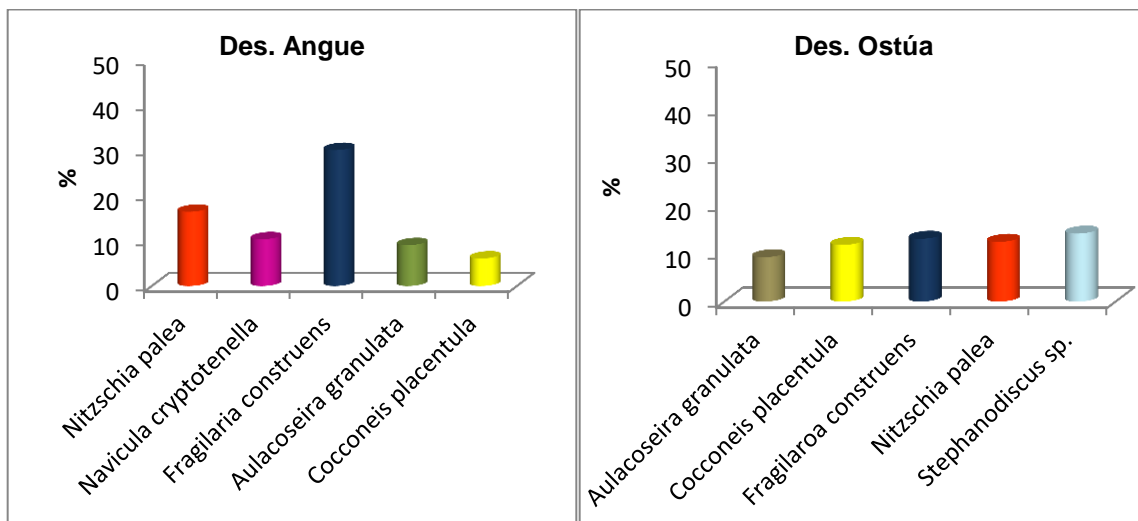


Gráfico37. Diatomeas más representativas **Gráfico38.** Diatomeas más representativas

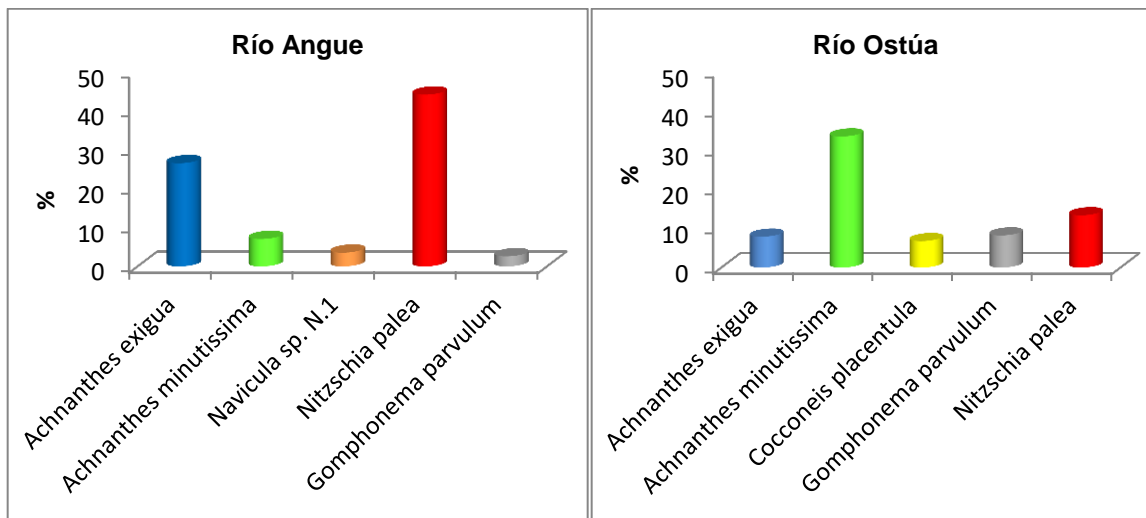


Gráfico39. Diatomeas más representativas

Gráfico40. Diatomeas más representativas

En los gráficos 32, 33, 34 y 35 se presentan los taxa de las diatomeas más representativas en la desembocadura del río Angue, desembocadura río Ostúa, en el río Angue y en el río Ostúa correspondientes al mes de abril del año 2013.

En el mes de septiembre en el lago de Güija el taxa más abundante fue *Fragilaria ulna* con un 54% y solamente *Aulacoseira granulata* se encontró dentro de los taxa dominantes similar al mes de abril en las desembocaduras de los ríos en el lago. La mayoría de taxas dominantes en este mes son completamente diferentes a los taxas dominantes en el mes de abril, manifestándose así un reemplazo de especies de una época a otra.

En el río Cusmapa el taxa más dominante fue *Gomphonema cobayassi* con un 42% seguido por *Nitzschia incospicua* con un 16% esta especie es indicadora de polución orgánica con un valor de 3. Todos los taxas dominantes en el río Cusmapa son completamente diferentes a los taxas del mes de abril.

En este mes el taxa común en el lago de Güija y el río Cusmapa fue *Nitzschia amphibia* con un 1 y un 13% respectivamente.

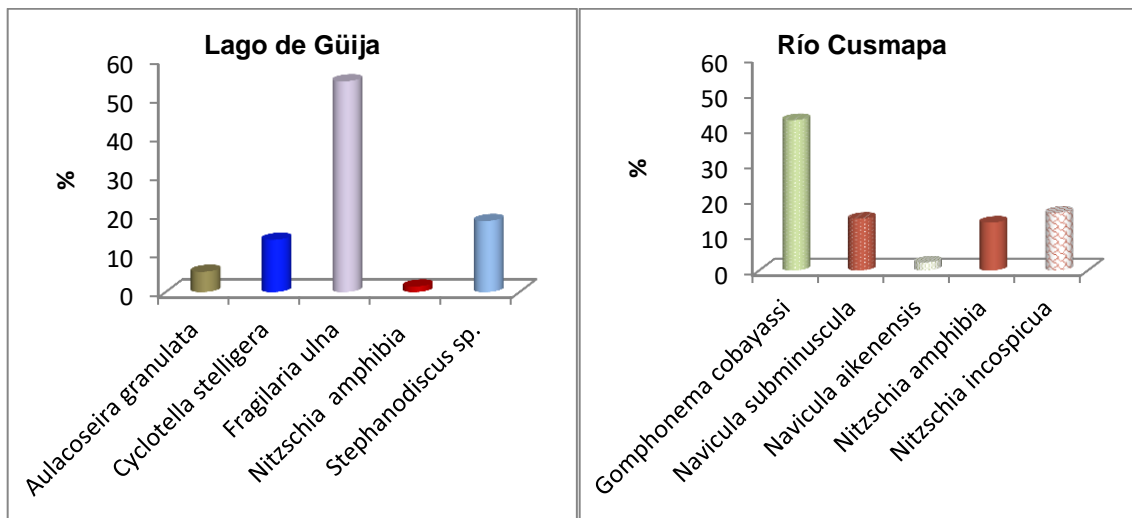


Gráfico 41. Diátomeas más representativas **Gráfico 42.** Diátomeas más representativas

En los gráficos 23 y 24 se presentan los taxas de las diátomeas más representativas en el lago de Güija y el río Cusmápa en el mes de septiembre del año 2013.

En el mes de noviembre en el lago de Güija los taxa más comunes fueron *Aulacoseira granulata* con un 21% y *Navicula confervacea* con un 18%. *Aulacoseira granulata* se encontró presente en el lago en los tres muestreos.

En el río Ostúa es evidente que la composición de las diátomeas estuvo dominada exclusivamente por 2 taxas los cuales fueron *Gomphonema minutum* con un 46% y *Gomphonema parvulum* con un 44% sumando así un 90%.

En el río Angue el género dominante fue la *Navícula* y el taxa más representativa fue *Aulacoseira granulata* con un 21% seguido por *Navícula sp. N.2* con un 18%.

En cambio en el río Cusmapa *Navicula sp.* obtuvo el 25% y *Nitzschia inconspicua* el 23%. La especie que se encuentra en tres de los puntos muestreados (lago de Güija y los ríos Angue y Cusmapa) es *Nitzschia amphibia* los porcentajes van del 1% al 19%.

En este muestreo la mayoría de los taxa dominantes fueron completamente diferentes a los muestreos de los meses de abril y septiembre solamente *Gomphonema parvulum*, *Nitzschia amphibia*, *Nitzschia palea* y *Aulacoseira granulata* fueron comunes a los meses de abril y septiembre.

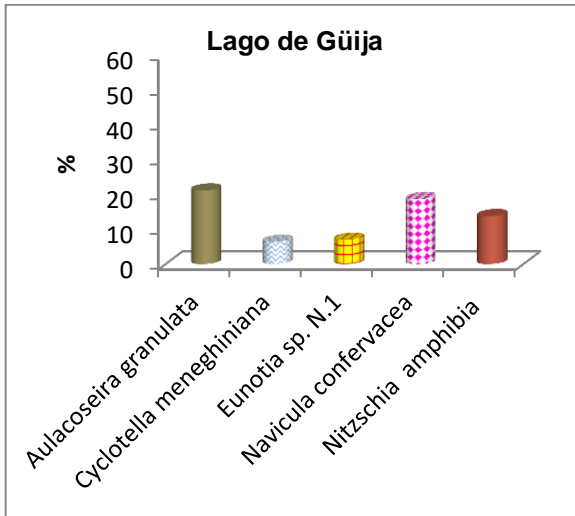


Gráfico 43. Diatomeas más representativas

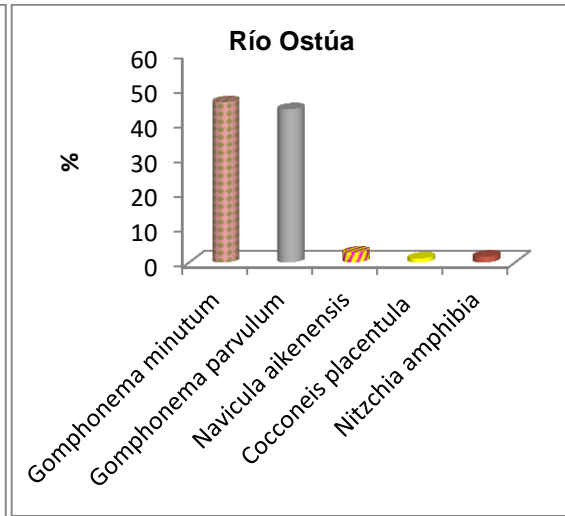


Gráfico 44. Diatomeas más representativas

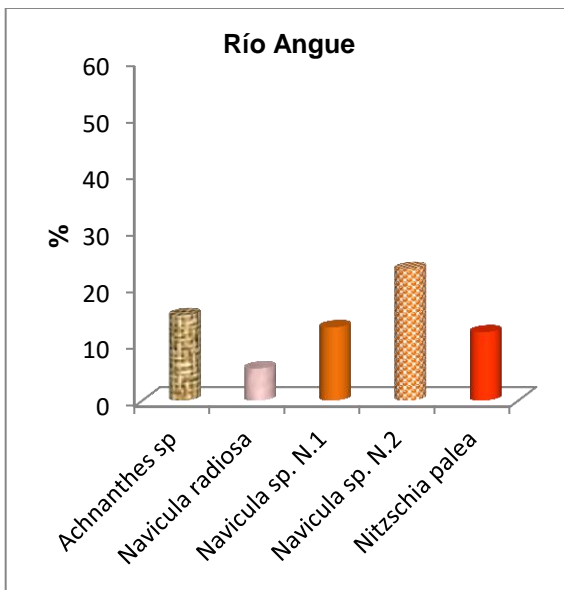


Gráfico 45. Diatomeas más representativas

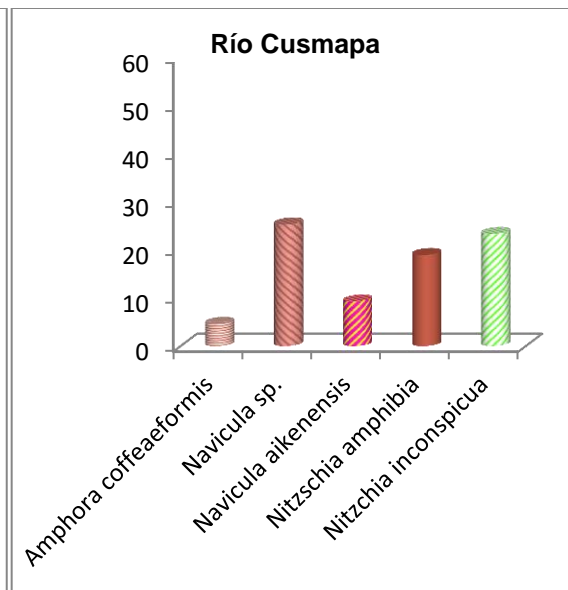


Gráfico 46. Diatomeas más representativas

En los gráficos 38, 39, 40 y 41 se presentan los taxa de las diatomeas más representativas en lago de Güija, río Ostúa, en el río Angue y el río Cusmápa correspondientes al mes de noviembre del año 2013.

Los géneros con mayor representación en los sitios estudiados son *Navicula sp* y *Nitzschia sp*, seguidos por; *Achnanthes sp*, *Gomphonema sp*, *Cyclotella sp*, *Diponeis sp*, *Rhopalodiasp* y *Fragilaria Ulna*.

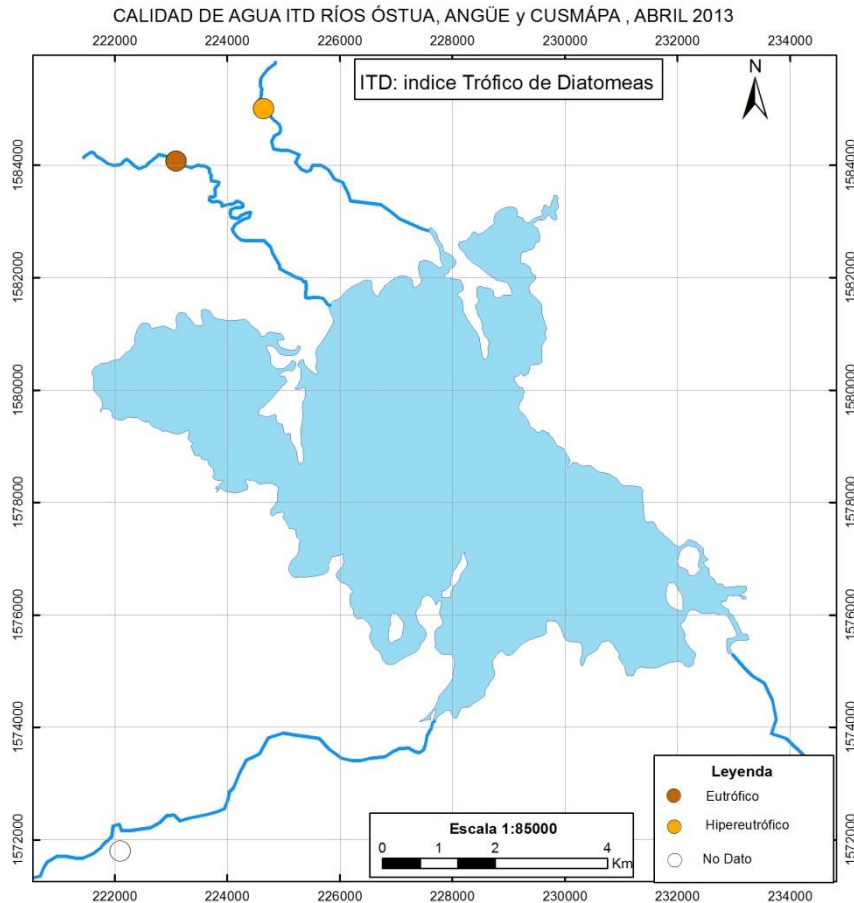
Los géneros comunes a todos los puntos fueron *Nitzschia sp*, *Navículas p* y *Achnanthesa* excepción del río Ostúa en el mes de noviembre. *Nitzschiaes* indicadora de aguas eutrofizadas al igual que *Navícula sp* y *Achnanthes*.

10.1.2.11.2.1 Índice Trófico de Diatomeas

Para el análisis de la calidad del agua con diatomeas se hizo uso del Índice Trófico de Diatomeas o TDI por sus siglas en ingles. Este índice asigna valores en intervalo de 1-100 y tiene una relación inversa, mientras mayor es el índice más alto es el estado trófico y peor es la calidad del agua (Szczepocka 2009).

Los resultados de las diatomeas en el mes de abril muestran una calidad del agua categorías IV y V. Los valores de los índices van de 66 – 76 y se tienen que según las diatomeas el estado es eutrófico con una polución fuerte en el río Ostúa. La calidad del agua según el TDI es insatisfactoria el río Ostúa y mala en el río Angue.

La diferencia de colores en los ríos Angue y Ostúa muestra que la calidad del río Angue está más degradada que la calidad del agua del río Ostúa según los resultados obtenidos a través del TDI en el mes de abril 2013.

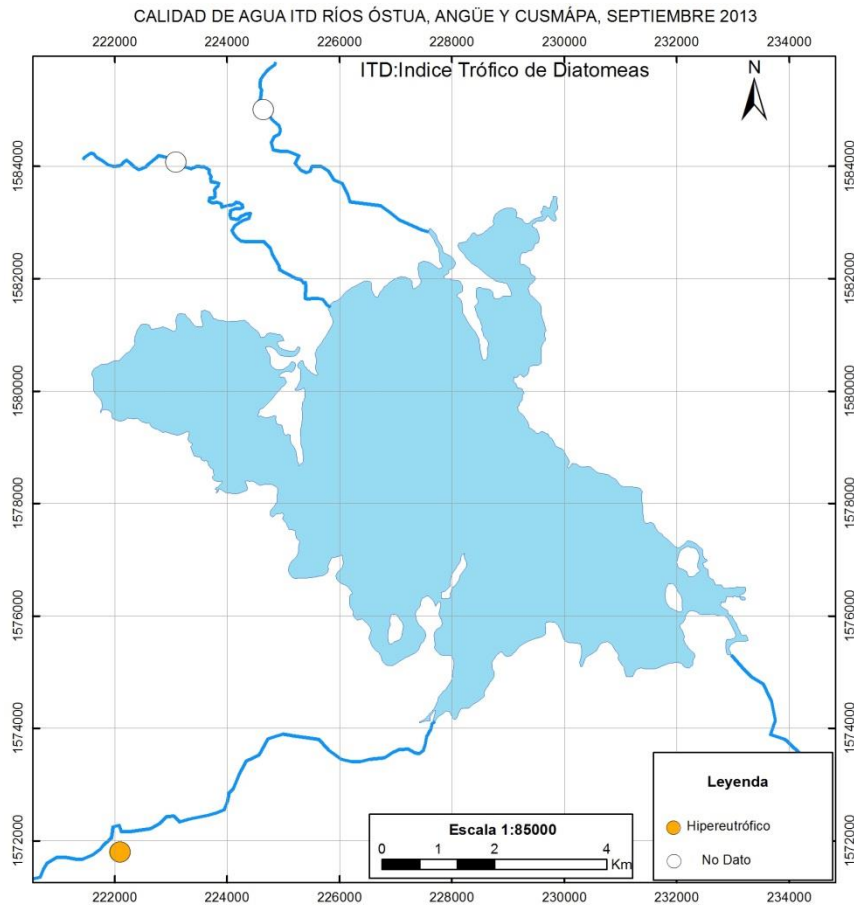


Mapa 17. Calidad del agua en base al Índice Trófico de Diatomeas en los ríos Angüe y Ostúa, en abril 2013.

En el mes de septiembre solamente fue posible el conteo de diatomeas en el río Cusmápa y en el lago aunque para este no se aplica calcular el TDI dado a que ha sido diseñado para ríos, la razón por la que no se pudo realizar un conteo en los otros sitios muestreados fue porque las muestras colectadas fueron pobres, lo cual posiblemente se debió al arrastre de las corrientes y a los altos niveles de turbidez permite la disminución y arrastre de las algas en los ríos.

El río Cusmápa en el mes de septiembre presentó una calidad insatisfactoria con clase tipo IV y una contaminación fuerte, un estado ecológico insatisfactorio y su estatus es eutrófico lo cual significa que tiene una contaminación muy fuerte. El estado de contaminación de este río se encuentra influenciado al arrastre de materia orgánica de la

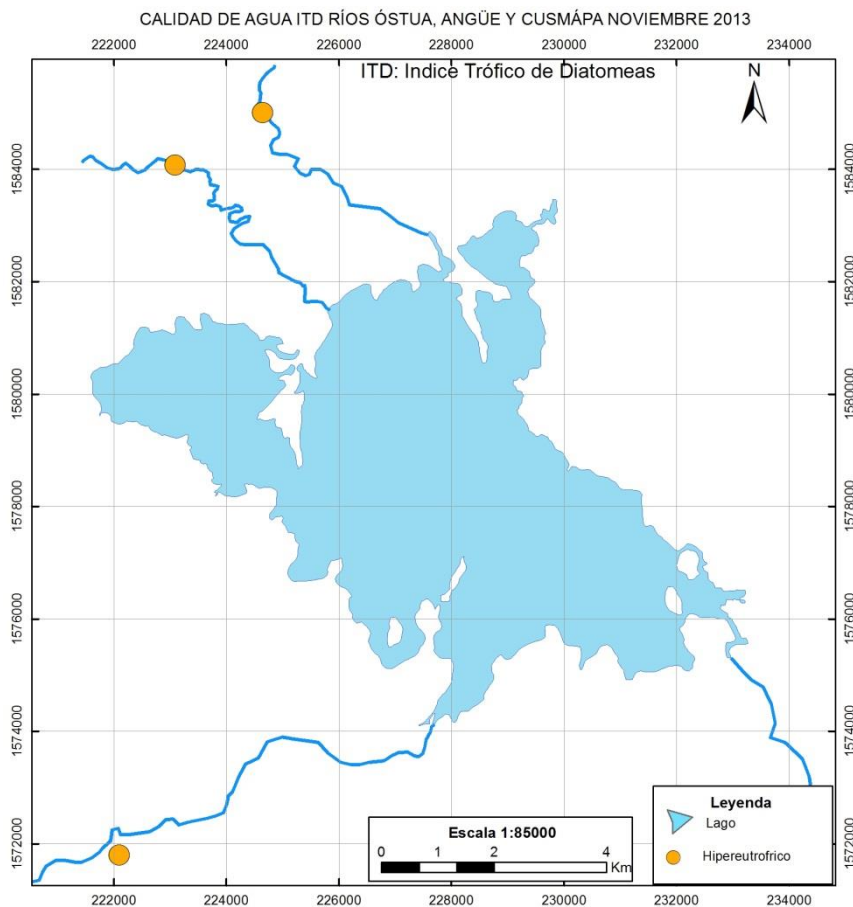
cuenca y en la época seca no presento agua así que el proceso de eutrofización se registró alto según el TDI.



Mapa 18 . Calidad del agua en base al Índice Trófico de Diatomeas en los ríos Angue, Ostúa, Cusmapa y el lago de Güija en septiembre 2013.

En el mes de noviembre los ríos Ostúa, Angue y Cusmapa fueron clasificados en la misma categoría V en donde la calidad del agua es mala, con una polución muy fuerte, un estado ecológico malo y un estatus trófico Hipereutrófico.

Calidad del agua y estado trófico en el lago de Güija y sus ríos afluentes y efluentes para un programa de monitoreo



Mapa 19. . Calidad del agua en base al Índice Trófico de Diatomeas en los ríos Angüe, Ostúa, Cusmápa y el lago de Güija en noviembre 2013.

En general las calidades de las aguas en los sitios muestreados y en las diferentes épocas se manifiestan similares de modo que todos los sitios entran en la clase V con una polución muy fuerte y un estado Hipereutrófico a excepción del río Ostúa en el mes de abril el cual se categoriza como clase IV y una polución fuerte y un estado eutrófico.

Tabla 8. Resumen de los resultados obtenidos con la aplicación del índice trófico de diatomeas en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.

Abril	TDI	Septiembre	TDI	Noviembre	TDI
Río Ostúa	66			Río Ostúa	89
Río Angüe	76			Río Angüe	82
		Río Cusmápa	74	Río Cusmápa	82

10.1.2.11.3 Fitoplancton

10.1.2.11.3.1 Estructura comunitaria

La comunidad del fitoplancton del lago de Güija estuvo conformada por 59 taxas las cuales representan a 6 grupos taxonómicos: Chlorophyta, Bacillariophyta, Cyanophyta con los porcentajes más altos alrededor del 90%. Otros grupos menores fueron las Euglenophyta, Dinophyta y Xanthophyta.

En los siguientes gráficos se puede observar claramente un aumento de las Chlorophytas de abril con un 41% a noviembre con un 60% con un aumento del 19%, caso contrario las Bacillariophyta que disminuyeron en el tiempo pasando de un 31% a un 12% reduciéndose un 19 por ciento en los meses monitoreados. Las Euglenophyta pasan de un 4% a un 9% aumentando un 5%.

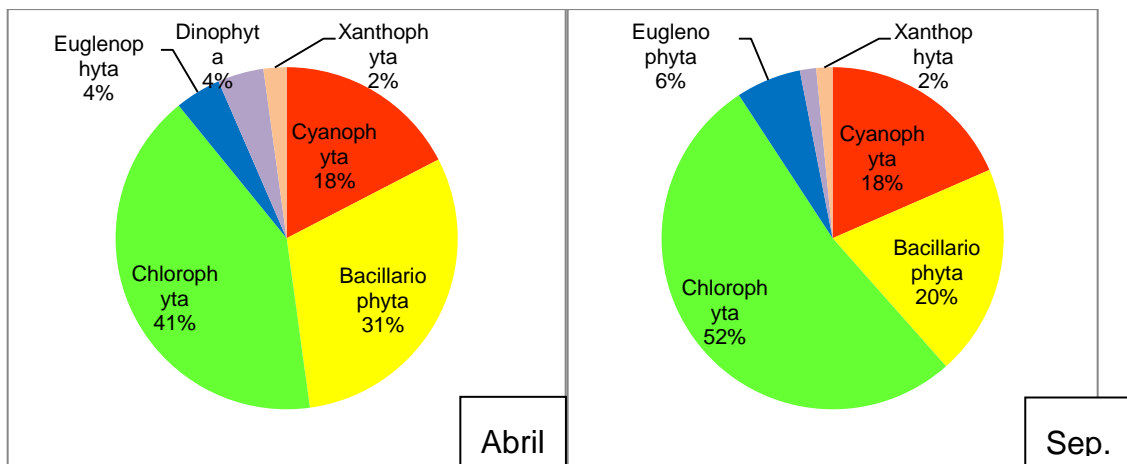


Gráfico47. Composición del fitoplancton

Gráfico48. Composición del fitoplancton

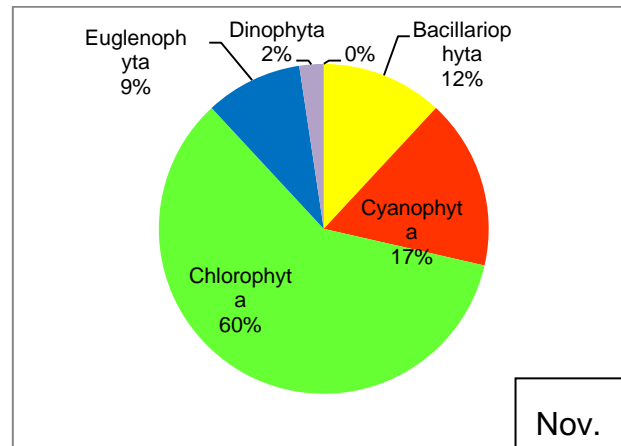


Gráfico49. Composición del fitoplancton

En las gráficas 42,43 y 44 se presenta la composición del fitoplancton correspondiente a los meses de abril, septiembre y noviembre del 2013

Para cada uno de los muestreo según las gráficas 42,43 y 44 la estructura de esta comunidad fue variada donde se puede observar que el grupo más diverso fue el de las Chlorophytas o algas verdes seguido por las Bacillariophyta y Cyanophytas las Euglenophyta, Dinophyta y Xanthophyta.

Según la gráfica 43 en el muestreo correspondiente al mes de septiembre se encuentra una mayor riqueza de especies en todos los puntos, seguidos por abril y noviembre 2013.

Se logra apreciar de que las Chlorophyta es el grupo más diverso y se alcanza la diversidad más alta en el mes de septiembre, este aumento pudiera estar asociado al ingreso de los nutrientes que llegan con de la escorrentía de la cuenca a través de los ríos tributarios ya que la riqueza disminuye considerablemente en el mes de noviembre.

Igualmente se presente la contribución de los diferentes grupos algales en las diferentes fechas de muestreo y sitios de muestreo en donde se puede ver que las chlorophytas fueron el grupo más diverso con un mínimo de 7 taxas en el mes de noviembre en el río Desagüe y un máximo de 22 taxas en el mes de septiembre en la desembocadura del río Angue.

Las Bacillariophyta variaron entre 2 taxa en la desembocadura del río Ostúa en el mes de noviembre y 10 taxa en el río Desagüe en el mes de abril, y las Cyanophyta entre 3 taxa en el río Desagüe en el mes de abril y 8 taxa en la desembocadura del río Angue en el mes de septiembre respectivamente.

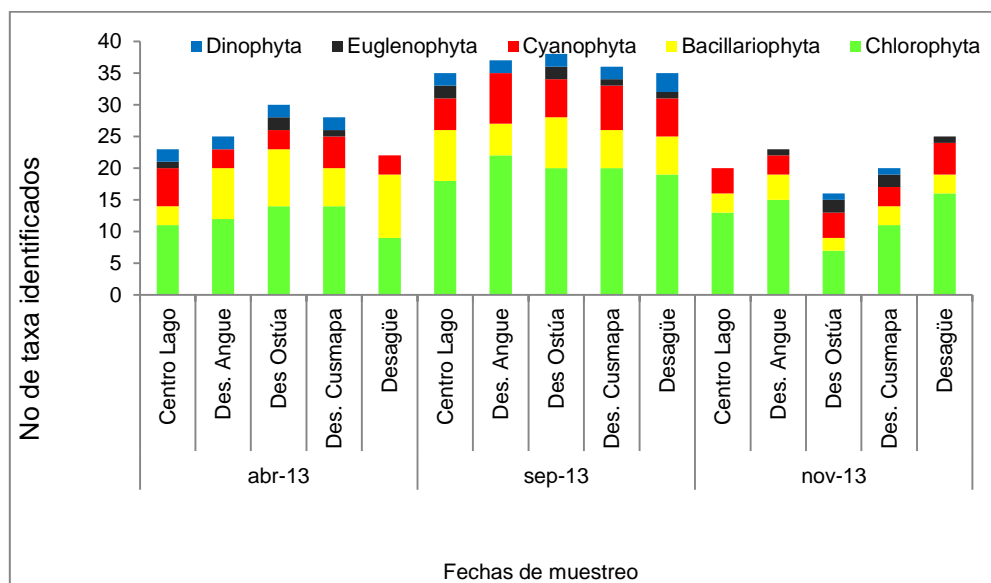
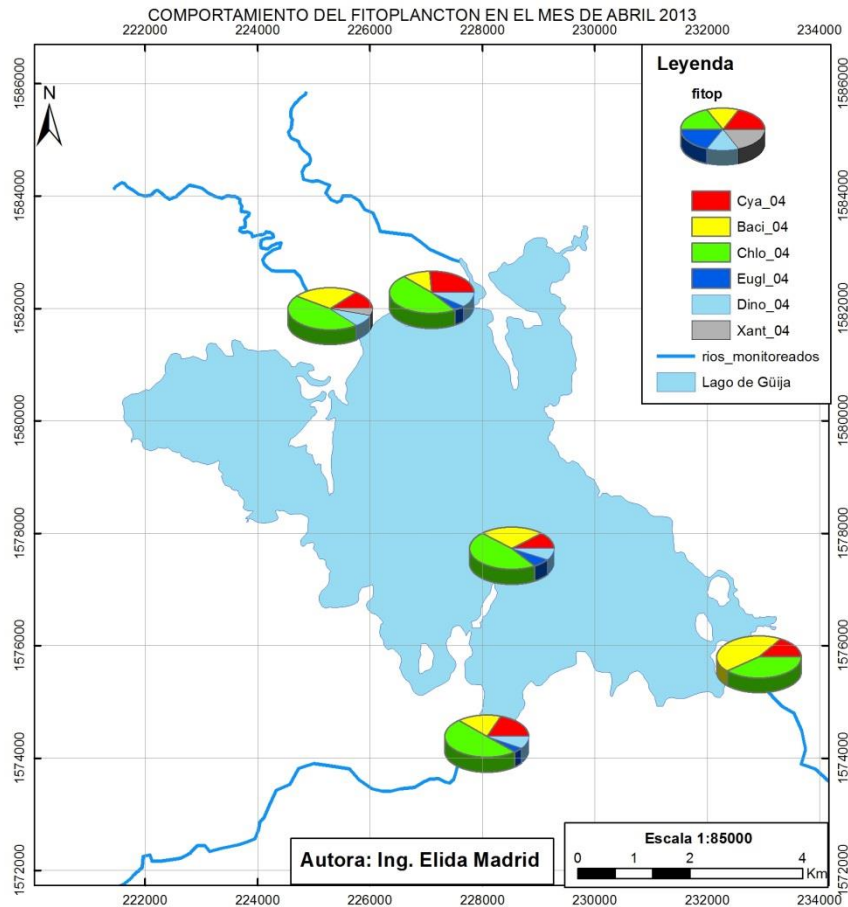


Gráfico50. Contribución de los diferentes grupos algales por sitio de muestreo en el lago de Güija en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.

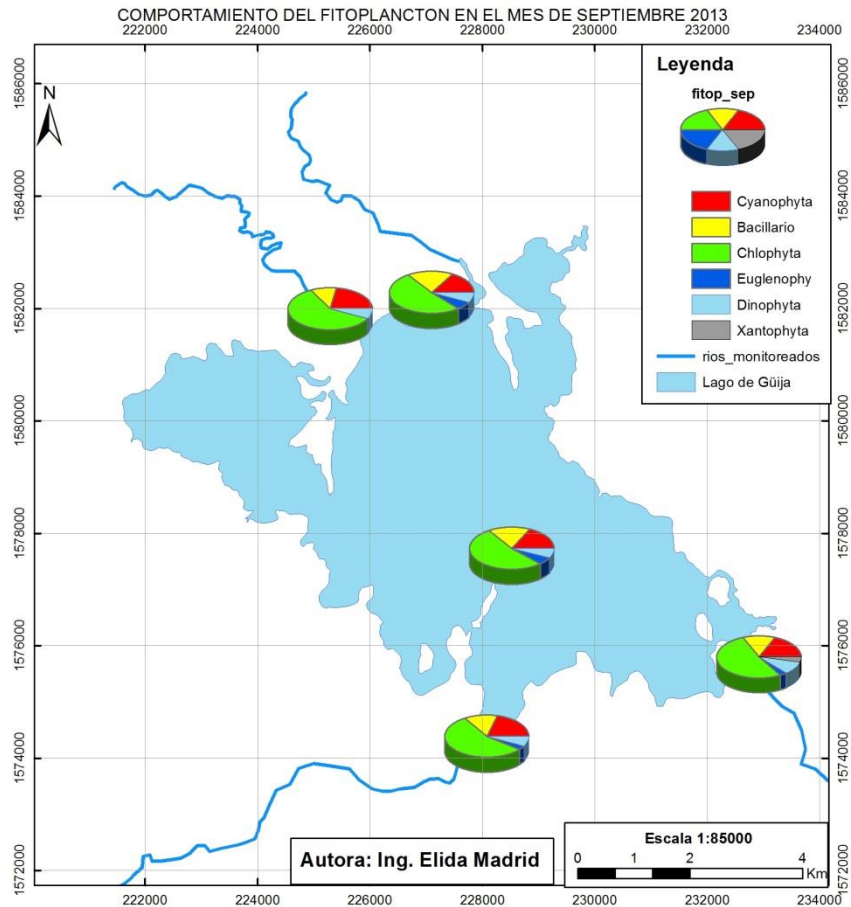
A pesar de que las Chlorophyta es el grupo más diverso hay cierto grupo algal que nos puede interesar más las cuales son las Cyanophyta principalmente *Microsystis* que está asociados a la producción de toxinas y problemas de salud pública. También son indicadores de la calidad del agua las algas verdes azules o Chlorophyta las cuales tienen una amplia distribución y afectan a los otros organismos debido a la presencia de toxinas denominadas genéricamente como cianotoxinas. Los géneros de cianobacterias que han registrado floraciones tóxicas con mayor frecuencia a nivel mundial han sido *Microsystis*, *Anabaena* y *Aphanizomenon* estos tres grupos de familias fueron encontradas en el lago de Güija.

En el siguiente mapa se muestra la distribución espacial del fitoplancton en cada uno de los sitios estudiados correspondientes al mes de abril 2013 dentro del lago de Güija en las desembocaduras de los ríos Angue, Ostúa, Cusmapa, así como el centro del lago y el Desagüe.



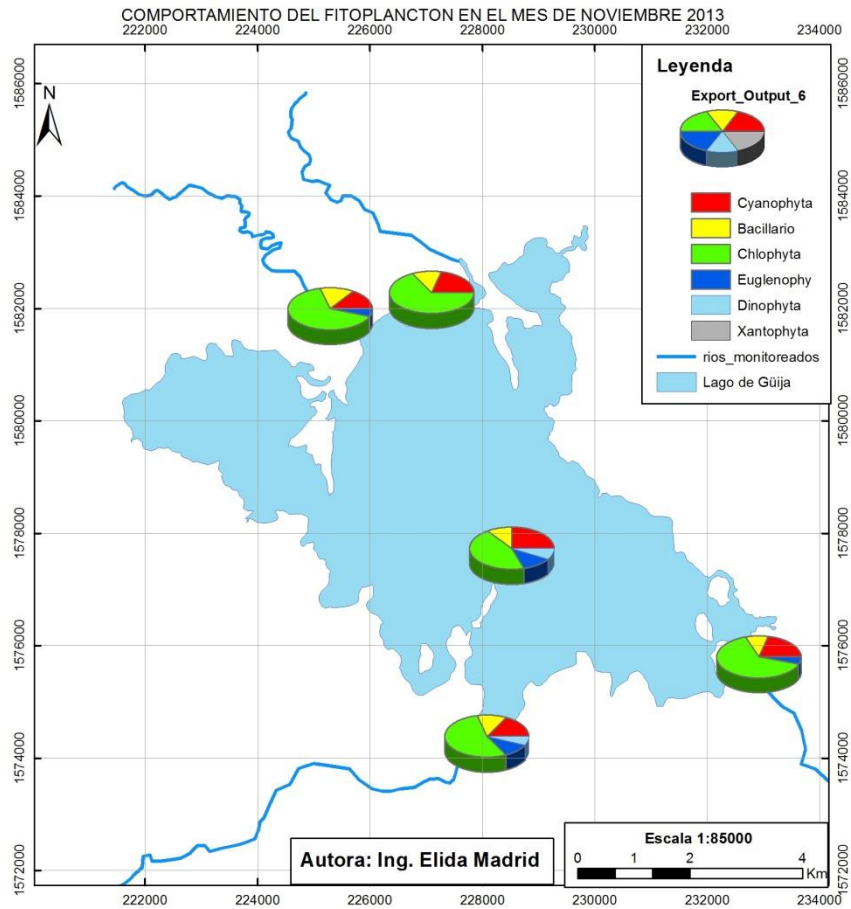
Mapa 20. Distribución espacial del fitoplancton en el lago de Güija correspondiente al mes de abril 2013

En el siguiente mapa 23 se muestra la distribución espacial del fitoplancton en cada uno de los sitios estudiados correspondientes al mes de abril 2013 dentro del lago de Güija en las desembocaduras de los ríos Angue, Ostúa, Cusmapa, así como el centro del lago y el Desagüe.



Mapa 21. Distribución espacial del fitoplancton en el lago de Güija correspondiente al mes de septiembre 2013

En el siguiente mapa 24 se muestra la distribución espacial del fitoplancton en cada uno de los sitios estudiados correspondientes al mes de abril 2013 dentro del lago de Güija en las desembocaduras de los ríos Angue, Ostúa, Cusmapa, así como el centro del lago y el Desagüe.



Mapa 22. Distribución espacial del fitoplancton en el lago de Güija correspondiente al mes de noviembre 2013

En la tabla 10 se puede observar que en el mes de abril solamente 7 especies fueron comunes a los cinco sitios de muestreo dentro del lago, en el mes de septiembre fueron 13 taxa los comunes casi el doble del mes de abril y en el mes de noviembre fueron 14, similares a los taxa del mes de noviembre.

A continuación se presenta la tabla 4 donde se mencionan los taxa comunes a los diferentes puntos en cada muestreo según los resultados cualitativos.

Tabla 9. Taxas comunes en los diferentes muestreos en el lago de Güija en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.

Abril	Septiembre	Noviembre
<i>Mycrocystisaeruginosa</i>	<i>Lyngbyasp</i>	<i>Anabaena sp.</i>
<i>Aulacoseira granulata</i>	<i>Aulacoseira granulata</i>	<i>Microsystis aeruginosa</i>
<i>Coelastrumindicum</i>	<i>Cyclotella sp</i>	<i>Aulacoseira granulata</i>
<i>Coelastrumreticulatum</i>	<i>Nitzschia sp</i>	<i>Ceratiumhirundinella</i>
<i>Oocystislacustris</i>	<i>Synedraulna</i>	<i>Peridiniumsp.</i>
<i>Pandorinasp.</i>	<i>Chlamydomonassp</i>	<i>Pseudostaurastrumlobulatum</i>
<i>Staurastrum leptocladum</i>	<i>Coelastrumastroideum</i>	<i>Closteriummacicularis</i>
	<i>Eudorinasp</i>	<i>Eudorina</i>
	<i>Eutretramorusp</i>	<i>Eutretramorusglobosum</i>
	<i>Pseudoquadrigulasp</i>	<i>Monoraphidiumsp.</i>
	<i>Scenedesmussp</i>	<i>Mougeotiasp.</i>
	<i>Staurastrum leptocladum</i>	<i>OocytisLacustris</i>
	<i>Staurastrum sp</i>	<i>Pediastrum simplex</i>
		<i>Staurastrum leptocladum</i>

Se puede observar que los taxas comunes a los tres muestreos fueron *Aulacoseira granulata* y *Staurastrum leptocladum* ambas indicadores de eutrofización y alta productividad (Roldán, 2008).

Abundancia numérica y biomasa

La abundancia numérica oscilo entre 6,283ind.l⁻¹ en el clase Euglenophyta en la desembocadura del río Ostúa en el mes de noviembre y 1, 346, 870,019ind.l⁻¹ de la clase Cyanophyta en el mes de abril en la desembocadura del río Cusmapa.

De los tres muestreos la época de mayor abundancia es la época seca en el mes de abril, siendo la clase dominante las Cyanophyta presentando mayores cantidades en las desembocaduras de los ríos Cusmapa y Angue, siendo registrada la menor cantidad en la desembocadura del río Ostúa en el mes de abril. La razón por la cual las Cyanophyta dominan en cantidad es porque son colonias como *Mycrosystis*.

El mes que le sigue de riqueza cuantitativa a abril es noviembre donde la desembocadura del río Cusmapa presenta la mayor riqueza dominando siempre la clase Cyanophyta y el punto con menor riqueza fue la desembocadura del río Ostúa datos similares a los resultados del mes de abril.

En el mes de noviembre el sitio con mayor riqueza fue la desembocadura del río Cusmapa al igual que en los dos muestreos anteriores y el sitio con menor riqueza fue la desembocadura del río Ostúa.

En el gráfico51 se contempla que las Cyanophyta dominan en abundancia numérica en todos los sitios en más de un 95%. Las Cyanophytas son las comúnmente conocidas como algas verdes azules de esta división hay más de 150 géneros con unas 180 especies. Un grupo de estas algas presenta forma filamentosa lo cual dificulta al zooplancton poder alimentarse de ellas. Además ciertas especies plantónicas pueden originar floracionesalgales como la especie *Microcystis*, en estas condiciones el agua puede ser inadecuada para el consumo humano o de los animales domésticos y puede llegar a ser toxica para los peces y para otros organismos acuáticos, si la concentración es relativamente baja el resultado se limita a la aparición de un sabor u olor desagradable.

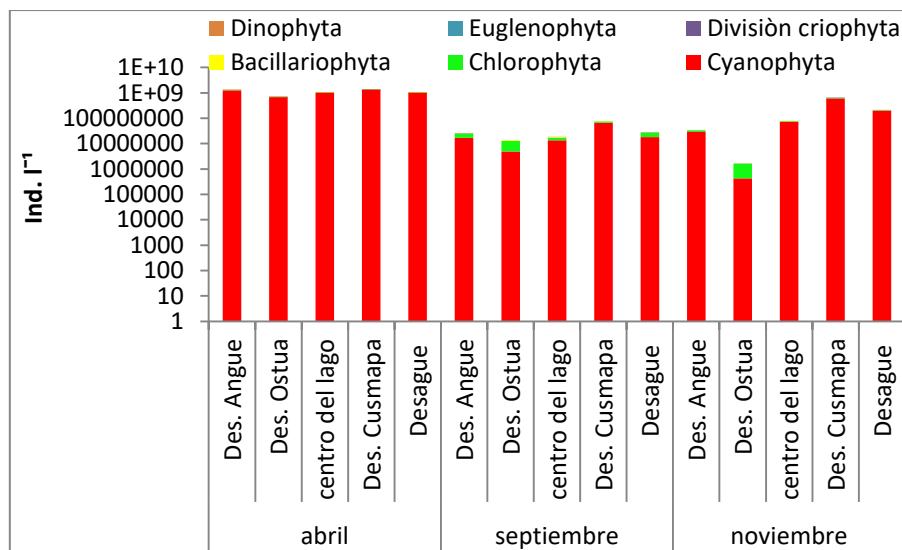


Gráfico51. Abundancia numérica del fitoplancton en cada uno de los sitios muestreados en el lago de Güija en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.

10.1.2.11.4 Zooplancton

10.1.2.11.4.1 Estructura comunitaria

La comunidad del zooplancton del lago de Güija estuvo conformada por 65 especies o géneros pertenecientes a 4 órdenes estos fueron rotífera, amoebozoa, gastrotrophia y arthropoda. La abundancia del zooplancton se relaciona con la riqueza de los peces, puesto que éste forma parte esencial de su alimentación.

En los gráficos 52, 53 y 54 se puede observar que el Phylum con mayor abundancia en los tres periodos de muestreo es rotífera quien dominó desde el 51% en el mes de noviembre hasta el 67% en el mes de septiembre. Los rotíferos dominan en condiciones eutróficas o también cuando el desarrollo de los crustáceos se inhibe por agentes externos como insecticidas organoclorados (Wetzel 1981). Los rotíferos son tolerantes a elementos contaminantes como agroquímicos, aceites y detergentes (Escobar *et al*, 2013).

El Phylum que le sigue al rotífera es el Arthropoda el cual vario del 28% en el mes de septiembre al 46% en el mes de abril. Los otros dos Phylum con porcentajes del 1% al 4% fueron Gastrotrophia y Amoebozoa los cuales se encontraron presentes solo en los meses de septiembre y noviembre.

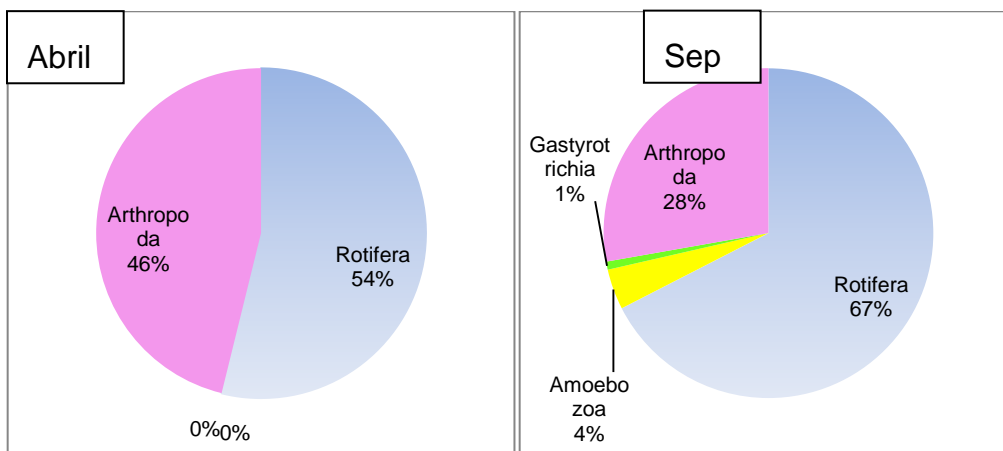


Gráfico52. Distribución del zooplancton

Gráfico53. Distribución del zooplancton

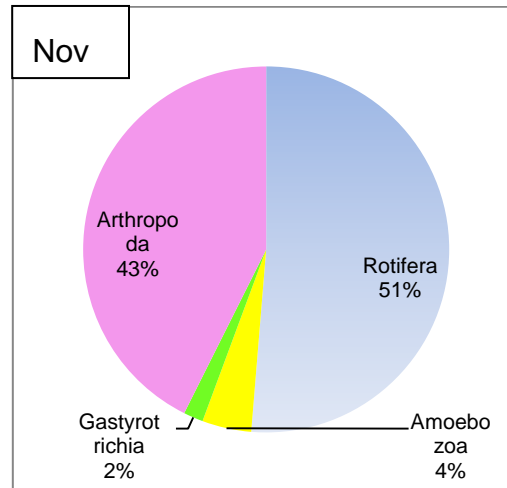


Gráfico54. Distribución del zooplancton

En los gráficos 52, 53 y 54 se presentan el comportamiento del zooplancton en el lago de Güija correspondientes a los meses de abril, septiembre y noviembre del año 2013.

En el gráfico 55 se presentan la composición de las comunidades zooplanctónicas en cada uno de los sitios en los meses muestreados. Se puede observar que el punto con menor diversidad fue el centro del lago en el mes de septiembre y el sitio con mayor diversidad fue la desembocadura del río Angue en el mes de septiembre.

Los órdenes comunes a todos los sitios fueron rotífera y Arthropoda, y los Phylum Amoebozoa solamente se encontraron en la época lluviosa en las desembocaduras de los ríos Angue, Ostúa y Cusmapa así como en el Desagüe. Y el género Gastrot richia fue encontrado solamente en cuatro sitios los cuales fueron desembocadura del Cusmapa en septiembre y noviembre, Desagüe septiembre, y desembocadura del río Ostúa en noviembre.

En el lago Cocibolca de Nicaragua se han reportado que el grupo que aportó numéricamente más a la riqueza de las especies fueron los rotíferos, estos constituyeron el 56% del total de las especies (Cano, 2003) situación que fue similar en los tres muestreos realizados en el lago de Güija en el 2013 donde la dominancia fue para los rotíferos en todos los sitios estudiados.

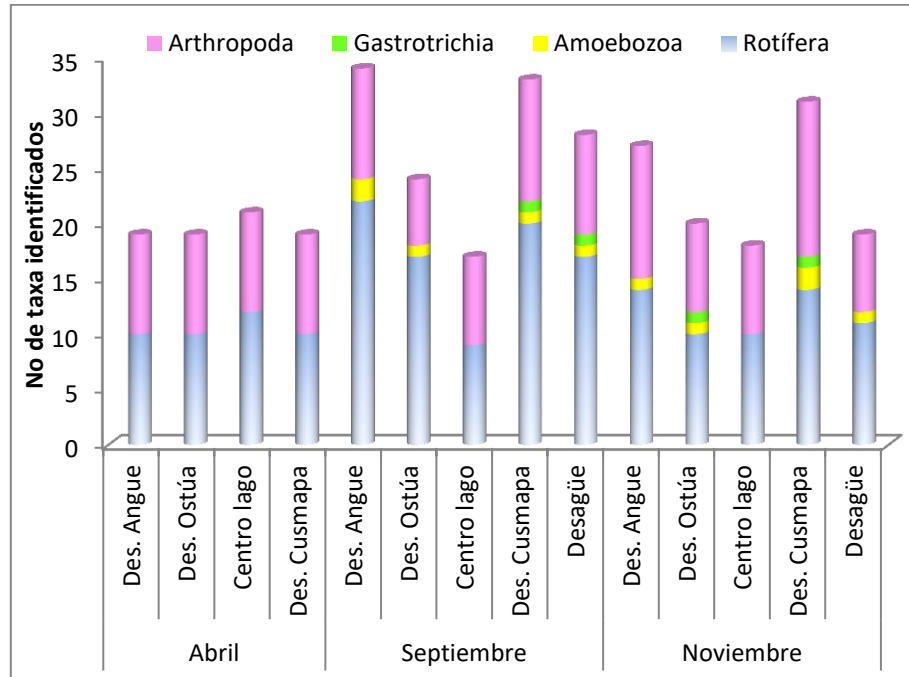


Gráfico55. Comportamiento del zooplancton por cada sitio de muestreos en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.

Los rotíferos poseen una gran variedad de especies y tasas reproductivas altas (Romero, 2008) lo cual permite que dominar en un 57% en todos los sitios muestreados.

El Phylum Arthropoda estuvo conformado por un total de 27 especies de las cuales 16 pertenecen la orden cladócera, 4 al orden cyclopoida y 3 al orden calanoida. El zooplancton que pertenece a este género tiene un alto rango de adaptabilidad a diferentes condiciones, algunos de ellos son indicadores de buena calidad del agua y otros de contaminación.

El Phylum amoebozoa son las comúnmente llamadas amebas estas se encontraron en un 57% de los sitios monitoreados durante los tres muestreos, solamente en los meses de septiembre y noviembre en igual proporción, los sitios en los que se presentó fueron los mismos, en las desembocaduras de los ríos Angue, Ostúa y Cusmapa y en el Desagüe. Sin embargo las amebas solo son significativas numéricamente en el mes de septiembre en la desembocadura del río Angue.

El Phylum que presento una menor distribución fue Gastyrotrichia que se encontró en el 27,5% de los sitios muestreados durante las tres campañas. Este Phylum se encontró en los meses de septiembre y noviembre en la desembocadura del Cusmapa, en el Desagüe en el mes de septiembre y la desembocadura del río Ostúa en noviembre.

10.1.2.11.4.2 Abundancia numérica

La abundancia numérica del zooplancton en el lago de Güija vario de 1585 ind.m³ en la desembocadura del río Ostúa en el mes de noviembre siendo la menor densidad y la mayor densidad se presentó en el mismo punto en la desembocadura del río Ostúa en el mes de septiembre con unos 855542ind.m³. En el gráfico56 que se muestra a continuación no se tomaron en cuenta los estadios lavarles y juveniles de copépodos.

En todos los sitios la densidad dominante la presento el Phylum Rotífera, seguida por el Phylum Arthropoda a excepción del Phylum Amoebozoa en la desembocadura del río Angue en el mes de septiembre. El Phylum que presento menor frecuencia y densidad fue Gastyrotrichia.

Trabajos realizados hasta ahora por investigadores muestran escalas donde constantemente el grupo tiene la mayor contribución a la riqueza de especies del zooplancton (Cano, 2004)

El único sitio que se puede apreciar donde aparece Amoebozoa en mayor cantidad es en la desembocadura del río Angue en el mes de septiembre con unos 16378 ind.m³, a pesar de que cualitativamente si se presenta en otros 7 sitios cuantitativamente no son tan significativos. Las amebas con bacterias son muy peligrosas para la salud humana, no solo por las enfermedades intestinales sino también por las enfermedades extra intestinales las cuales pueden afectar el hígado, los pulmones y el cerebro.

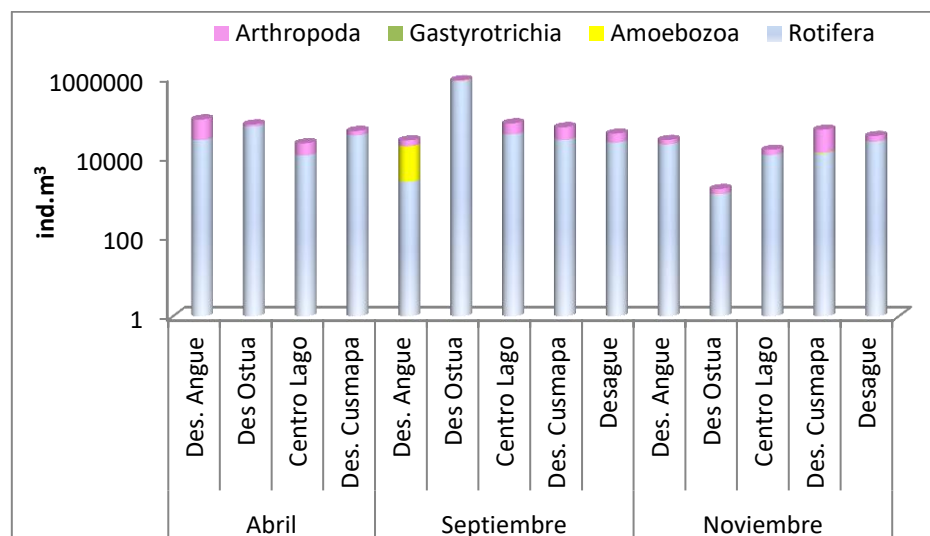


Gráfico56. Comportamiento de la densidad del zooplancton en el lago de Güija en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.

Una de las especies de zooplancton indicadoras de la calidad del agua es *Filineaopoliensis* la cual se instala en las capas con mayor concentración bacteriana, siendo buena indicadora de eutrofia (García, 2001) esta especie se encuentra en el 92% los sitios muestreados durante las tres épocas.

Según diferentes estudios realizados en los lagos tropicales es común la dominancia de los rotíferos, la cual está influida por los cambios en la temperatura, pH, luz y nutrientes variables que en los últimos años se han visto influenciadas por las actividades que el ser humano realiza en las cuencas.

En el siguiente gráfico se presentan las especies que tuvieron mayor presencia en los diferentes sitios de muestreos en tres épocas monitoreadas durante el 2013, el propósito de este gráfico es mostrar las especies comunes y comparar con la literatura si las especies dominantes son indicadoras buena calidad del agua.

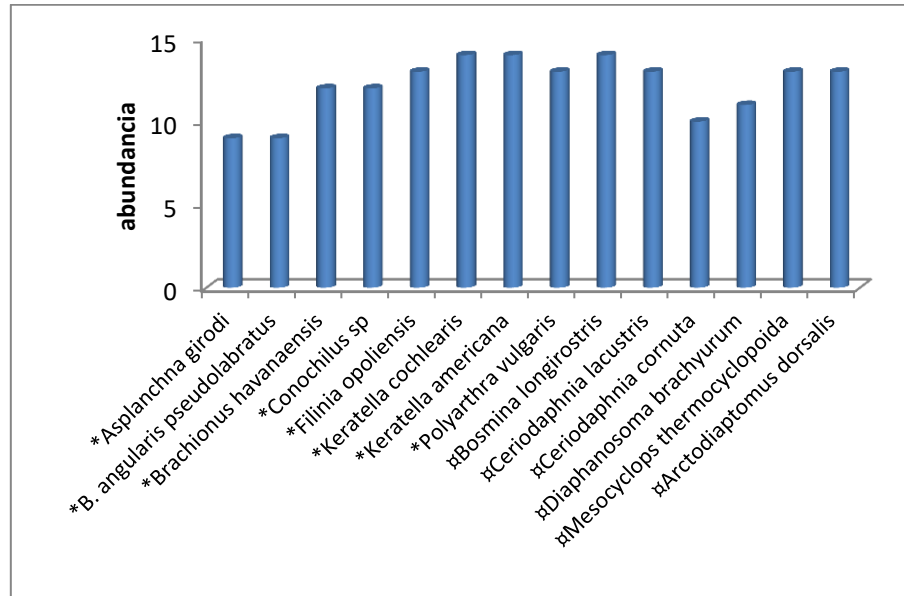


Gráfico57. Especies que presentaron mayor abundancia en las tres épocas de muestreo en el lago de Güija en el 2013.*Rotíferos xArthropoda

Brachionus angularis es una especie que tolera amplios rangos de temperatura y es un buen indicador de eutrofia. *Keratella cochlearis* Tolera cierto grado de mineralización y se desarrolla abundantemente en niveles tróficos de moderados a altos. (Gosse, 1851) *Bosmina longirostris* es un buen indicador de aguas eutróficas.

Las especies comunes en todos los sitios solo fueron 3 *Keratella cochlearis*, *Keratella americana* y *Bosmina longirostris*.

No se encontraron antecedentes del lago de Güija respecto al zooplancton por lo cual no se realizaron comparaciones.

10.1.2.11.5 Macroinvertebrados acuáticos

Riqueza taxonómica

En los ríos Angue, Ostúa y Cusmapa se identificaron un total de 12 grupos taxonómicos, los cuales estuvieron compuestos por 52 familias en las tres épocas de muestreo.

Para cada periodo la composición taxonómica de los macroinvertebrados vario para el mes de abril se encontraron un total de 58 taxa, en el mes de septiembre un total de 59, y en noviembre 46 taxa. La razón por la cual se encontraron menos taxa en noviembre es la influencia del arrastre de los macroinvertebrados por las corrientes de la época lluviosa.

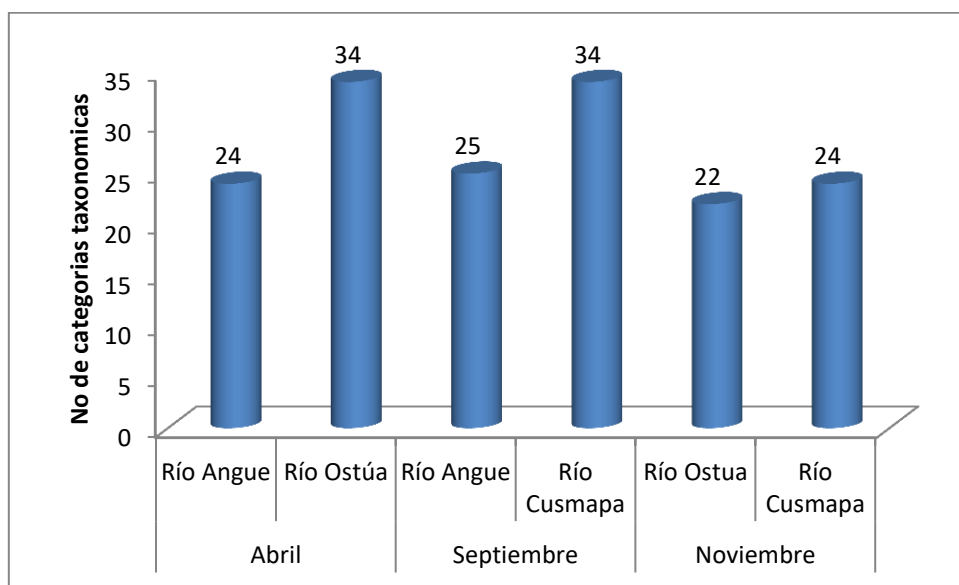


Grafico 58. Categorías taxonómicas encontradas en los ríos monitoreados en el 2013

Para los tres muestreos las familias con mayor representatividad fueron *Chironomidae* perteneciente a la orden díptera, y la familia *Leptohiphidae* la cual pertenece al orden *Ephemeroptera*, ambas órdenes frecuentes en todos los sitios. Los órdenes más variados encontrados fueron *Díptera* con 9 familias y *Trichoptera* con 8 familias representadas.

Abundancia comunitaria

En el mes de abril en el río Ostúa se encontraron once categorías taxonómicas de macroinvertebrados de los cuales el que presentó mayor abundancia fue el Ephemeroptera con 303 individuos contados y en este orden la familia con mayor abundancia fue Leptohiphidae. El siguiente orden que presentó mayor abundancia fue el Trichoptera con 257 individuos y la familia con mayor cantidad fue Helicopsychidae. El río Ostúa es el afluente que mayor caudal aporta al lago de Güija durante todo el año por lo tanto el que tenga una excelente calidad del agua en el mes de abril es un resultado importante.

En la siguiente gráfica se observa la distribución de individuos encontrados en cada uno de los órdenes encontrados en el río Ostúa en el mes de abril.

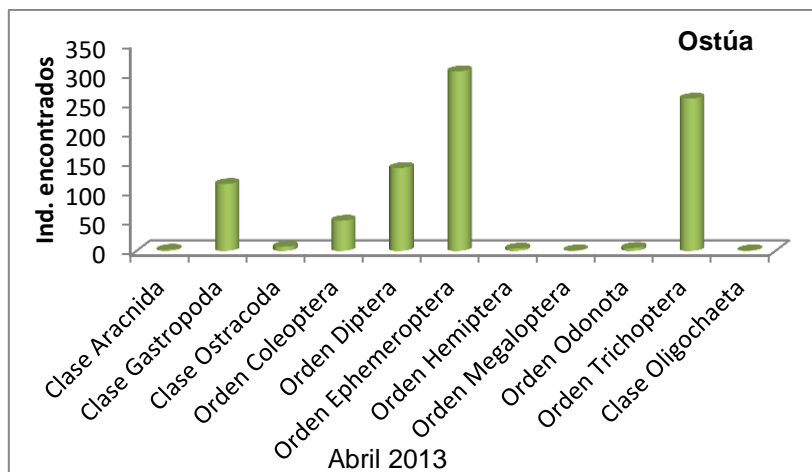


Gráfico 59. Distribución por órdenes y clases de los macroinvertebrados encontrados en el río Ostúa en el mes de abril de 2013.

En el río Angue se encontraron nueve órdenes, el más abundante en este río fue el Díptera con 695 individuos y la familia más abundante fue la Chironomidae, luego le siguió el orden Ephemeroptera con 226 individuos en total, la familia con mayor representación fue Leptohiphidae.

La familia más importante encontrada es la Perlidae indicadora de aguas de calidad excelente, la concentración de OD encontrada en campo fue de $6,9 \text{ mg.l}^{-1}$.

Esto indica que el agua de este río tiene una buena oxigenación y en este periodo hay poca contaminación orgánica.

La composición de los macroinvertebrados encontrados en el río Angue en el mes de abril del 2013 se presenta en el gráfico 59 a continuación.

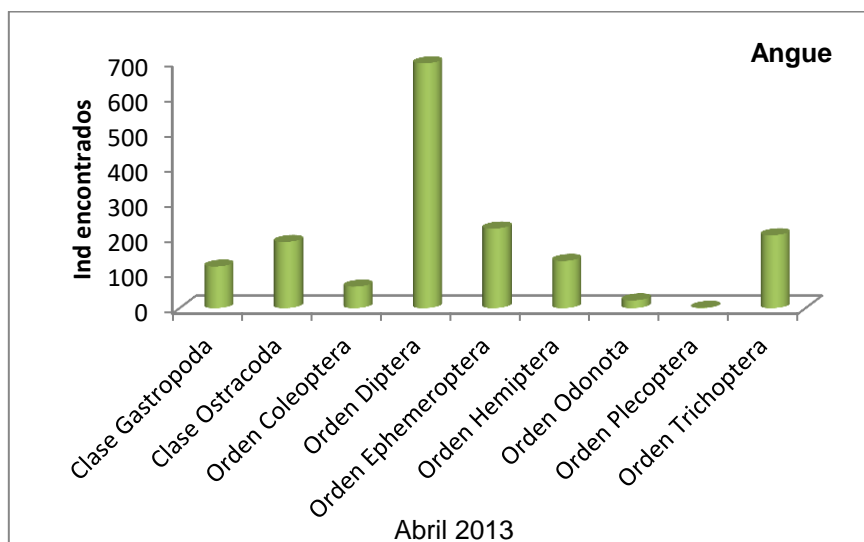


Gráfico 60. Distribución por órdenes y clases de los macroinvertebrados encontrados en el río Angue en el mes de abril de 2013.

En el río Cusmapa en el mes de septiembre cuando se muestreo por primera vez se encontraron un total de trece órdenes. De estos el que presento una mayor cantidad de individuos fue Díptera con un total del 302, y la familia más representativa fue Chironomidae. Seguido por el orden Ephemeroptera con 132 individuos contados y la familia con más representantes fue Leptohiphidae.

La familia más importante encontrada en el río Cusmapa es Perlidae (Orden Plecóptera) indicadora de aguas de calidad excelente. Esto indica que el agua de este río tiene una buena oxigenación y en este periodo hay poca contaminación orgánica. Curiosamente el resultado de la calidad del agua del río es regular pobre dado a que en el índice se toman en cuenta todos los individuos encontrados.

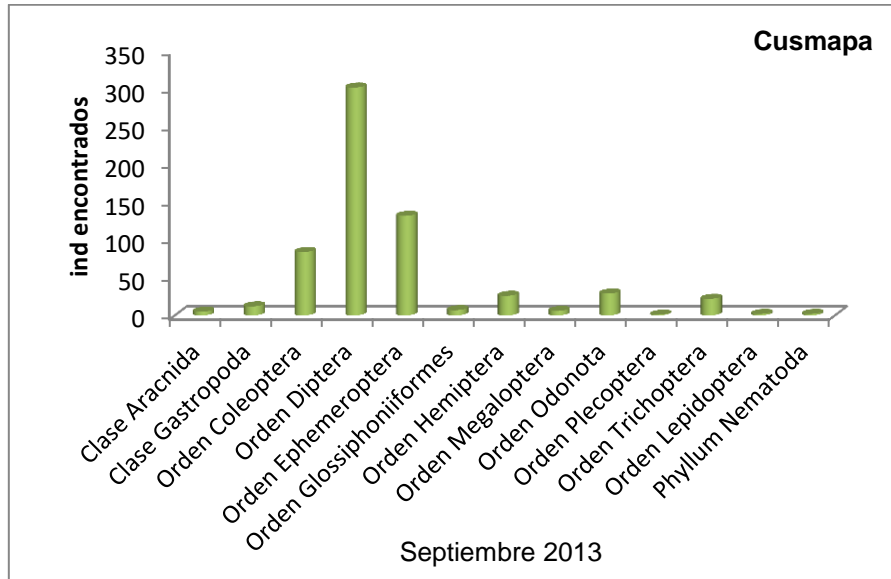


Gráfico 61. Distribución por clases y órdenes de los macroinvertebrados encontrados en el río Cusmapa en el mes de septiembre de 2013.

En el río Angue se encontraron once órdenes en el mes de septiembre. El orden con mayor cantidad de insectos acuáticos fue Coleóptera con un total de 112 individuos y la familia más abundante de este orden fue Leptohyphidae. Le sigue el orden Odonata con 72 individuos en donde la familia más abundante fue Gomphidae. En este río se encontraron cantidades significativas y similares en los órdenes Hemíptera, Ephemeroptera y Díptera.

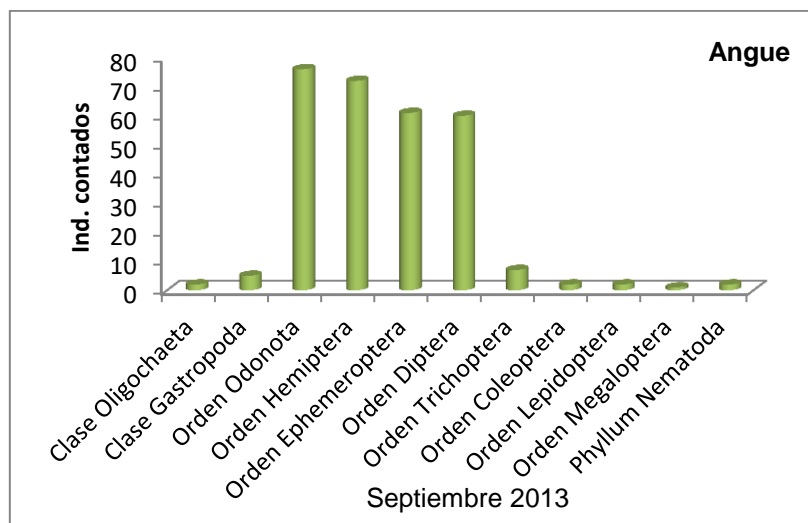


Gráfico 62. Distribución por órdenes y clases de los macroinvertebrados encontrados en el río Angue en el mes de septiembre de 2013.

En el río Cusmapa se encontraron un total de diez órdenes en el mes de noviembre, el más abundante fue el Díptera con un total de 107 individuos y la familia más representativa fue Chironomidae. Le sigue el orden Ephemeroptera con 83 individuos y la familia más representativa en este orden fue Leptohiphidae.

En la siguiente gráfica se muestra la distribución de los macroinvertebrados acuáticos por órdenes encontrados en el río Cusmapa.

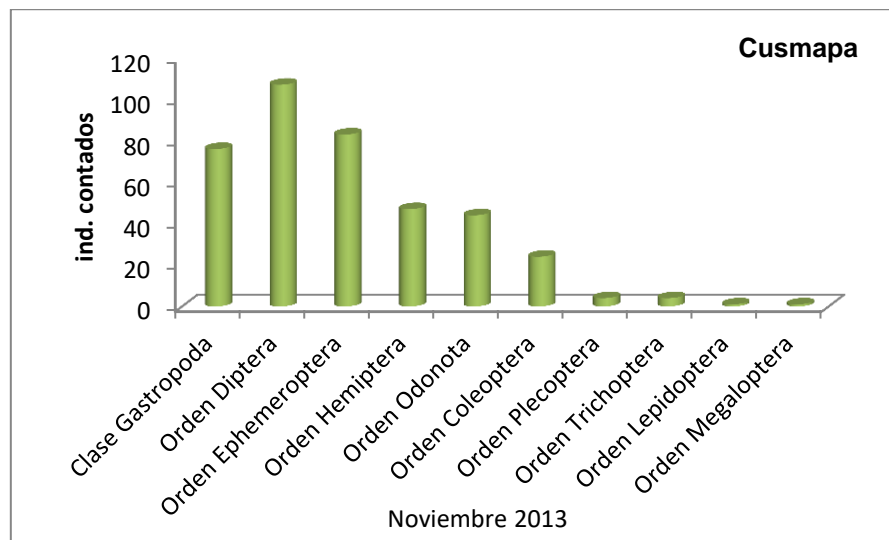


Gráfico 63. Distribución por órdenes y clases de los macroinvertebrados encontrados en el río Cusmapa en el mes de noviembre de 2013.

En cuanto al río Ostúa en el mes de noviembre se identificaron un total de once órdenes de los cuales los más abundantes en igual cantidad de individuos fueron Díptera y Coleóptera, las familias más representativas de estos órdenes respectivamente fueron Chironomidae y Elmidae. También en el orden Plecóptera se encontraron 2 individuos de la familia Perlidae, esta familia es representante de aguas con poca contaminación orgánica.

En el río Ostúa el mes de noviembre se encontró la mayor cantidad de Perlidae con un total de 4 individuos. La calidad biológica del agua de este río se

comportó similar en el mes de abril y noviembre dando como resultado una calidad de agua excelente con una contaminación orgánica improbable.

En la siguiente grafica se muestran la distribución de los macroinvertebrados en cada uno de los órdenes identificados

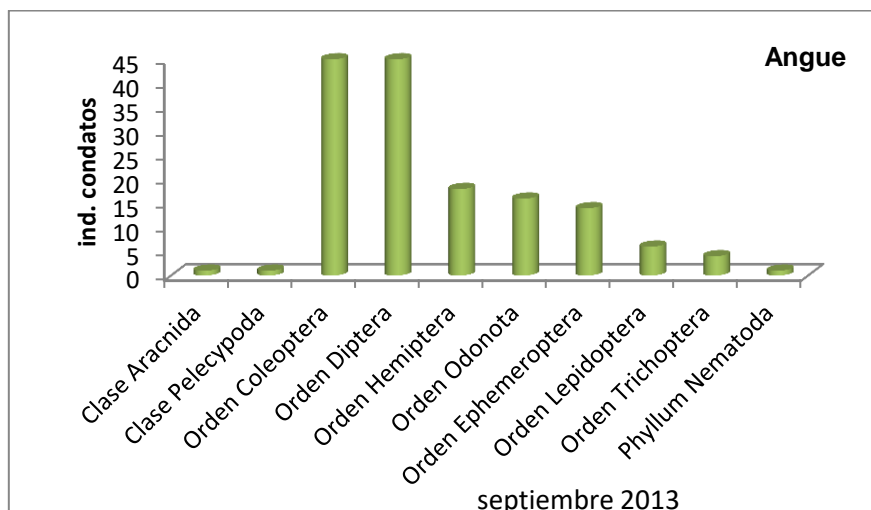


Gráfico 64. Distribución por órdenes y clases de los macroinvertebrados encontrados en el río Angue en el mes de septiembre de 2013.

En los ríos estudiados en ninguno existen antecedentes documentados sobre análisis de calidad del agua con macroinvertebrados así que no se puede realizar una comparación años atrás. En los estudios realizados por la Universidad de El Salvador no fueron muestreados los ríos Angue, Ostúa y Cusmapa.

Sin embargo en el 2013 en los diferentes meses se encontraron se encontraron calidades excelentes de agua en los ríos Angue, Cusmapa y Ostúa los meses de septiembre, abril y noviembre.

En el lago se muestrearon cinco sitios tomando a partir de sedimentos con una draga tipo Petit Ponart para la recolecta de macroinvertebrados acuáticos. Dado a que los índices de calidad de agua con macroinvertebrados no son aplicables en lagos ya que han sido diseñados para ríos, no se calculó el IBF-SV. Los índices no son aplicables dado a que las familias de macroinvertebrados que se encuentran en los lagos generalmente son poco diversas y presentan cantidades altas de

individuos, además de que las características físicas y químicas de los lagos difieren completamente de las de los ríos (comunicación personal, Salvatierra, 2014).

En total se encontraron 16 órdenes de macroinvertebrados en el lago de Güija, los más abundantes fueron: Díptera, Gastropoda, Arthropoda y la clase Ostrácoda. En la época seca se encontró una mayor cantidad de individuos que en la lluviosa y en la salida del invierno respectivamente.

En la siguiente tabla se presentan por época o por cada muestreo un resumen de los órdenes y las cantidades por metro cuadrado de individuos encontrados.

Tabla 7. Clasificación de los macroinvertebrados encontrados en el lago de Güija en los meses de abril, septiembre y noviembre del 2013. El orden taxonómico: Phylum Nematoda; Phylum Annelida/Clase Oligochaeta/Orden Haplotaxida/Familia Tubificidae, Clase Hirudinea/Orden Rynchobdellida/Familia Glossiphoniidae; Phylum Arthropoda/Clase Ostracoda/Orden Podocopida/Familia (hay varias), Clase Insecta/Orden Ephemeroptera, Orden Odonata, Orden Coleoptera, Orden Trichoptera, Orden Diptera, Clase Arachnoidea (investiga el resto); Phylum Mollusca/Clase Gastropoda

Categorías taxonómicas	Época seca		Época lluviosa		Salida época lluviosa	
	Densidad Poblacional (Ind/M-2)	Abundancia Numérica (%)	DP (Ind/M-2)	AN (%)	DP (Ind/M-2)	AN (%)
Orden Díptera	475	9,0	1085	24,8	44	4,1
Clase Ostrácoda	3780	71,6	247	5,6	0	0
Clase Arácnida	288	5,5	0	0	0	0
Orden Glossiphoniiformes	490	9,3	108	2,5	0	0
Clase Oligochaeta	202	3,8	0	0	0	0
Filo Mollusca	11	0,2	15	0,3	0	0
Filo Anélida	33	0,6	0	0	0	0
Clase Gastropoda	0	0	1075	24,6	14	1,3
Phylum Coleóptera	0	0	45	1,0	130	12,1
Phylum Nematoda	0	0	1797	41,1	0	0
Orden Ephemeroptera	0	0	0		130	12,1
Orden Odonata	0	0	0	0	86	8,0

Phyllum Arthropoda	0	0	0	0	664	61,8
Orden Ephemeroptera	0	0	0	0	3	0,3
Orden Odonata	0	0	0	0	2	0,2
Orden Trichoptera	0	0	0	0	1	0,1
TOTAL	5279	100,0	4372	100	1074	100,0

Considerando que en las diferentes épocas los órdenes encontrados varían se presentan gráficos por cada época.

En el mes de abril la clase más abundante fue Ostrácoda con un total de 3780 ind/m², el género no fue identificado. Luego le siguió el orden glossiphoniiformes con un total de 490 ind/m² y la única familia de este orden fue Glossiphonidae.

En el siguiente gráfico se presenta las cantidades en cada género identificado para el mes de abril 2013.

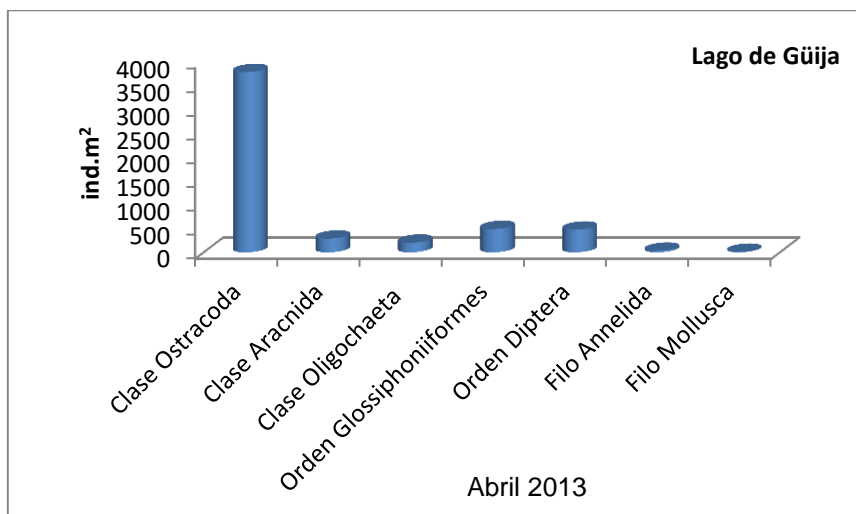


Gráfico 65. Distribución por órdenes y clases de los macroinvertebrados encontrados en el lago de Güija en mes de abril 2013.

En el mes de septiembre o la época lluviosa, se encontraron siete ordenes de macroinvertebrados en este mes el más abundante fue Nematoda con 1797 ind/m², el género no fue identificado. El segundo orden con mayor cantidad fue Díptera con 1085 ind/m², la familia más representativa Chironomidae. La cantidad

de la clase Gastropoda también fue significativa con 1075 individuos por metro cuadrado.

Los ostrácodos son organismos de elevada eurocicidad, abarcando amplios rangos en las características físico-químicas de las aguas (conductividad, OD, alcalinidad, etc.) (Pujante, 1997)

Es importante mencionar que esta calidad obtenida con el índice IBF-SV es para fines biológicos y no de consumo humano ya que hay otras cualidades que deben ser tomadas muy en cuenta para el consumo humano.

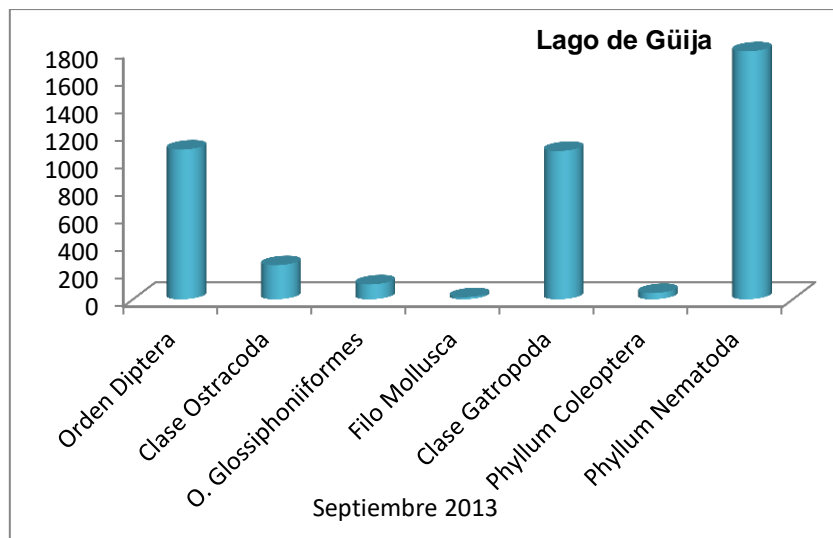


Gráfico 66. Distribución por órdenes y clases de los macroinvertebrados encontrados en el lago de Güija en mes de septiembre 2013.

En el mes de noviembre en el lago de Güija se identificaron nueve órdenes, de los cuales el más abundante fue el Arthropoda con un total de 664 ind/m², la familia no fue identificada. Seguidamente se encontraron los Fila Coleóptera y Ephemeroptera ambos con 130 ind/m², las familias más numerosas fueron Elmidae y Leptohyphidae, respectivamente.

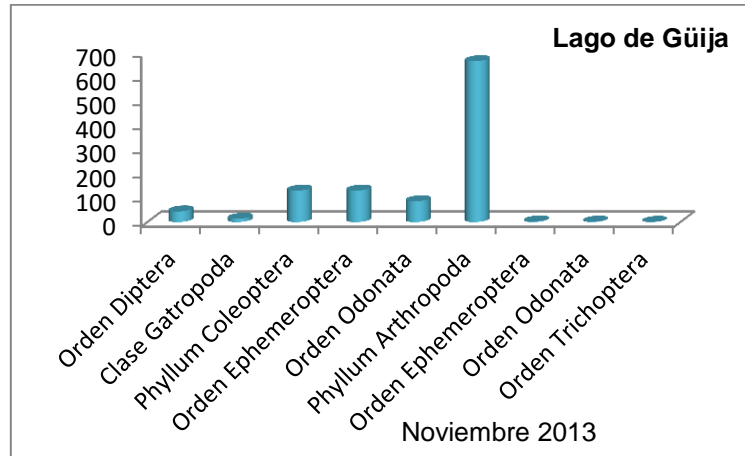
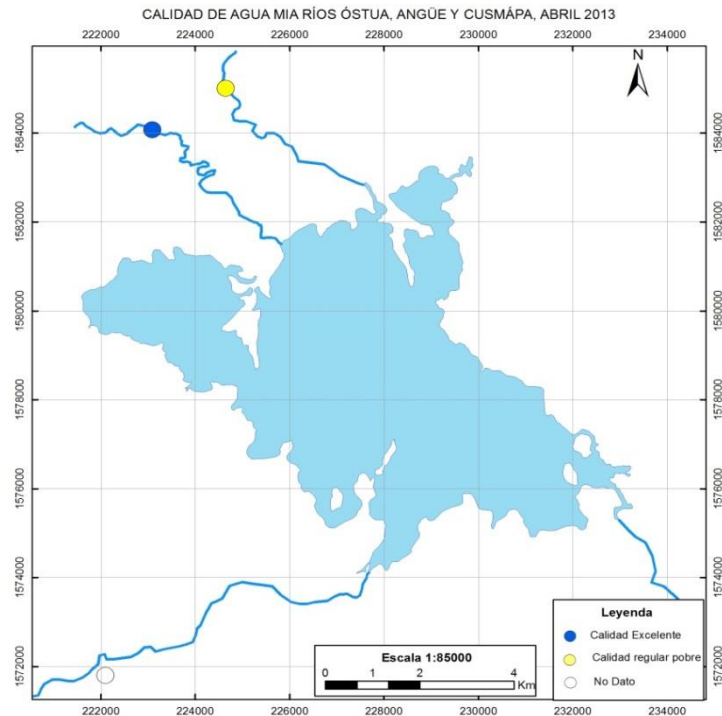


Gráfico 67. Distribución por órdenes y clases de los macroinvertebrados encontrados en el lago de Güija en mes de noviembre 2013.

Índice Biológico de Familias (IBF).

Según los resultados (mapa 25) del el IBF-SV en el mes de abril el río Angue presenta una calidad de agua regular pobre con una contaminación sustancial probable y el río Ostúa tiene una calidad excelente con contaminación orgánica improbable según los macroinvertebrados acuáticos encontrados. Los resultados obtenidos con los macroinvertebrados también están relacionados con los niveles de oxígeno disuelto en el agua, en general los cuerpos de agua estudiados tienen niveles indicados de oxígeno para la vida acuática según Roldan.

En el mes de abril el río Cusmapa se encontraba completamente seco razón por la cual no se realizó recolecta de macroinvertebrados, en este punto por esta razón no se tienen datos en este sitio de muestreo. A continuación se presenta un mapa donde se puede observar la distribución espacial de la calidad del agua de los ríos Angue y Ostúa.



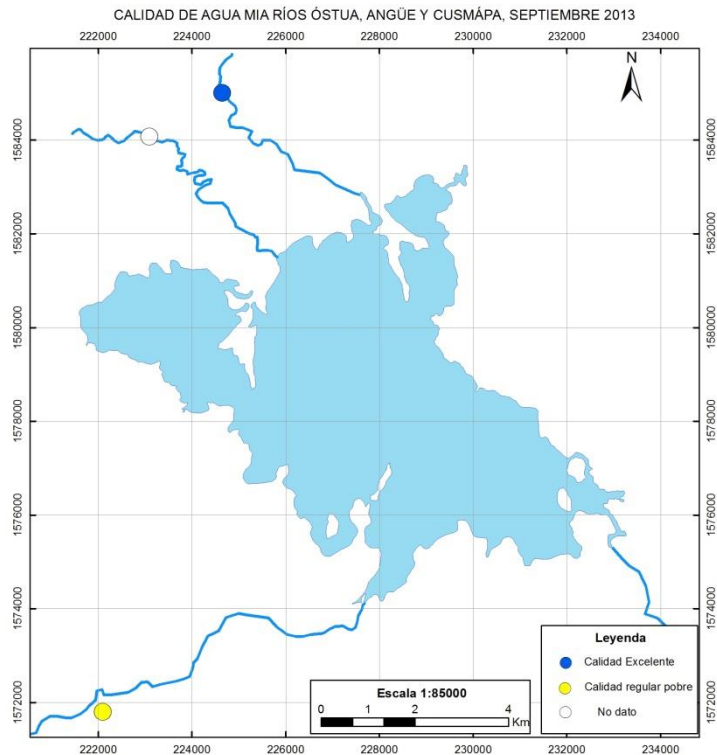
Mapa 23. Calidad del agua en el mes de abril en los ríos afluentes del lago de Güija en base a los macroinvertebrados acuáticos.

En el mes de septiembre según el IBF-SV el río Angue tiene una calidad excelente con contaminación orgánica improbable, la calidad de agua de este río mejoro en comparación con los resultados del mes de abril. Sin embargo el río Cusmapa tiene una calidad pobre con contaminación muy sustancial probable, lo cual se debe al arrastre y descomposición de materia orgánica en el lecho del río en especial porque este se encontró seco en la época seca.

El río Ostúa presento un caudal muy alto dado a las fuertes lluvias de la época y no fue posible muestrearle e incluso se intentó con la draga y esta era arrastrada

por la corriente. Además es posible que las poblaciones de macroinvertebrados se vean afectadas por las fuertes corrientes y los individuos sean arrastrados, a excepción de las familias que se han adaptado a las corrientes rápidas.

En el siguiente mapa se muestran los resultados del IBF-SV obtenidos para el mes de septiembre 2013 en los ríos Angue y Cusmapa.



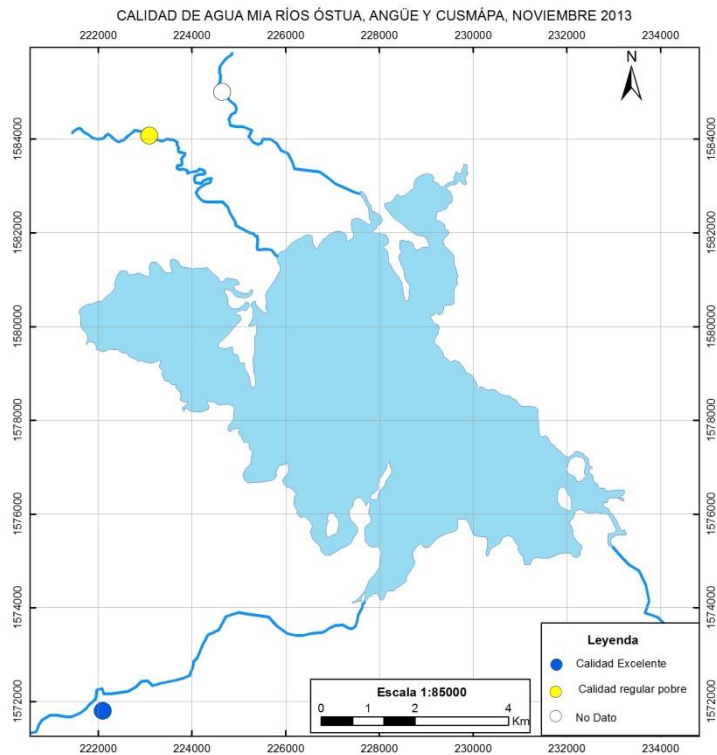
Mapa 24. Calidad del agua en el mes de abril en los ríos afluentes del lago de Güija en base a los macroinvertebrados acuáticos.

En base a los resultados obtenidos a través de la aplicación del IBF-SV en el mes de noviembre se puede asumir que el río Ostúa tiene una calidad pobre con contaminación muy sustancial probable.

En cambio el río Cusmapa presenta una calidad excelente con contaminación orgánica improbable. La calidad de agua de este río mejoro en comparación con los resultados obtenidos en el mes de septiembre lo cual se pudo deber que en el

mes de septiembre parte de la materia orgánica presente en lecho del río así como en la rivera ya ha sido degradada y arrastrada en los meses lluviosos.

En el siguiente mapa se muestran los resultados del IBF-SV obtenidos para el mes de septiembre 2013.



Mapa 25. Calidad del agua en el mes de septiembre en los ríos afluentes del lago de Güija en base a los macroinvertebrados acuáticos.

Las calidades de las aguas calculadas en este estudio son mejores en comparación a las obtenidas por la Universidad de El Salvador a nivel nacional, esto debido a que se encontró una alta diversidad de individuos y gran parte de ellos son indicadores de buena calidad del agua. Resultados similares se obtuvieron en una investigación realizada en la cuenca del río Viejo en Nicaragua realizada por el CIRA.

Granulometría

Los análisis de granulometría solamente se hicieron para tres sitios los cuales fueron la desembocadura del río Ostúa, el centro del lago y el río Desagüe. Lo anterior debido a que se espera que no haya muchas variaciones en los resultados obtenidos en otros puntos.

La constitución del sedimento de la desembocadura del río Ostúa está compuesta mayormente por arena fina (53%), seguida por el limo grueso (15%) y la arena media(13%). La composición es típica de la desembocadura de un río ya que este arrastra material particulado grueso en su mayoría de la cuenca.

El centro del lago sin embargo su mayor composición es arcilla (62%), seguido por limo fino (22) y limo medio (9%). El centro del lago es el sitio de mayor profundidad en el lago lo que está relacionado con la alta concentración de las arcillas que se han venido depositando a través del tiempo. Los resultados de granulometría en especial las arcillas presentan la misma tendencia con las concentraciones de mercurio en sedimento, lo cual indica que hay una mayor superficie de exposición en las arcillas que en las arenas lo cual permite una mejor adhesión del mercurio en los sedimentos.

El Desagüe presento una composición mayoritaria de arcilla (41%), arena fina (28%) y limo grueso (17%) una composición similar al centro del lago y la desembocadura del rio Ostúa.

En la cuenca del lago se realizan actividades como agricultura intensiva lo cual incrementa la pérdida de los suelos. La deforestación de la zona también influye en la sedimentación del lago. La presencia de sedimentos tipo arcillas es muy importante porque estas tienen una mayor superficie de contacto y más iones expuesto a los cuales los contaminantes se pueden adherir.

En la siguiente grafica 67 se presenta la composición de las muestras de sedimentos para los tres sitios monitoreados en el lago de Güija en el 2014.

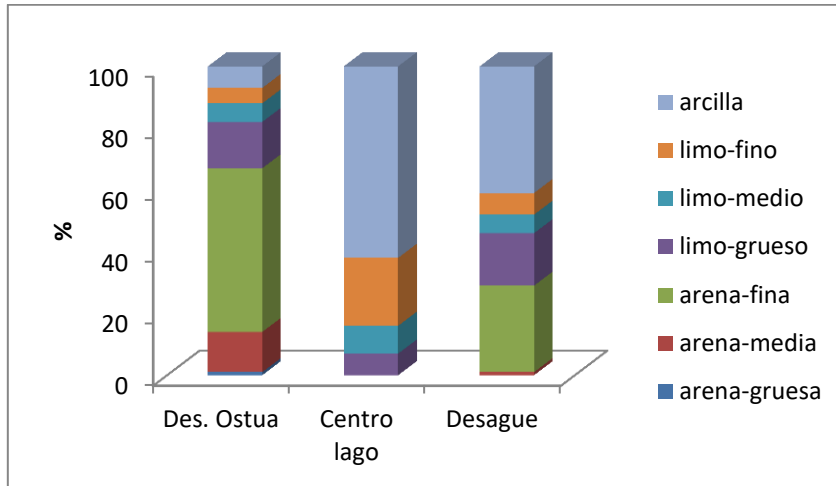


Gráfico68. Composición porcentual de las diferentes fracciones del sedimento en la desembocadura del río Ostúa, el centro del lago y el río Desagüe en el mes de mayo 2014.

Caudales en los ríos Ostúa, Angue y Cusmapa

Los resultados obtenidos para caudales usando el método de flotadores se presentan en el gráfico64. El río con mayor caudal fue el Ostúa en todos los meses pero su mayor caudal fue en el mes de septiembre donde se estimaron $67\text{m}^3/\text{seg}$. Estos datos pueden ser diferentes a la realidad dado a que el método del flotador es inexacto. Del lago y del río Desagüe no se tienen datos sobre caudales, solamente de niveles.

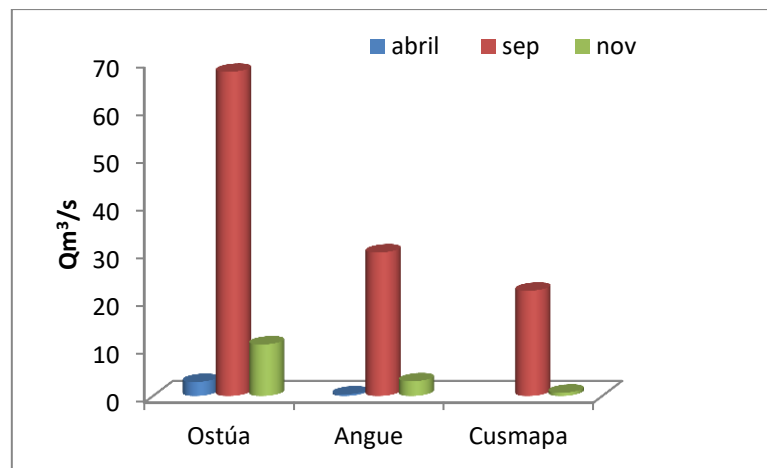


Gráfico 69. Comportamiento del caudal de los ríos Angue, Ostúa y Cusmapa en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.

Los caudales de los ríos están relacionados con los resultados de macroinvertebrados, dado a que cuando un río presenta mayor caudal es posible que se encuentren menos familias de insectos acuáticos. Los caudales también son importantes con respecto a la calidad del agua ya que son los ríos los que alimentan al lago, si la calidad del agua de los ríos es mala la calidad del agua del lago será degradada también.

10.2 Estado trófico de los ríos afluentes y del lago de Güija

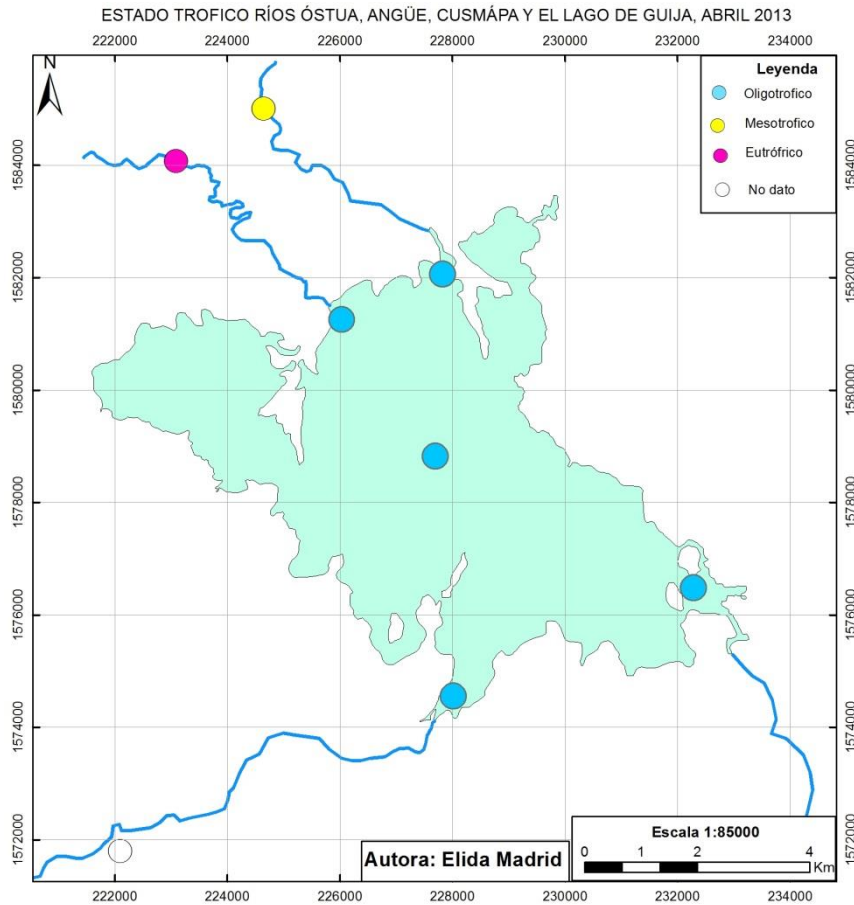
Haciendo uso del índice de Toledo modificado se calculó el estado trófico del lago de Güija y los ríos afluentes y efluente, y los resultados obtenidos fueron los siguientes:

En el mes de abril se obtuvieron los mejores estados tróficos como se puede observar en el mapa 27, todos los sitios en el lago tanto las desembocaduras como el centro del lago y El Desagüe tuvieron un estado oligotrófico lo que significa que la calidad del agua es buena con bajo contenido de nutrientes (fosforo y nitrógeno) y con transparencia alta lo cual permite a la luz entrar más profundo en los cuerpos de agua y así el cuerpo de agua tiene una mayor zona fótica.

El tener un estado oligotrófico se debe a un aporte mínimo de nutrientes desde los ecosistemas terrestres y otras fuentes externas (Smith, 2001). En este estado trófico se manifiesta una baja productividad primaria ya que debido a la escases de nutrientes el crecimiento del fitoplancton es limitado favoreciendo así el desarrollo de la flora béntica, la cual mantiene en equilibrio al ecosistema acuático al suministrar alimento, hábitat y principalmente oxígeno disuelto (Wright, 1999).

El río Angue es el único lugar que para el mes de abril presenta un estado Mesotrófico el cual significa que el cuerpo de agua tiene características intermedias de eutrofización.

El río Ostúa presenta un estado eutrófico lo que significa que tiene un alto contenido de nutrientes lo que puede provocar una producción vegetal excesiva.

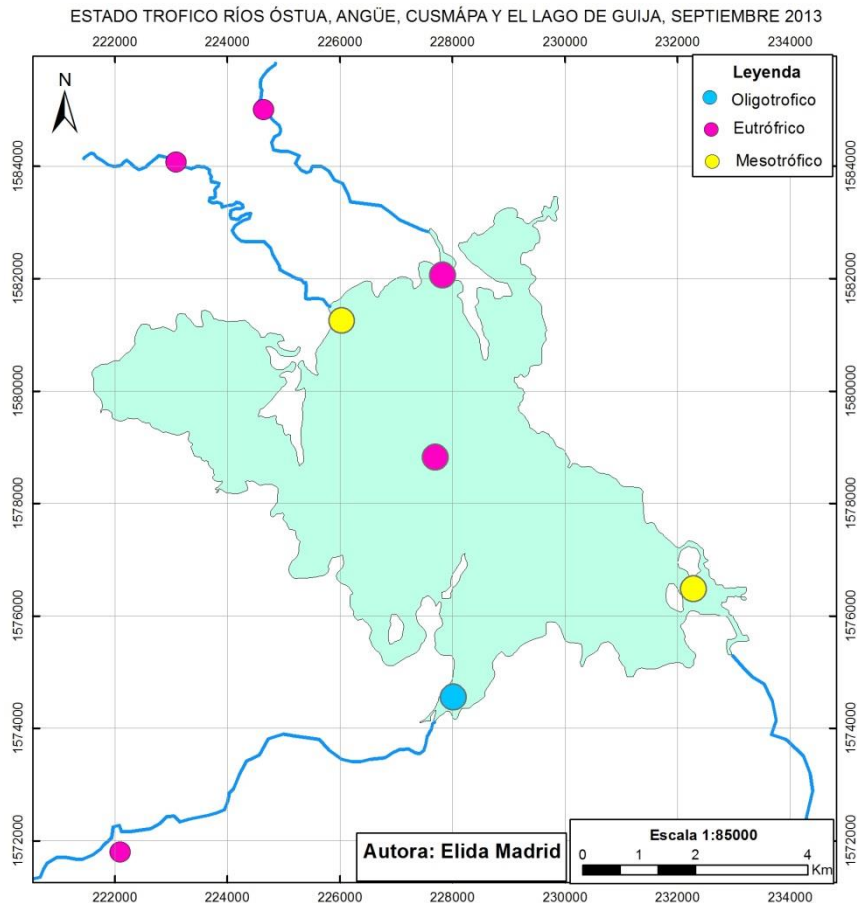


Mapa 26. Resultado de los estados tróficos según Toledo en el mes de abril 2013

En el mes de septiembre los estados tróficos varían en comparación con el mes de noviembre en la mayoría de los sitios a excepción de la desembocadura del río Cusmapa que se mantiene oligotrófico. En estado eutrófico se encontraron el río Ostúa, el río Angue y su desembocadura así como también el centro del lago y el río Cusmapa.

Como Mesotrófico se encuentran la desembocadura del río Ostúa y el río El Desagüe. Como se puede observar los estados tróficos variaron de abril a septiembre presentándose más sitios eutrofizados en el mes de septiembre, esto se debe a que las lluvias a través de la escorrentía atrae materia orgánica a los ríos y posteriormente al lago, al descomponerse esta materia orgánica provoca

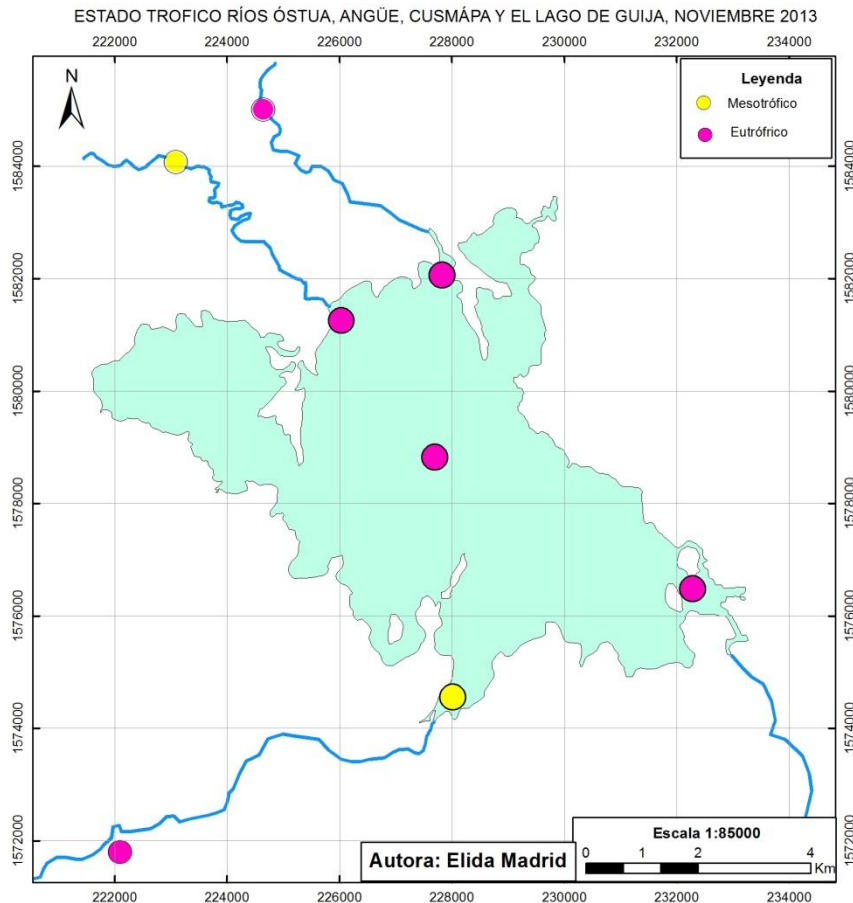
que el nitrógeno y el fósforo aumente en los cuerpos de agua. La transparencia disminuye por las partículas en suspensión así como los sedimentos los cuales son llevados con la escorrentía a los ríos y finalmente al lago como resultado aumentan los niveles de eutrofización.



Mapa 27. Resultado de los estados tróficos según Toledo en el mes de septiembre 2013

En el mes de noviembre la calidad del agua se deteriora aún más según los resultados obtenidos de los niveles de eutrofización. En este mes dos sitios se muestran como mesotróficos estos fueron el río Óstua y la desembocadura del río Cusmápa con características intermedias de eutrofización, mientras que los otros seis sitios se categorizaron como eutróficos.

De abril a noviembre la calidad del agua se deteriora, durante la época seca la entrada de nutrientes al sistema es casi nula pero en el invierno se incrementa con las lluvias y el arrastre de los residuos a través de la escorrentía.



Mapa 28. Resultado de los estados tróficos según Toledo en el mes de septiembre 2013

En base a los resultados publicados (García, 2008) tomando los valores de clorofila a, fosforo total y Ortofosfato se calculó el índice de estado trófico modificado por Toledo en tres sitios los cuales fueron la desembocadura del río Ostúa, centro del lago y el Desagüe en los meses de julio y octubre del año 2007.

En promedio en dichos puntos se obtuvo que para el mes de julio un estado muy cercano al Hipereutrófico con 73,38 en el índice. En el mes de octubre se obtuvo una mejor calidad con un estado eutrófico y con un índice promedio de 67,53.

En el 2013 en los tres muestreos se obtuvo un promedio general de índice de 51,4 lo cual clasificaría al lago y a los ríos en un estado mesotrófico esto indicaría que la calidad del agua en el lago ha mejorado en estos años a pesar de la presión que tienen los recursos hídricos en la zona en especial para usos agrícolas.

En la siguiente tabla se presentan cada uno de los resultados obtenidos aplicando el índice de Toledo, tanto para los ríos como para los sitios dentro del lago. Se obtuvo un mínimo de 33 (oligotrófico) y un máximo de 65 (eutrófico).

Tabla 9. Valores de índices tróficos obtenidos a través de Toledo en los diferentes sitios de estudio, para los meses de abril, septiembre y noviembre 2013

Sitio de muestreo	IET	abril	IET	septiembre	IET	noviembre
Río Ostúa	55	Eutrófico	56	Eutrófico	50	Mesotrófico
Río Angue	53	Mesotrófico	61	Eutrófico	54	Mesotrófico
Río Cusmapa			61	Eutrófico	55	Eutrófico
Desembocadura río Angue	39	Oligotrófico	58	Eutrófico	60	Eutrófico
Desembocadura río Cusmapa	43	Oligotrófico	54	Mesotrófico	65	Eutrófico
Desembocadura río Cusmapa	40	Oligotrófico	39	Oligotrófico	52	Mesotrófico
Centro del lago	33	Oligotrófico	59	Eutrófico	61	Eutrófico
Río El Desagüe	34	Oligotrófico	51	Mesotrófico	58	Eutrófico

Los resultados obtenidos con el índice de Toledo son similares a los resultados obtenidos con el índice de calidad de agua usando diatomeas, ambos indican que hay cierto grado de eutrofización el cual se debe de tomar en cuenta para hacer un mejor manejo de los recursos hídricos y los desechos de las cuencas involucradas en este estudio.

10.3 Análisis de los metales encontrados en el río Desagüe.

En el río El Desagüe a la altura del puente del ferrocarril se tomó una de las muestra de agua para análisis de metales pesados. Dicha muestra solamente se tomó en el Desagüe ya que en el lago de Güija el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales ya se encuentra realizando un monitoreo de metales pesados, debido a la “presencia” de la actividad minera en territorio guatemalteco con el proyecto Cerro Blanco el cual se encuentra en el municipio de Asunción Mita Departamento de Jutiapa.

En total se analizaron 10 elementos en matriz agua: Aluminio, Arsénico, Cadmio, Manganeso, Zinc, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel y Plomo. De los metales analizados solamente fueron detectables por el equipo utilizado para el análisis: Aluminio, Arsénico, Cadmio y Manganeso. Los metales no detectados en muestras de agua fueron: Zinc, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel y Plomo. Lo que significa que las concentraciones de estos metales son muy bajas.

Para los metales que si fueron detectados se realizó una comparación de los valores guías así como de los valores máximos permitidos por diferentes entidades reguladoras de la calidad del agua. Estas entidades son la Organización Panamericana de la Salud (OPS), Normas regionales CAPRE, Norma de Agua Potable Salvadoreña (NAPS) y las Normas de Calidad de agua de Canadá (CWQ por sus siglas en ingles).

Comparando los resultados obtenidos con respecto a los límites establecidos el Cadmio, Arsénico y el Manganeso no sobre pasan los límites de las normas CAPRE, NAPS y las normas Canadienses.

El Aluminio sin embargo sobrepasa los límites establecidos por las normas CAPRE y las salvadoreñas así como las normas Canadienses que están enfocadas en la vida acuática. El aluminio podría ser más toxico de que se considera. Según las normas Canadienses para la vida acuática no hay normas establecidas, solamente tentativa y es de $5\mu\text{g.l}^{-1}$ mucho menor a los límites

establecidos por las Normas CAPRE y las normas Salvadoreñas para el consumo humano.

Tabla 10. Elementos encontrados por encima de los límites de detección en el río Desagüe en el mes de septiembre de 2013. .

Parámetros	Resultados	Unidades	OPS	CAPRE	NAPS	CWQ
Aluminio total	364,71	µg.l ⁻¹	N/D	200	200	5
Arsénico total	4,18	µg.l ⁻¹	10	10	10	50
Cadmio total	0,16	µg.l ⁻¹	3	3	3	0,8
Manganeso total	81,54	µg.l ⁻¹	400	500	100	N/D

A continuación se presenta gráficamente el comportamiento de los elementos que se encontraron, el único que no cumple con los límites establecidos para la vida acuática y el consumo humano es el Aluminio.

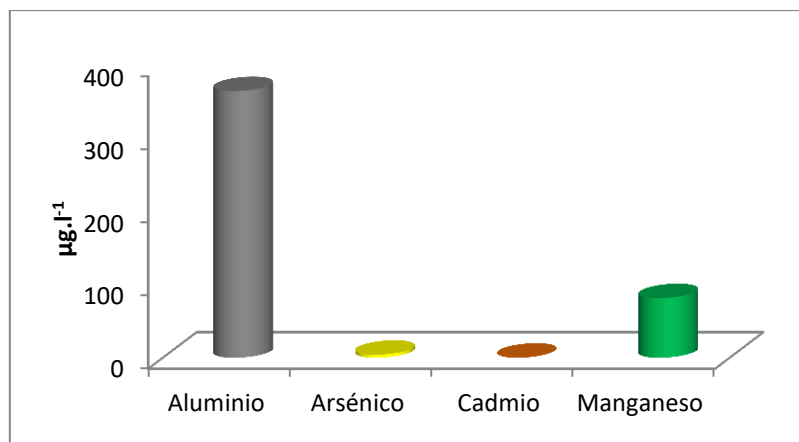


Gráfico 70. Concentraciones encontradas de Aluminio, Arsénico, Cadmio y Manganeso en el río Desagüe en septiembre 2013.

El aluminio es uno de los elementos metálicos más abundantes en la corteza terrestre. Es liberado al medio por procesos naturales, procesos de erosión del suelo y erupciones volcánicas, y por acciones antropogénicas (Trejo & Hernández, 2004). El aluminio también puede ser de origen antropogénico como productos domésticos (antiácidos, astringentes, aditivos para alimentos, cosméticos y

desodorantes) tratamiento de aguas con altos niveles de material suspendido, abrasivos, etc. (Mena, 2014).

En este estudio el aluminio en altas concentraciones puede ser producto de la geología de la zona ya que en la zona hay rocas volcánicas, así como también de las actividades antropogénicas que se desarrollan en la cuenca.

CEL (2008) del 2003 al 2007 realizó monitoreos de diferentes parámetros en los embalses donde se genera energía eléctrica, en este caso se retomaron los datos del lago de Güija para relacionarlos con los resultados obtenidos en el río Desagüe en el mes de septiembre del 2013. Los elementos monitoreados por CEL fueron Mercurio, Cadmio, Cobre, Plomo y Arsénico.

En el gráfico 66 se puede ver que a través del tiempo las concentraciones de los elementos se han mantenido bajas algunas de estas bajo los límites de detección por ejemplo el Cobre y el Plomo. El Cadmio se había mantenido en concentraciones muy bajas, las cuales han aumentado significativamente según los resultados obtenidos en ya que en el 2013 se obtuvieron $0,16\text{mg.l}^{-1}$ esto es alto en comparación con los resultados encontrados en el 2003 que fueron $0,001\text{mg.l}^{-1}$.

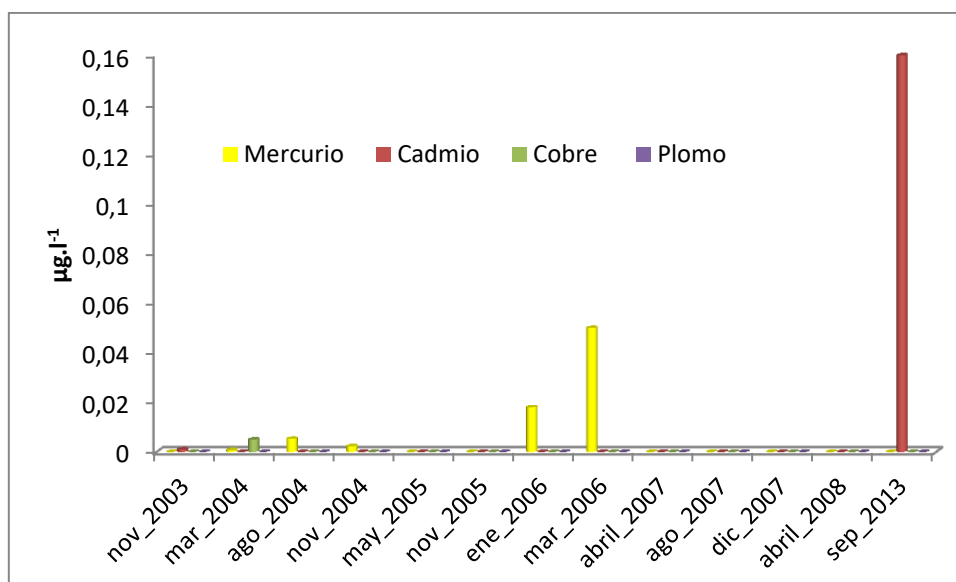


Gráfico71. Concentraciones de Mercurio, Cadmio, Cobre y Plomo en agua a través del tiempo.

El Mercurio presentó la mayor concentración en marzo del 2006 en los análisis realizados por CEL. El Cadmio sin embargo presenta las concentraciones más altas en septiembre 2013.

El Arsénico se mantuvo en niveles muy bajos del 2003 al 2007, sin embargo en las mediciones realizadas en el 2013 fueron de $4,18 \text{ mg.l}^{-1}$. Aunque no sobrepasa los límites establecidos la concentración encontrada es alta en comparación con las concentraciones encontradas por CEL.

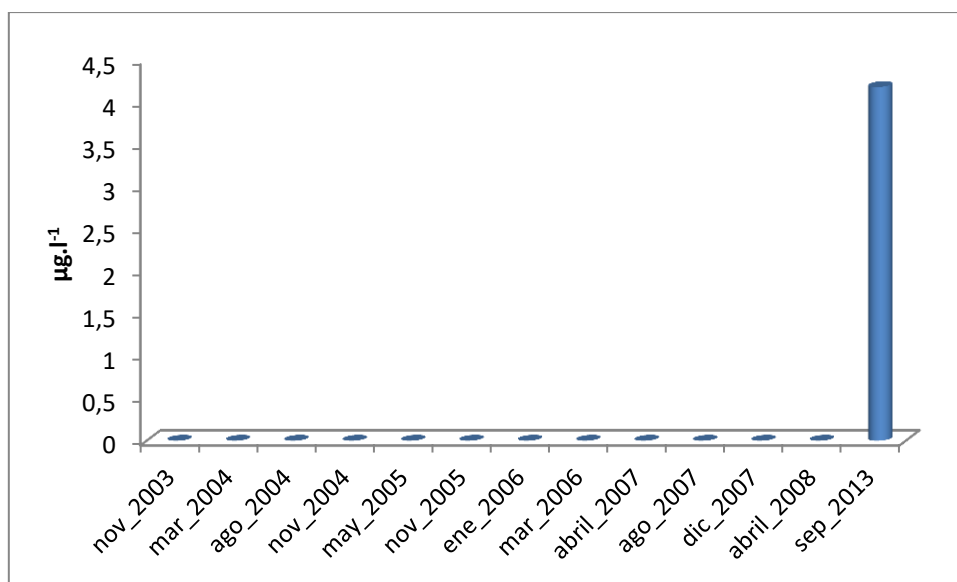


Gráfico72. Concentraciones de arsénico en agua a través del tiempo.

En Ministerio del Medio Ambiente (2014) de El Salvador ha monitoreado los niveles de metales y metaloides en el lago de Güija información con la cual se compararan los resultados obtenidos en esta investigación. La matriz de estos resultados es agua y el sitio de comparación es el río Desagüe.

Comparando los resultados obtenidos en esta investigación en el mes de septiembre 2013 con los resultados obtenidos por el MARN se puede ver que las concentraciones de Aluminio son las más altas seguidas por el Arsénico que se incrementa de septiembre a noviembre 2013. El aluminio es abundante en la

corteza terrestre especialmente en las arcillas por eso al entrar la época lluviosa se incrementa la concentración por el arrastre de la escorrentía.

El aluminio sobrepasa los niveles de la vida acuática y consumo humano en junio del 2012 y en todos los muestreos del 2013. El Arsénico en noviembre del 2013 se encuentra muy cerca del límite establecido por la OPS, CAPRE y Normas Salvadoreña de 10mg.l-1 para el consumo humano.

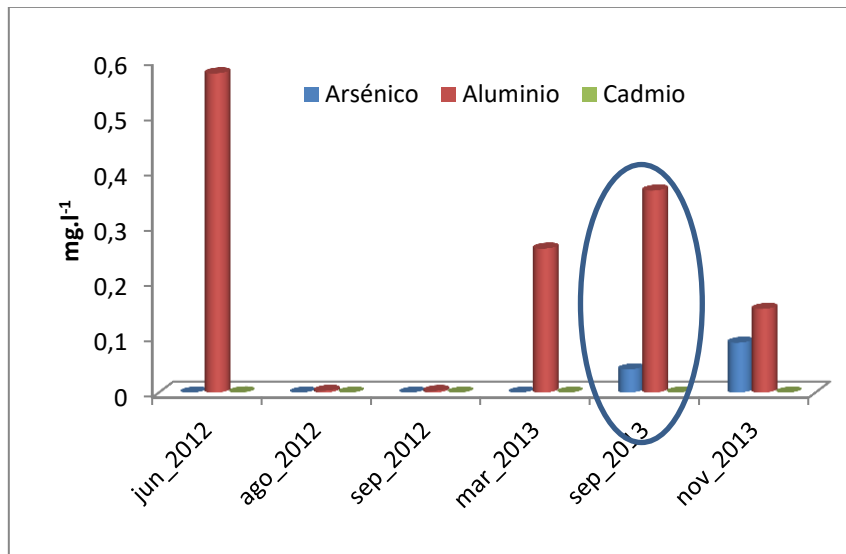


Gráfico73. Concentraciones del Aluminio, Arsénico y Cadmio en agua en los años 2012 y 2013 en el río Desagüe.

10.3.1 Resultados de mercurio total en agua

Según los resultados de mercurio total disuelto en agua analizado a través del método de Akagi se obtuvieron los siguientes resultados. La desembocadura del río Ostúa presento una concentración de $16,35 \text{ ng.l}^{-1}$ muy por encima de lo recomendado por las normas Japonesas de salud pública que establecen como máximo 3 ng.l^{-1} en aguas naturales. Los otros dos sitios analizados los cuales fueron el centro del lago y la el río Desagüe presentan concentraciones menores al límite de detección que es de $0,14 \text{ ng.l}^{-1}$ según el método de Akagi. Estos altos resultados de mercurio están relacionados al termalismo de la zona, situación por la cual la minería en Asunción Mita no ha podido continuar con sus operaciones.

En cuanto a los resultados obtenidos en la desembocadura del río Ostúa es evidente que hay una fuente de contaminación de origen antropogénica esta puede pesticidas e incluso bacterias que están metabolizando el mercurio y convirtiéndolo a metilmercurio.

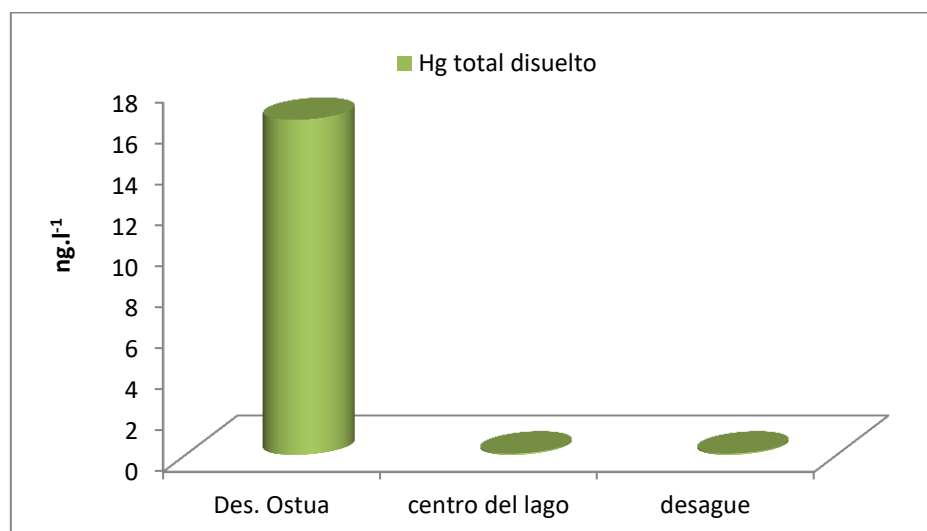


Gráfico74. Distribución del Mercurio total disuelto en agua para el mes de mayo 2014

En cuanto a los resultados para sedimentos según el método de EPA el comportamiento del mercurio fue más alto en el centro del lago con una concentración de $111,84 \mu\text{g.kg}^{-1}$, seguido por el río Desagüe con $95,03 \mu\text{g.kg}^{-1}$ y

finalmente la desembocadura del río Ostúa con $59,36\mu\text{g.kg}^{-1}$. Es posible que el Mercurio sea arrastrado por la columna de agua de agua en forma horizontal y sedimentado en el fondo por lo cual las concentraciones más altas se encuentran en este sitio en el centro del lago.

En el centro del lago puede haber una mayor cantidad de bacterias metiladoras esta es otra posibilidad por la cual las concentraciones son más altas en el centro del lago de Güija. La metilación del mercurio da como resultado un aumento de la toxicidad y la biomagnificación, afectando los diferentes niveles tróficos, incluyendo al hombre.

En la siguiente grafica se presentan los resultados del mercurio en sedimentos encontrados en mayo del 2014, en la desembocadura del río Ostúa, centro del lago y el río Desagüe.

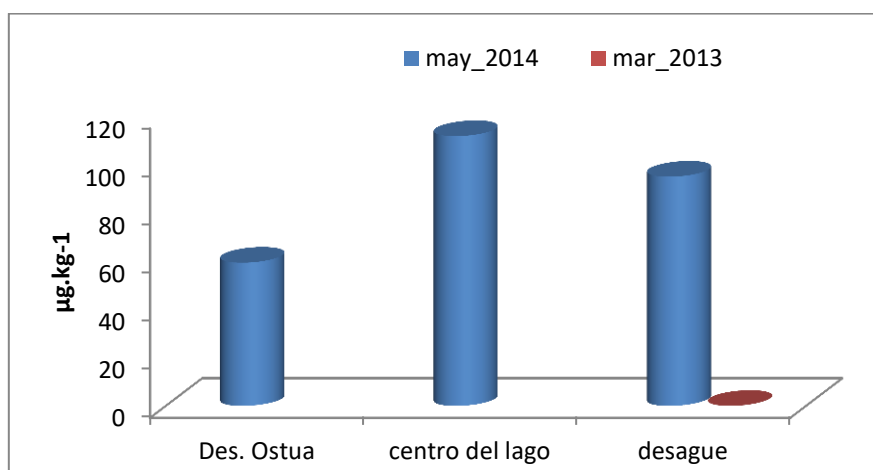


Gráfico75. Distribución del Mercurio total en sedimento correspondiente al mes de mayo 2014

En comparación con los resultados obtenidos en el mes de marzo en el 2013 por el MARN en el río Desagüe los resultados encontrados en el 2014 son mayores, lo cual puede deberse al método utilizado para realizar el análisis.

10.4 Programa de monitoreo hídrico sobre calidad y estado trófico en los ríos Angue, Ostúa, Cusmapa y el Desagüe.

El Salvador es un país pequeño con una densidad de población alta, y una creciente demanda de los recursos hídricos, los cuales están siendo manejados de forma inadecuada causando degradación de la calidad por las actividades que el ser humano realiza. Por lo cual es necesario establecer un programa de monitoreo de la calidad del agua y estado trófico para dar seguimiento al estado de los recursos hídricos y realizar acciones encaminadas al mejoramiento de la calidad de estos.

A nivel de la zona de estudio es importante el establecimiento y la ejecución de un programa de monitoreo de la calidad y estado trófico del agua de los ríos Angue, Ostúa, Cusmapa, Desagüe y el lago de Güija. Esta investigación propone analizar las mismas variables antes descritas en esta tesis en dependencia de las posibilidades de la realización de los análisis en El Salvador y de los recursos económicos con los cuales cuente dicho programa de monitoreo. Con el desarrollo de este programa de monitoreo se podría tener un registro específico de los cambios de la calidad del agua en el tiempo y espacio.

También se puede incidir políticamente en la toma de decisiones encaminadas a la protección del recurso hídrico. Aunado a este programa de monitoreo es necesario la capacitación de los pobladores de la zona para que realicen un uso adecuado del agua y protejan calidad de la misma.

Para el desarrollo y financiamiento de dicho programa es necesario la coordinación interinstitucional de entidades públicas y privadas que estén interesadas en el conocimiento de la calidad de las aguas y en la preservación del recurso. Un rol importante lo tendrá la academia, en cuanto a docencia directa, talleres y capacitaciones, así como la recolección y análisis de las muestras de agua.

10.4.1 Objetivos del programa de monitoreo

Objetivo general

Evaluar los cambios en la calidad del agua y estado trófico de los ríos Angue, Ostúa, Cusmapa, Desagüe y Lempa así como al lago de Güija, en un periodo de diez años, a través del programa de monitoreo hídrico.

Objetivos específicos

- Diseñar un programa de monitoreo en los ríos afluentes, efluentes del lago de Güija así como el río Lempa.
- Establecer las variables a medir durante el programa de monitoreo de las aguas superficiales determinantes de la calidad del agua y estado trófico.
- Proporcionar información básica que permita establecer las medidas preventivas o correctivas de los recursos hídricos y de esta forma hacer un mejor manejo del agua en la zona.

10.4.2 Instituciones propuestas para formar comité de monitoreo

Para formar el comité de monitoreo inicialmente se propone que participen las mismas entidades que han colaborado con esta tesis las cuales son:

- ✓ Asociación Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA)
- ✓ Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa(CEL)
- ✓ Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)
- ✓ Universidad de El Salvador(UES)
- ✓ Asociación GAIA El Salvador (GAIA)
- ✓ Centro de Protección para Desastres(CEPRODE)
- ✓ Alcaldía de Metapán
- ✓ Entre otras

10.4.3 Variables propuestas para el programa de monitoreo

Tabla 10. Variables propuestas para el monitoreo de calidad del agua y estado trófico

Variables fisicoquímicas	Variables Biológicas	Variables Químicas (metales pesados)
Temperatura	Zooplancton	Aluminio
pH	Fitoplancton	Arsénico
Conductividad	Fitobentos	Cadmio
Oxígeno Disuelto	Macroinvertebrados	Manganeso
Trasparencia	Coliformes totales	Mercurio
Clorofila-a	Coliformes fecales	Plomo
P total, N total, Ortofosfato, amonio	<i>E. Coli</i>	Zinc

10.4.4 Posibles lugares donde analizar las muestras

Las muestras podrían ser analizadas a nivel nacional en los laboratorios de FUSADES, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos naturales y en ANDA, y a nivel centroamericano en los laboratorios del CIRA/UNAN Mangua.

10.4.5 Propuesta de cómo realizar el monitoreo

Para la realización del monitoreo es necesario designar a un coordinador/a del programa que sea quien organice cada uno de los muestreos, el quipo a utilizar y las entidades participantes en campo, así como la coordinación con los laboratorios donde las muestras serán analizadas.

Los procedimientos para la recolecta de las muestras dependerá de lo que establecen los laboratorios donde se procesaran las muestras.

10.4.6 Puntos de muestreo propuestos para el monitoreo

Se propone monitorear los mismos puntos que se muestrearon en la presente investigación los cuales fueron:

- Río Angue
- Río Ostúa
- Río Cusmapa
- Río Desagüe
- Desembocadura río Angue
- Desembocadura río Ostúa
- Desembocadura río Cusmapa
- Centro del lago
- Río Lempa después de la intercepción con el río Desagüe
- Bocatoma planta potabilizadora las Pavas

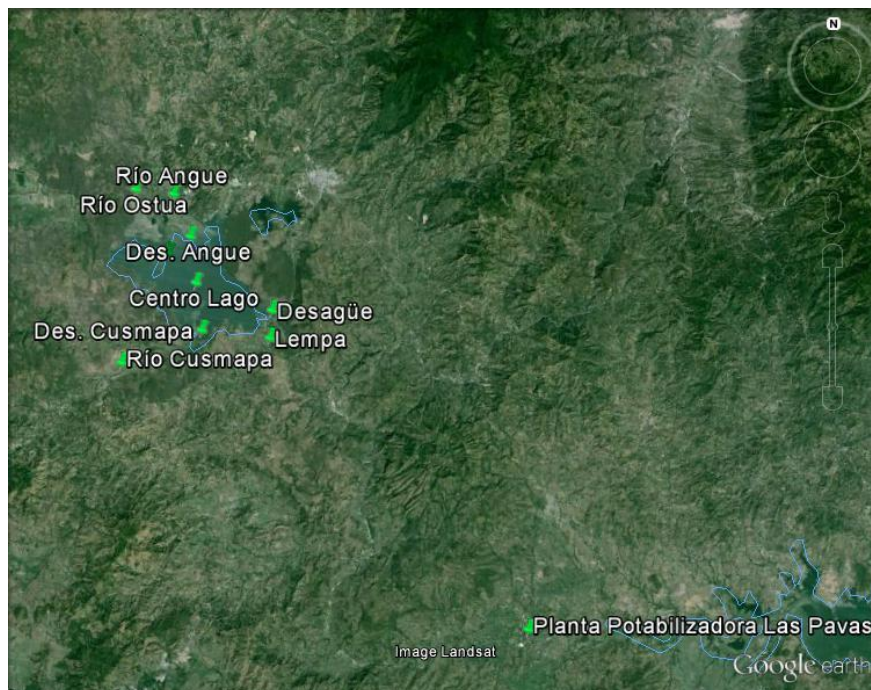


Figura 16. Mapa de localización de los sitios de monitoreo de la calidad del agua. (Fuente de imagen Google Earth)

10.4.7 Frecuencia de monitoreo

Los muestreos se recomiendan realizarse cuatro veces al año dos en la época seca y otros dos en la época lluviosa, solamente los metales pesados se podrían monitorear dos veces al año dado al costo del análisis de estas muestras. Mantener esta frecuencia de monitoreo es importante para poder tener una base de datos enriquecida y con información de las diferentes épocas del año, de tal forma que se puedan conocer los cambios estacionales en las calidades de las aguas y los estados tróficos correspondientes.

La frecuencia del monitoreo y los análisis a realizar puede variar dependiendo de los recursos disponibles para realizar el programa de monitoreo de calidad del agua y estado trófico en la zona del lago de Güija.

Tabla 11. Componentes del programa de monitoreo hídrico

Componente	Objetivos, resultados e indicadores	Actividades y variables	Periodo	Responsables
Monitoreo de la calidad del agua de los ríos y el lago de Güija	Determinar la calidad del agua de los ríos Ostúa, Cusmapa Angue, lempa y el lago de Güija	Recolecta de muestras para análisis fisicoquímicos e indicadores de eutrofización (fosforo total, ortofosfato, nitrógeno total y clorofila) así como transparencia en el caso del lago	Las muestras para análisis fisicoquímicos e indicadores de eutrofización se propone que se realicen dos veces por año uno en la época seca y otro en la época lluviosa.	Comité de monitoreo interinstitucional y laboratorios que realizaran los análisis de las muestras
	Determinada la calidad de las aguas de los sitios monitoreados	Análisis biológicos (diatomeas, fitoplancton, zooplancton y macroinvertebrados) microbiológicos (CT, CF, E coli)	Las muestras para análisis biológicos y microbiológicos se tomaran dos veces por año uno en la época seca y otro en la época lluviosa.	
	Cantidad de muestras analizadas	Análisis de metales (Aluminio, Arsénico, Cadmio, Manganeso, Mercurio, Plomo y Zinc)	En el caso de los metales se propone monitorear una vez al año en la época seca	

XI. CONCLUSIONES

- 1) La calidad fisicoquímica de los ríos estudiados; Angue, Ostúa, Cusmapa y Desagüe así como el lago de Güija presenta condiciones óptimas para la vida acuática y el riego.
- 2) La calidad bacteriológica es mala en la mayoría de los sitios estudiados presentando altos niveles de coliformes fecales y E coli.
- 3) En relación a la calidad biológica según los macroinvertebrados acuáticos es muy buena en los ríos estudiados. Según el índice trófico utilizando diatomeas el estado predominante fue hipereutrófico.
- 4) Se encontraron especies indicadoras de eutrofización de las comunidades del fitoplancton, zooplancton y diatomeas coincidiendo con los resultados obtenidos con el índice de estado trófico modificado por Toledo que en general fue mesotrófico.
- 5) Los metales más significativos y preocupantes encontrados fueron el Aluminio en el Desagüe (agua) y el Mercurio disuelto en la desembocadura del río Ostúa así como las altas concentraciones de mercurio en los sedimentos del centro del lago de Güija.
- 6) El programa de monitoreo de calidad del agua y estado trófico propuesto en esta investigación pretende registrar en tiempo y espacio las variaciones de los niveles de contaminación en el lago y los ríos.
- 7) El lago de Güija funciona como depurador de la calidad de las aguas provenientes de los ríos ya que esta mejora en la zona del Desagüe.
- 8) La calidad del agua más degradada en general fue la del río Ostúa seguido por el río Angue y Cusmapa respectivamente siendo el aportador de eutrofización el río que mayor caudal aporta al lago de Güija.

XII. RECOMENDACIONES

- 1) Regular las actividades en la cuenca para que estas se realicen de una forma sostenible y amigable con el ambiente. Para esto se necesita una capacitación y concientización a los pobladores que se encuentran en la zona para mejorar la calidad de los recursos hídricos.
- 2) Coordinar esfuerzos para mejorar los procesos de letrización y tratamiento de aguas negras de las comunidades aledañas a los sitios de estudio, ya que la presencia de bacterias indica contaminación fecal en la mayoría de los sitios monitoreados. También es necesario un manejo adecuado de las heces de los animales como el ganado por medio de la elaboración de abonos orgánicos o sistemas de producción de biogás a través de biodigestores.
- 3) Establecer un comité coordinador interinstitucional encargado de la ejecución del programa de monitoreo propuesto en esta investigación y de la gestión de fondos para el desarrollo de dicho programa.
- 4) Ejecutar el programa de monitoreo de la calidad y estado trófico del agua en los cuerpos estudiados por lo que se recomienda a las autoridades correspondientes la coordinación de esfuerzos interinstitucionales para que dicho programa se desarrolle.
- 5) Coordinación binacional entre Guatemala y El Salvador para establecer programas de protección y conservación de los recursos hídricos en la zona del lago de Güija.
- 6) Divulgación de los resultados de esta investigación a través de diferentes medios y a diferentes niveles tanto como comunitarios y tomadores de decisiones así como a entidades que podrían estar interesadas en ser parte del comité coordinador que ejecutara el programa de monitoreo de calidad del agua y estado trófico.

XIII. BIBLIOGRAFIA

Arocena, R. y Conde, D. 1999. “métodos en ecología de las aguas continentales con ejemplos de limnología de Uruguay”. Consultado en línea en: <http://limno.fcien.edu.uy/pdf/curso2011/Arocena&Conde1999.pdf> consultado el 08-09-2014.

Caballero, Y.2007. “*Potencial hidrológico y la calidad de las aguas superficiales en la subcuenca del río Ochomogo.*”

Chavez, F. y Martinez, E. 2012 “Informe de estudio sobre humedales en Metapan”. Convenio para la investigación aplicada en ciencias e ingeniería entre UCA y Holcim.

Escobar, J. Terneus, E y Yanez, P. 2013. El plancton como indicadores de la calidad del agua de las zonas agrícolas andinas. Estudio de caso. Consultado en línea disponible en: <http://ocw.um.es/ciencias/ecologia/lectura-obligatoria-1/garcia-sanchez-colomer-2001.pdf>

Galizia, J. 2001. “*planejamento e gerenciamento de lagos e reservatórios: uma abordagem integrada ao problema da eutrofização*”. IETC International Environmental Technology Centre. Editorial RiMa Artes e Textos. São Carlos. Brasil.

García, M.2001. Asociación Española de Ecología Terrestre (AEET). *Las comunidades del zooplancton en embalses españoles.* Ecosistemas, revista de ecología y medio ambiente. Consultado en línea en: <http://ocw.um.es/ciencias/ecologia/lectura-obligatoria-1/garcia-sanchez-colomer-2001.pdf>

GIZ, 2011. “*Estado de la Región Trifinio 2010 datos socioeconómicos y ambientales de los municipios*”.

- Gonzales, S., García, H., Chacon, A y González C. 1993.** “*Conceptos básicos para el estudio del zooplanton dulceacuicola*”. Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo. Escuela de Biología. Laboratorio de Biología Acuática. México.
- Hanson, P., Springer, M. y Ramirez, A.** “*Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos*”.
- Hernandez, S.**1999. *Diatomeas como indicadores biológicos de la calidad del agua del lago cocibolaca*. Centro de Investigacion para los Recursos Acuaticos. Universidad Nacional Autonoma de Nicaragua.
- http://www.freplata.org/documentos/Informe1_Evaluacin_PMCAS.pdf
- <http://www.redalyc.org/pdf/944/94402508.pdf>
- Instituto Tecnológico Superior de Calkiní en el Estado de Campeche México.** “*Plancton importancia y clasificación*”. Consultado en línea en <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r37351.PDF> fecha de consulta 29-01-2013.
- Jaramillo, J.** 2005. “*estudio de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en el área del embalse Porse II y su relación con la calidad del agua*”.
- López, A.** 2008. “*Estudio limnológico del lago de Güija, determinación de su estado de eutrofización*”. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- López, W.** 2005. “*Diagnostico preliminar de los contaminantes químicos y microbiológicos del lago de Güija y laguna de Metapán y su incidencia en la salud de los peces*. ADESCOLAB, MARN Y FIAES
- Mata, G.** 2002. “*Exploraciones subacuáticas en los lagos de Guatemala*”. En XV Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2001 (editado por J.P. Laporte, H. Escobedo y B. Arroyo), pp.589-604. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala.

Mena, Z. 2014. “Evaluación de elementos tóxicos en el lago de Güija y sus afluentes ríos Angue, Ostúa y Cusmapa. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) Dirección General del Observatorio Ambiental Gerencia de Hidrología. 2011. “*informe de la calidad del agua de los ríos de El Salvador*”. Consultado en línea en http://www.marn.gob.sv/phocadownload/Informe_Calidad_de_Agua%202011.pdf consultado el 20/01/2013.

Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), 2010. “*Reserva de la Biosfera Trifinio Fraternidad*”. Consultado en http://www.marn.gob.sv/phocadownload/ficha_trifinio_fra.pdf fecha de consulta 25-01-2013.

OIRSA. *Descripción de lagos de El Salvador.* Consultado en <http://www.oirsa.org/aplicaciones/subidoarchivos/BibliotecaVirtual/LagosEISalvador.pdf> consultado el 15-01-2012.

Oliva, M., Godínez, J y Zuñiga C. “*Biodiversidad del fitoplancton en las aguas continentales de México*”. Revista mexicana de biodiversidad. Consultado en línea en: <http://www.ib.unam.mx/m/revista/pdfs/06.-1256.pdf>

Plan de desarrollo regional Fronterizo Trinacional Trifinio, 1988. “*Plan Trifinio convenio Guatemala-El Salvador-Honduras O.E.A.,I.I.C.A.* Consultado en línea disponible en <http://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea07s/oea07s.pdf> consultado el 25-01-2013.

Rivera, C., Zapata, A., Pinilla, G., Donato, J., Chaparro, B y Jimenez, P. 2005. “*Comparación de la clorofila-a mediante los métodos espectrométricos y fluorométricos.* Consultado en línea

en <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v10n2/v10n2a07.pdf> consultado el 27-01-2013.

Rodriguez, E., Ruíz, M y Vertíz, L. “Proceso de eutrofización en siete lagunas urbanas de Villa Hermosa, Tabasco, México. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Roldan, G. y Ramírez, J. 2008. “fundamentos de limnología neotropical”. 2da edición. Medellín. Editorial universidad de Antioquia.

Romero, L. caracterización morfométrica y aspectos filogenéticos de cepas de rotíferos del grupo *Bracionusplicatilis* (Rotifera: Brachionidae) utilizados en la acuicultura peruana. Consultado en línea en: http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/cybertesis/880/1/romero_gl.pdf

Rubio, R. “Macroinvertebrados bioindicadores de la calidad de las aguas loticas en El Salvador”. XXVII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Consultado en <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/v-103.pdf> fecha de consulta: 24-01-2013.

Salas, J, 2001. “Metodologías simplificadas para la evaluación de eutrofización en lagos calidos tropicales”. Centro Panamericano de Ingenierías Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Organización Panamericana de la Salud (OPS) - División de Salud y Ambiente Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Sermeño, J., Serrano, L., Springer, M., Paniagua, M., Pérez, D., Rivas, A., Menjívar, R., Bonilla, B., Carranza, F., Flores, J., González, G., Gutiérrez, P., Hernández, M., Monterrosa, A y Arias, A. 2010. “Determinación de la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando invertebrados acuáticos”. Universidad de El Salvador.

Sierra, C. “Calidad del agua evaluación y diagnóstico”. 1ra edición. Universidad del Medellín. Ediciones de la U.

Tapia, E. y Naranjo, C.2011. “la clorofila a como un indicador en las estaciones fijas durante el evento niña 1999-2000. Acta oceanografía del pacifico, vol 16. 1,2010-2011. Consultado en línea en: http://www.inocar.mil.ec/docs/ACTAS/OCE16/OCE1601_3.pdf fecha de consulta 09-09-2014.

Tercedor, J. 1996. “*Macroinvertebrados acuáticos y calidad de agua de los ríos*”. IV simposio de agua en Andalucía, Almería.

Trifinio. *Los recursos hídricos en la parte alta del río Lempa.* <http://es.scribd.com/doc/34610381/5-EI-Trifinio-Estado-de-Recursos-Hidricos>

R, Cano. 2004. “variabilidad y permanencia del zooplancton del lago Cocibolca en el periodo 1994, 1997, 2002.

Pujante, A. 1997. “los artrópodos como indicadores de la calidad del agua”. Consultado en línea en: http://www.sea-entomologia.org/PDF/BOLETIN_20/B20-024-277.pdf fecha de consulta 12-11-2014

XIV. ANEXOS

Cuadro 1 Resultados físicos del lago de Güija y sus ríos afluentes y efluente en el mes de abril 2013

Parámetros	Unidades	Des. Angue	Des. Ostúa	Centro Lago	Des. Cusmapa	Río Ostúa	Río Angue	Río Desagüe
pH	Unid. pH	8,42	8,49	8,27	8,7	8,17	8,03	8,47
Conductividad	µs/cm	250	260	240	238	433	378	240
Turbidez	UNT	23,5	18	11,5	15	4,6	3,2	7,8
Color	mg.l-1 pt-co	15	15	15	15	20	15	15
Oxígeno Disuelto	mg.l ⁻¹	8,34	8,31	5,5	8,85	6,5	6,9	7,1
Solidos Totales	mg.l ⁻¹	161	157	140	149	219	267	160
Solidos volátiles	mg.l ⁻¹	161	157	140	149	219	267	160
Solidos fijos	mg.l ⁻¹	9,3	14,09	9,53	4	8	3,7	7,6
Calcio	mg.l ⁻¹	26,85	28,06	26,05	26,05	32	54,51	26,45
Magnesio	mg.l ⁻¹	5,59	6,08	5,59	6,08	12,88	5,1	5,35
Sodio	mg.l ⁻¹	16,45	17,6	15,1	14,6	40,2	13,8	14,8
Potasio	mg.l ⁻¹	5,05	5,15	4,95	8,45	6,72	5,15	4,95
Cloruros	mg.l ⁻¹	7,04	7,11	5,94	5,96	14,58	4,34	5,97
Sulfatos	mg.l ⁻¹	10,12	9,87	8,9	8,82	14,38	49	8,72
Carbonatos	mg.l ⁻¹	10,8	10,8	<ld	12	<ld	<ld	9,6
Bicarbonatos	mg.l ⁻¹	114,74	118,38	129,36	106,18	209,91	156,21	111
Dureza total	mg.l ⁻¹	90	95	88	90	133	157	80
Alcalinidad Total	mg.l ⁻¹	112	115	106	107	172	128	107
Alcalinidad a la fenol	mg.l ⁻¹	8,99	8,99	<ld	9,99	<ld	<ld	7,99

Calidad del agua y estado trófico en el lago de Güija y sus ríos afluentes y efluentes para un programa de monitoreo

Cuadro 2 Resultados físicos del lago de Güija y sus ríos afluentes y efluente en el mes de Septiembre 2013

Parámetros	Unidades	Des. Angue	Des. Ostúa	Centro Lago	Des. Cusmapa	Río Ostúa	Río Angue	Río Desagüe	Río Cusmapa
pH	Unid. pH	8,42	8,48	7,98	8,34	7,86	7,97	8,1	8
Conductividad	µs/cm	189,1	181,9	195,3	202	130,2	165,6	203	152,9
Turbidez	UNT	20,1	38,4	153	4	120,4	44,4	5,1	69,6
Color	mg.l ⁻¹ pt-co	30	30	30	15	75	75	15	75
Oxígeno Disuelto	mg.l ⁻¹	8,29	7,86	4,75	6,78	7,38	7,13	5,7	7,38
Sólidos Totales	mg.l ⁻¹	144	139	155	141	175	169	143	199
Sólidos Disueltos	mg.l ⁻¹	32	27	34	23	41	27	37	99
Sólidos Suspensos	mg.l ⁻¹	151	126	199	130	203	173	145	142
Calcio	mg.l ⁻¹	21,08	20,23	21,88	21,88	13,23	24,05	21,88	16,03
Magnesio	mg.l ⁻¹	5,51	6,01	6,01	6,51	3,52	3,16	6,51	4,74
Sodio	mg.l ⁻¹	15,7	14,8	15,2	16,2	12,2	10	16,2	13,4
Potasio	mg.l ⁻¹	5	4,8	4,8	5	4,01	3,41	5	4,2
Cloruros	mg.l ⁻¹	4	4	4	4	<ld	0,006	4	2,99
Sulfatos	mg.l ⁻¹	20	21,9	18,7	24,2	18,45	15,75	24	23,55
Carbonatos	mg.l ⁻¹	8,4	3,6	<ld	2,4	<ld	<ld	<ld	<ld
Bicarbonatos	mg.l ⁻¹	0,75	100,07	124,8	118,38	73,22	97,63	128,14	84,82
Dureza total	mg.l ⁻¹	77,25	75,19	79,31	81,37	47,5	73	81,37	59,5
Alcalinidad Total	mg.l ⁻¹	97	88	102	101	60	80	105	69,5
Alcalinidad a la fenol	mg.l ⁻¹	7	3	<ld	2	<ld	<ld	<ld	<ld

Calidad del agua y estado trófico en el lago de Güija y sus ríos afluentes y efluentes para un programa de monitoreo

Cuadro 3 Resultados físicos del lago de Güija y sus ríos afluentes y efluente en el mes de Noviembre 2013

Parámetros	Unidades	Des. Angue	Des. Ostúa	Centro Lago	Des. Cusmapa	Río Ostúa	Río Angue	Río Desagüe	Río Cusmapa
pH	Unid. pH	7,75	7,88	7,6	7,63	7,91	8,27	7,95	8,35
Conductividad	µs/cm	196,6	293	181,4	202	297	234	190	267
Turbidez	UNT	11,8	14,4	15,6	5,8	39,2	10,9	6,8	6,5
Color	mg.l ⁻¹ pt-co	15	20	25	20	20	15	144,77	15
Oxígeno Disuelto	mg.l ⁻¹	4,85	6,61	4,4	5,42	7	8,75	5,85	9,52
Sólidos Totales	mg.l ⁻¹	139	206	118	109	299	163	110	199
Sólidos Disueltos	mg.l ⁻¹	0,6	1,4	0,7	0,5	3,33	0,2	0,5	0,7
Sólidos Suspensos	mg.l ⁻¹	3	8,1	5,6	1,6	47,78	5,9	2,4	5,1
Calcio	mg.l ⁻¹	25,89	26,73	20,88	30,07	29,23	36,75	23,39	32,58
Magnesio	mg.l ⁻¹	7,59	22,28	7,6	8,61	12,66	8,1	7,1	7,59
Sodio	mg.l ⁻¹	8,66	17,53	8,81	9,37	17,43	7,02	9,21	16,9
Potasio	mg.l ⁻¹	4,09	4,74	4,08	4,72	4,93	3,01	4,59	3,27
Cloruros	mg.l ⁻¹	4,96	9,93	3,97	4,96	7,94	1,99	3,97	<ld
Sulfatos	mg.l ⁻¹	29,42	31,01	29,6	23,96	34,67	46,33	23,36	33,43
Carbonatos	mg.l ⁻¹	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld
Bicarbonatos	mg.l ⁻¹	109,84	170,86	97,63	126,92	156,21	124,48	107,4	154,99
Dureza total	mg.l ⁻¹	95,86	158,38	83,36	110,45	125,04	125,04	87,53	112,55
Alcalinidad Total	mg.l ⁻¹	90,01	140,02	80,01	104,01	128,01	102,01	88,01	127
Alcalinidad a la fenol	mg.l ⁻¹	<ld	<ld	1,67	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld

Cuadro 4. Resultados microbiológicos de los ríos Ostúa, Angue, Cusmapa, sus desembocaduras en el lago de Güija, el centro del lago y el río Desagüe.

Mes	Parámetros	Río Cusmapa	Río Ostúa	Río Angue	Des. Angue	Des. Ostúa	Des. Cusmapa	Centro Lago	Río Desagüe
abril	Col. Totales	N/D	1100	1400	220	240	<1.8	240	540
	Col. Fec	N/D	540	1100	11	79	<1.8	22	26
	E. Coli	N/D	110	490	4,5	33	<1.8	<1.8	6,8
septiembre	Col. Totales	9200	7,8	2400	54000	490	35000	<1.8	54000
	Col. Fec	920	<1.8	220	13000	350	5400	<1.8	13000
	E. Coli	240	<1.8	130	240	<1.8	7,8	<1.8	240
noviembre	Col. Totales	2800	17000 0	2800	70	7000	350	49	220
	Col. Fec	220	13000 0	280	33	1700	240	2	33
	E. Coli	33	79000	25	33	1600	23	2	17

Cuadro 5. Resultados químicos del lago de Güija y los ríos afluentes y efluente en el mes de abril 2013.

Parámetros	Unidades	Des. Angue	Des. Ostúa	Centro Lago	Des. Cusmápa	Río Ostúa	Río Angue	Río Desagüe
Calcio	mg.l ⁻¹	26,85	28,06	26,05	26,05	32	54,51	26,45
Magnesio	mg.l ⁻¹	5,59	6,08	5,59	6,08	12,88	5,1	5,35
Sodio	mg.l ⁻¹	16,45	17,6	15,1	14,6	40,2	13,8	14,8
Potasio	mg.l ⁻¹	5,05	5,15	4,95	8,45	6,72	5,15	4,95
Cloruros	mg.l ⁻¹	7,04	7,11	5,94	5,96	14,58	4,34	5,97
Sulfatos	mg.l ⁻¹	10,12	9,87	8,9	8,82	14,38	49	8,72
Carbonatos	mg.l ⁻¹	10,8	10,8	<ld	12	<ld	<ld	9,6
Bicarbonatos	mg.l ⁻¹	114,74	118,38	129,36	106,18	209,91	156,21	111
Dureza total	mg.l ⁻¹	90	95	88	90	133	157	80
Alcalinidad Total	mg.l ⁻¹	112	115	106	107	172	128	107
Alcalinidad a la fenol	mg.l ⁻¹	8,99	8,99	<ld	9,99	<ld	<ld	7,99
Nitratos	mg.l ⁻¹	<ld	0,84	1,02	<ld	1,82	0,84	<ld
Nitritos	mg.l ⁻¹	0,003	0,003	0,003	0,003	0,053	0,01	<ld
Amonio	mg.l ⁻¹	0,032	0,015	0,005	0,023	0,112	0,061	0,063
Nitrógeno Total	mg.l ⁻¹	0,925	0,505	0,172	0,292	0,863	0,436	0,278
Fosforo Total	mg.l ⁻¹	0,023	0,045	0,023	0,023	0,306	0,135	0,019
Hierro Total	mg.l ⁻¹	0,59	0,02	0,02	0,25	0,33	0,14	0,43
Sílice disuelto	mg.l ⁻¹	23,56	27,18	22,68	21,56	69,95	34,2	23,36

Cuadro 6. Resultados químicos del lago de Güija y los ríos afluentes y efluente en el mes de septiembre 2013.

Parámetros	Unidades	Des. Angue	Des. Ostúa	Centro Lago	Des. Cusmapa	Río Ostúa	Río Angue	Río Desagüe	Río Cusmapa
Calcio	mg.l ⁻¹	21,08	20,23	21,88	21,88	13,23	24,05	21,88	16,03
Magnesio	mg.l ⁻¹	5,51	6,01	6,01	6,51	3,52	3,16	6,51	4,74
Sodio	mg.l ⁻¹	15,7	14,8	15,2	16,2	12,2	10	16,2	13,4
Potasio	mg.l ⁻¹	5	4,8	4,8	5	4,01	3,41	5	4,2
Cloruros	mg.l ⁻¹	4	4	4	4	<ld	0,006	4	2,99
Sulfatos	mg.l ⁻¹	20	21,9	18,7	24,2	18,45	15,75	24	23,55
Carbonatos	mg.l ⁻¹	8,4	3,6	<ld	2,4	<ld	<ld	<ld	<ld
Bicarbonatos	mg.l ⁻¹	0,75	100,07	124,8	118,38	73,22	97,63	128,14	84,82
Dureza total	mg.l ⁻¹	77,25	75,19	79,31	81,37	47,5	73	81,37	59,5
Alcalinidad Total	mg.l ⁻¹	97	88	102	101	60	80	105	69,5
Alcalinidad a la fenol	mg.l ⁻¹	7	3	<ld	2	<ld	<ld	<ld	<ld
Nitratos	mg.l ⁻¹	4,8	5,96	4,84	0,21	5,11	6,83	0,2	6,93
Nitritos	mg.l ⁻¹	0,01	0,013	0,028	<ld	0,056	0,03	0,007	0,062
Amonio Nitrógeno	mg.l ⁻¹	0,04	0,023	0,638	0,516	0,044	3,01	0,09	0,094
Total	mg.l ⁻¹	1,123	1,367	1,61	0,45	1,527	1,622	0,434	1,96
Fosforo Total	mg.l ⁻¹	0,078	0,06	0,229	0,054	0,373	0,343	0,038	0,096
Hierro Total	mg.l ⁻¹	0,89	1,82	10,26	0,14	8,98		0,17	3,64
Sílice disuelto	mg.l ⁻¹	16,19	17,2	16,6	12,14	44,26	33,99	12,58	47,45

Cuadro 7. Resultados químicos del lago de Güija y los ríos afluentes y efluente en el mes de noviembre 2013.

Parámetros	Unidad	Des. Angue	Des. Ostúa	Centro Lago	Des. Cusmapa	Río Ostúa	Río Angue	Río Desagüe	Río Cusmapa
Calcio	mg.l ⁻¹	25,89	26,73	20,88	30,07	29,23	36,75	23,39	32,58
Magnesio	mg.l ⁻¹	7,59	22,28	7,6	8,61	12,66	8,1	7,1	7,59
Sodio	mg.l ⁻¹	8,66	17,53	8,81	9,37	17,43	7,02	9,21	16,9
Potasio	mg.l ⁻¹	4,09	4,74	4,08	4,72	4,93	3,01	4,59	3,27
Cloruros	mg.l ⁻¹	4,96	9,93	3,97	4,96	7,94	1,99	3,97	<LD
Sulfatos	mg.l ⁻¹	29,42	31,01	29,6	23,96	34,67	46,33	23,36	33,43
Carbonatos	mg.l ⁻¹	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld
Bicarbonatos	mg.l ⁻¹	109,84	170,86	97,63	126,92	156,21	124,48	107,4	154,99
Dureza total	mg.l ⁻¹	95,86	158,38	83,36	110,45	125,04	125,04	87,53	112,55
Alcalinidad Total	mg.l ⁻¹	90,01	140,02	80,01	104,01	128,01	102,01	88,01	127
Alcalinidad a la fenol	mg.l ⁻¹	<ld	<ld	1,67	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld
Nitratos	mg.l ⁻¹	<ld	2,87	<ld	<ld	3,07	<ld	<ld	2,21
Nitritos	mg.l ⁻¹	0,016	0,059	0,01	<ld	0,062	0,013	0,03	0,013
Amonio Nitrógeno	mg.l ⁻¹	0,152	0,086	0,476	0,055	0,069	0,053	0,108	0,073
Total	mg.l ⁻¹	1,603	1,534	2,13	1,16	1,75	0,59	0,094	0,994
Fosforo Total Disuelto	mg.l ⁻¹	0,114	0,215	0,157	0,036	0,225	0,153	0,094	0,199
Hierro Total	mg.l ⁻¹	0,28	0,55	0,61	0,18	1,55	0,14	0,02	0,2
Sílice disuelto	mg.l ⁻¹	22,96	59,6	22,35	18,94	58,3	54,09	20,34	22,15

Cuadro 8. Familias de macroinvertebrados encontradas en los ríos Angue, Ostúa, Cusmapa y el lago de Güija en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.

Phyllum Arthropoda		
Orden Díptera	Orden Coleóptera	Orden Hemíptera
Familia <i>Ceratopogonidae</i>	Familia <i>Cephenidae</i>	Familia <i>Belostomatidae</i>
Familia <i>Chironomidae</i>	Familia <i>Chaoboridae</i>	Familia <i>Guerridae</i>
Familia <i>Dolichopodidae</i>	Familia <i>Curculionidae</i>	Familia <i>Naucoridae</i>
Familia <i>Empididae</i>	Familia <i>Dytiscidae</i>	Familia <i>Velliidae</i>
Familia <i>Psychodidae</i>	Familia <i>Elmidae</i>	Familia <i>Belostomatidae</i>
Familia <i>Simuliidae</i>	Familia <i>Gerridae</i>	
Familia <i>Stratiomyidae</i>	Familia <i>Hydrophilidae</i>	
Familia <i>Tabanidae</i>	Familia <i>Lampyridae</i>	Orden Megaloptera
Familia <i>Tipulidae</i>	Familia <i>Naucóride</i>	Familia <i>Coridalidae</i>
Orden Trichoptera	Clase Gastropoda	Familia <i>Leptohyphidae</i>
Familia <i>Calamoceratidae</i>	Familia <i>Thiaridae</i>	Familia <i>Leptophlebiidae</i>
Familia <i>Glososomatidae</i>	Género no Identificado	Orden Plecóptera
Familia <i>Helicopsychidae</i>	Familia <i>Spharidae</i>	Familia <i>Perlidae</i>
Familia <i>Hydropsychidae</i>	Familia <i>Thriaridae</i>	Clase Ostrácoda
Familia <i>Hydroptilidae</i>	Familia <i>Hydrobiidae</i>	Género no Identificado
Familia <i>Leptoceridae</i>	Familia <i>Physidae</i>	Familia <i>Hidrobiidae</i>
Familia <i>Phylopotamidae</i>	Orden Odonata	Orden Glossiphoniiformes
Orden Podocopida	Familia <i>Calopterygidae</i>	Familia <i>Glossiphonidae</i>
Familia <i>Cyprididae</i>	Familia <i>Coenagrionidae</i>	Clase Oligochaeta
Familia <i>Darwinulidae</i>	Familia <i>Gomphidae</i>	Género no Identificado
Familia <i>Cyprididae</i>	Familia <i>Libellulidae</i>	Orden Ephemeroptera
Orden Lepidóptera		Familia <i>Baetidae</i>
Familia <i>Crambidae</i>	Hydracarina	Familia <i>Leptohyphidae</i>
Clase Arácnida	<i>F.n.i</i>	Familia <i>Leptophlebiidae</i>
Género no Identificado		

Tabla 12. Diatomeas encontradas en los ríos Angue, Ostúa, Cusmapa y en el lago de Güija en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.

Division Bacillariophyta		
<i>Achnanthes exigua</i>	<i>Fragilaria acus</i>	Nitzchiaamphioxys
<i>achnanthesminutissima</i>	<i>Fragilaria sp.</i>	Nitzchiainconspicua
<i>Achnanthes sp</i>	<i>Fragilaria ulna</i>	Nitzchia palea
<i>Achnanthes sp. N.1</i>	<i>Fragilaria construens</i>	<i>Nitzschia brevissima</i>
<i>achnanthesp. N.2</i>	<i>Geisselariaaikensis</i>	Nitzschia calida
<i>Achnanthes sp. N.3</i>	<i>Gomphonema affine</i>	<i>Nitzschia clausii</i>
<i>Achnanthes subsalsa</i>	<i>Gomphonema cobayassi</i>	<i>Nitzschia linearis</i>
<i>Amphoracoffeaeformis</i>	<i>Gomphonema minutum</i>	Nitzschia litoralis
<i>Amphoraconfervacea</i>	<i>Gomphonema parvulum</i>	Nitzschia masiculenta
<i>Amphora montana</i>	<i>Gomphonema sp</i>	Nitzschia sigma
<i>Amphoraovalis</i>	<i>Gomphonema sp.N.1</i>	Nitzschia sp.
<i>Amphora placentula</i>	<i>Gyrosigma</i>	Nitzschia sp. N.1
<i>Amphorasp</i>	<i>Luticulamutica</i>	Nitzschia sp. N.2
<i>Amphorasp 1</i>	<i>Melosirasp.</i>	Nitzschia tryblionella
<i>Amphorasp 2</i>	<i>Naviculaaikensis</i>	<i>Nitzschia umbonata</i>
<i>Aulacoseira granulata</i>	<i>Naviculaarvensis</i>	<i>Pinnulariaacrosphaeria</i>
<i>Cocconeis placentula</i>	<i>Naviculachyptoccephala</i>	<i>Pinnulariabraunii</i>
<i>Coloneissp.</i>	<i>Naviculaconfervacea</i>	<i>Pinnulariainterrupta</i>
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	<i>Naviculaconstans</i>	<i>Pinnulariasp.</i>
<i>Cyclotella stelligera</i>	<i>Naviculacryptotenella</i>	<i>Plagiotropissp</i>
<i>Cyclotella ulna</i>	<i>Navicula Pigmea</i>	<i>Pleurosigmasp.</i>
<i>Cymbellaaffine</i>	<i>Naviculapupula</i>	<i>Rhopalodiaconstricta</i>
<i>Cymbellasp.</i>	<i>Navicula radiosa</i>	<i>Rhopalodiagibba</i>
<i>Dipioneis oblonga</i>	<i>Naviculasp.</i>	<i>Rhopalodiagibberula</i>
<i>Dipioneis ovalis</i>	<i>Naviculasp. N.1</i>	<i>Rhopalodiasp.</i>
<i>Epithemiasp</i>	<i>Naviculasp. N.2</i>	<i>Stauroneissp.</i>
<i>Eunotiasp</i>	<i>Naviculasp. N.3</i>	<i>Stephanodiscusp.</i>
<i>Eunotiasp. N.1</i>	<i>Naviculasubminuscula</i>	<i>Surirellasp</i>
<i>Eunotiasp. N.2</i>	<i>Nitzchia amphibia</i>	<i>Synedraulna</i>
<i>Eunotiasp. N.3</i>	<i>Naviculasubsalsa</i>	

Cuadro 9. Fitoplancton encontrado en el lago de Güija en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013

Fitoplancton	
<i>Anabaena planctonica</i>	<i>Euglenasp.</i>
<i>Anabaena sp.</i>	<i>Eutetramorussp</i>
<i>Ankistrodesmussp.</i>	<i>Gomphonema sp.</i>
<i>Ankyr asp.</i>	<i>Kirchneriellasp.</i>
<i>Aphanizomenon sp.</i>	<i>Lyngbyasp.</i>
<i>Aulacoseira granulata</i>	<i>Merismopediasp</i>
<i>Botryocooccusbraunii</i>	<i>Merismopediatenuissima</i>
<i>Botryocooccussp</i>	<i>Microcystisaeruginosa</i>
<i>Chlamydomonassp</i>	<i>Microcystissp</i>
<i>Chlamydomonassp (gde)</i>	<i>Monoraphidiumsp.</i>
<i>Chlamydomonassp (pña)</i>	<i>Naviculasp</i>
<i>Chlorellasp.</i>	<i>Nitzchiaacicularis</i>
<i>Chlorolobionsp</i>	<i>Nitzchiasp</i>
<i>Chodatellasp</i>	<i>Oocystislacustris</i>
<i>Choomonassp</i>	<i>Oocystissp</i>
<i>Choroococcussp</i>	<i>Pandorinasp.</i>
<i>Clorobionsp.</i>	<i>Pediastrumduplex</i>
<i>Closteriopsissp</i>	<i>Pediastrum simplex</i>
<i>Closteriumsp</i>	<i>Pediastrumtetrax</i>
<i>Coelastrumastroideum</i>	<i>Peridiniumsp</i>
<i>Coelastrummicroporum</i>	<i>Phacussp.</i>
<i>Coelastrumreticulatum</i>	<i>Pseudoquadrigulasp</i>
<i>Coelastrumsp.</i>	<i>Quadrigulasp</i>
<i>Coenochlorissp</i>	<i>Scenedesmussp</i>
<i>Cruciginiellasp</i>	<i>Schroederiasp</i>
<i>Cyclotella meneghinana</i>	<i>Strombomonassp.</i>
<i>Cyclotella sp.</i>	<i>Synedraulna</i>
<i>Dictyosphaeriumsp</i>	<i>Tetraedrumsp</i>
<i>Dictyosphaeriumtetrachotomum</i>	<i>Trachelomonasp</i>
<i>Eudorinasp</i>	

Cuadro 10. Zooplancton encontrado en el lago de Güija en los meses de abril, septiembre y noviembre 2013.

Zooplancton	
<i>Anuraeopsisnavicula</i>	<i>Rotatoria</i>
<i>Asplanchnagirodi</i>	<i>Macrotracelasp</i>
<i>Beauchampiellasp.</i>	<i>Habrotrochasp.</i>
<i>Brachionusangularispseudolabratus</i>	<i>Philodiniasp</i>
<i>Brachionuscaudatus</i>	<i>Diffflugiaurceolata</i>
<i>Brachionuscuadridentatus</i>	<i>Diffflugia corona</i>
<i>Brachionuspatuluspatulus</i>	<i>Chaetonotustrichodrymodes</i>
<i>Brachionushavanaensis</i>	<i>Alona sp</i>
<i>Brachionusfalcatus</i>	<i>Bosminalongirostris</i>
<i>Conochilussp</i>	<i>Bonopssemicaudata</i>
<i>Filiniaopoliensis</i>	<i>Ceriodaphnialacustris</i>
<i>Filiniaterminalis</i>	<i>Ceriodaphnia cornuta</i>
<i>Epiphanesmacrourus</i>	<i>Chydorusciliatus</i>
<i>Filinialongiseta</i>	<i>Chydorushermani</i>
<i>Hexarthra mira mira</i>	<i>Lliocryptussordicus</i>
<i>Keratellacochlearis</i>	<i>Lliocryptusagilis</i>
<i>Keratella americana</i>	<i>Macrothrixlaticornis</i>
<i>Keratellaquadrata</i>	<i>Scapholeberis mucronata</i>
<i>Polyarthravulgaris</i>	<i>Moinamicrura</i>
<i>Colurellasp</i>	<i>Kuziasp</i>
<i>Euclanissp</i>	<i>Diaphanosomabrachyurum</i>
<i>Limniasp</i>	<i>Diaphanosomabrevireme</i>
<i>Lecane leontina</i>	<i>Daphnia obtusa</i>
<i>Lepadellaimbricata</i>	<i>Mesocyclopsthermocyclopoida</i>
<i>Lecane luna</i>	<i>Eucyclopsagilis</i>
<i>Monostylalunaris</i>	<i>Thermocyclopscrassus</i>
<i>Monostyla bulla</i>	<i>Thermocyclopsinversus</i>
<i>Platyasquadricornis</i>	<i>Pronodiptomuscolombiensis</i>
<i>Ptygurasp</i>	<i>Arctodiptomusdorsalis</i>
<i>Trichocercasp</i>	<i>Mastigodiptomussp</i>
<i>Lepadellaimbricata</i>	<i>Copepoditos Calanoida</i>
<i>Testudinella patina</i>	<i>Copepoditos Cyclopoida</i>
<i>Bdelloidea</i>	<i>nauplio</i>
<i>Habrotrochasp</i>	<i>Darwinulasp</i>