UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

CALIDAD DEL AGUA Y FITOPLANCTON DE LOS SISTEMAS "LOS PLANES", MORELOS

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

BIOLOGO

PRESENTA

ESPINOSA GONZÁLEZ TANIA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JOSÉ LUIS GOMEZ MARQUEZ

MEXICO, D.F. 2011

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México por ser la máxima casa de estudios de la nación y mi máxima casa de estudios.

A la FES Zaragoza por que tuve el honor de haber pertenecido a su generación 2005-2009 de la carrera Biología y a lo largo de ese periodo y más, obtuve vasto conocimiento y amor por mi carrera y facultad.

Doctor José Luis Gómez Márquez por su paciencia y los conocimientos compartidos.

Doctora Berta Peña Mendoza por su sonrisa de complicidad que me sienta tan bien.

Biólogo José Luis Guzmán Santiago por hacerme adorar el laboratorio.

Maestro en ciencias Armando Cervantes Sandoval por enseñarme la belleza de la estadística.

Bióloga Angélica Elaine González Schaff por sus concejos.

DEDICATORIAS

A mi familia:

Edmundo Espinosa Moreno, por ser un excelente papa, haber aceptado mi determinación de alejarme de casa para mi superación y educación, y darme todo el apoyo en esta etapa.

Cristina González Rodríguez, mi niña grande, , porque eres una persona mágica que hace sentir bien a todos y orgullosamente (para mí) mi mama, una luchona, una persona bondadosa y nunca lo dudes eres muy inteligente.

Alejandro Israel Espinosa González, mi manin, mi hermano negro, eres un valiosísimo ejemplo para mí, yo siempre seré conmovida o incluso convencida por tus argumentos, me gusta escucharte y me enorgullece ser tu hermana.

Sonia Hernández Payró, flaquita, a ti te agradezco el darme la certeza de saber que adoras a mi manin y el a ti y haberme dado a mi primer sobrinito, mi Leonardito.

Karla Iris Espinosa González, por elegir en diversas etapas de tu vida cumplir el papel de mi madre, gracias hermanita por llegar a contarme tus aventuras, por escuchar las mías, por llenar de amor mi vida y ahora aportar más amor con mi sobrinita.

Yadira Espinosa González, por haberme querido tanto, porque a pesar del dolor que sentías tenias una sonrisa para mi, Yaya gracias por hacerme sentir orgullosa de haber sido tu hermana, siempre lo estuve y siempre lo estaré. Hermana yo creo en ti, creo en tu hermoso ser, creo que toda esa inteligencia, todo ese amor, todas esas vivencias, todo lo que constituyo tu identidad esta en algún lugar, porque no hay modo que pueda creer que sencillamente desaparecieras y por eso te escribo y te lloro por que donde estés debes saber que jamás dejare de quererte, mis logros ahora serán tuyos también.

A mis amigos:

He de mencionar que están ordenados en base a como fueron entrando en mi vida. Gracias por su franca y abierta amistad y en particular, niños, gracias por ver en mí a un amigo más, soy afortunada porque siempre me hicieron sentir segura, respetada y querida.

Ivet, porque aún desde lejos haz sido una gran amiga todos estos años. Gracias por haberme acompañado en esos momentos tan difíciles, por no haber solo cumplido un compromiso. Espero hacerme vieja siendo tu amiga.

Yessi, por tener una personalidad tan bonita, contigo se, siempre hay alguien que se acuerda de mi, que me entiende, que me habla con la verdad, que llega tarde a todo, pero con quien puedo contar y puede contar conmigo.

Manuel, porque eres un muy buen amigo y no solo eso, eres un amigo que baila.. Te agradezco Manuel porque a riesgo de parecer arrogante yo sé que me quieres como yo a ti o por lo menos me tienes un gran aprecio.

Omar, por soportarme por tanto tiempo, porque fuiste y eres un gran apoyo para mí, gracias por todo, eres una de las mejores personas que he conocido, sigue siendo la persona buena y honesta que eres.

Juanito, porque le diste sabor a la universidad con tus juani-aventuras, porque a pesar de lo loquito, necio, enojón que eres y soy, nos soportamos e incluso nos queremos.

Ángel, porque a pesar de lo que haya pasado eres muy especial para mí, aprendí mucho de ti, de mi y de nuestra amistad, a cambio yo te enseñe buena música y de mi Che. Te quiero mucho Angelito y también te admiro, mugre matadito ñoño.

Alex, porque eres tan transparente y natural, por tener siempre buen humor y las mas simpáticas ocurrencias que me hicieron la vida más feliz y por mostrarme que debajo de ese muchacho divertido, hay una persona, a la que quiero mucho.

Jorge, porque a pesar de que seas un payasito y me miraras feo a veces, admiro tu personalidad, me gusta que seas una buena persona, también me gustas tú, pero esa es otra historia, aquí te agradezco que hallas sido mi amigo, sé que como amigos me quieres mucho y te preocupas por mí. Y por parte de la otra historia, te quiero mucho, gracias por ser mi bonito sueño.

Sandra, porque eres una gran amiga, me gusta tu alegría y frescura, hiciste muy divertido mi tiempo contigo, gracias por cuidarme de tus amigos y por ayudarme con tu alocada manera de ver la vida a hacer cosas que no me decidía a hacer. Te quiero mucho Sandrita.

René, creo, no te trate mucho al principio, pero para mí fortuna, tuve oportunidad de conocerte mejor. Gracias por tu sinceridad, pues aun que a veces, sea gracioso escuchar tus observaciones, tan francas, también es cierto que son totalmente confiables.

INDICE

RESUMEN 6
1. INTRODUCCIÓN 8
2. ANTECEDENTES 10
3. OBJETIVO GENERAL 15
4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 15
5. ÁREA DE ESTUDIO 16
5.1. Morelos 16
5.2. Tlayacapan 16
5.3. Los Planes 19
6. MATERIAL Y MÉTODOS 20
6.1. Fase de campo 20
6.1.1. Parámetros analizados *in situ* 21
6.2. Fase de laboratorio 21
6.2.1. Parámetros analizados en el laboratorio 21
6.3. Fase de gabinete 22
6.3.1. Análisis estadístico 24
6.3.2. Análisis multivariados descriptivos 24
7. RESULTADOS 25
7.1. PLAN 1 25
7.1.1. Morfometría 25
7.1.2. Factores físico- químico-biológicos 27
7.1.3. Fitoplancton 30
7.1.4. Índice de Estado Trófico 34
7.1.5. Análisis estadístico 34
7.1.5.1. Comparación entre niveles de profundidad 34
7.1.5.2. Comparación entre meses 34
7.1.5.3. Correlaciones 35
7.1.5.4. Análisis multivariado 36
7.2. PLAN 2 39
7.2.1. Morfometría 39
7.2.2. Factores físico- químico-biológicos 41
7.2.3. Fitoplancton 44
7.2.4. Índice de Estado Trófico 47
7.2.5. Análisis estadístico 48
7.2.5.1. Comparación entre niveles de profundidad 48
7.2.5.2. Comparación entre meses 48
7.2.5.3. Correlaciones 48
7.2.5.4. Análisis multivariado 49
7.3. PLAN 3 53
7.3.1. Morfometría 53
7.3.2. Factores físico- químico-biológicos 54
7.3.3. Fitoplancton 58
7.3.4. Índice de Estado Trófico 61
7.3.5. Análisis estadístico 62
7.3.5.1. Comparación entre niveles de profundidad 62
7.3.5.2. Comparación entre meses 62
7.3.5.3. Correlaciones 63
7.3.5.4. Análisis multivariado 64

7.4. PLAN 4 67
7.4.1. Morfometría 67
7.4.2. Factores físico- químico-biológicos 68
7.4.3. Fitoplancton 71
7.4.4. Índice de Estado Trófico 75
7.4.5. Análisis estadístico 75
7.4.5.1. Comparación entre niveles de profundidad 75
7.4.5.2. Comparación entre meses 76
7.4.5.3. Correlaciones 76
7.4.5.4. Análisis multivariado 78
7.5. LOS PLANES 82
7.5.1. Factores físico- químico-biológicos 82
7.5.2. Fitoplancton 92
7.5.3. Análisis estadístico 100
7.5.3.1. Comparación entre sistemas 100
7.5.3.2. Correlaciones 100
7.5.3.3. Análisis multivariado 102
8. DISCUSION 106
8.1. Morfometría 106
8.2. Parámetros físicos, químicos y biológicos 108
8.3. Fitoplancton 113
9. CONCLUSIONES 117
10. BIBLIOGRAFÍA 118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Área de estudio 18
Figura 2: Variación del área superficial del Plan 1 a lo largo del estudio 26
Figura 3: Vista panorámica del Plan 1 en Septiembre de 2008 26
Figura 4: Variación mensual de las temperaturas, oxigeno y pH en Plan 1 28
Figura 5: Variación mensual de la transparencia y profundidad máxima en Plan 1 28
Figura 6: Variación mensual del DBO, SDT y la conductividad en Plan 1 29
Figura 7: Variación mensual de la Dureza total, de calcio y la alcalinidad total en Plan 1 29
Figura 8: Variación mensual de los sólidos totales en Plan 1 29
Figura 9: Variación mensual del fosforo total, ortofosfatos y Clorofila "a" en Plan 1 30
Figura 10: Variación mensual de los nitratos, nitritos y amonio en Plan 1 30
Figura 11: Variación mensual de los sulfatos y silicatos en Plan 1 30
Figura 12: Variación mensual de la Abundancia del fitoplancton en Plan 1 30
Figura 13: Porcentaje de las divisiones en temporada de lluvias de Plan 1 31
Figura 14: Porcentaje de las divisiones en temporada de secas frías de Plan 1 31
Figura 15: Porcentaje de las divisiones en temporada de secas cálidas de Plan 1 31
Figura 16: Variación mensual de la diversidad α en Plan 1 32
Figura 17: Variación mensual de la equitatividad en Plan 1 32
Figura 18: Diagrama de Olmstead-Tuckey para Plan 1 33
Figura 19: Representación grafica de los componentes para el Plan 1 38
Figura 20: Comportamiento de las variables y los meses de monitoreo para Plan 1 38
Figura 21: Dendograma que muestra la asociación de los meses de muestreo para Plan 1 39
Figura 22. Variación del área superficial del Plan 2 a lo largo del estudio 40
Figura 23. Vista panorámica del Plan 2 septiembre de 2008 40

Figura 24: Variación mensual de las temperaturas, oxigeno y pH en Plan 2 42
Figura 25: Variación mensual de la transparencia y profundidad máxima en Plan 2 42
Figura 26: Variación mensual del DBO, SDT y conductividad en Plan 2 42
Figura 27: Variación mensual de la Dureza total, de calcio y la alcalinidad total en Plan 2 42
Figura 28: Variación mensual de los sólidos totales en Plan 2 43
Figura 29: Variación mensual del fosforo total, ortofosfatos y Clorofila "a" en Plan 2 43
Figura 30: Variación mensual de los nitratos, nitritos y amonio en Plan 2 43
Figura 31: Variación mensual de los sulfatos y silicatos en Plan 43
Figura 32: Variación mensual de la abundancia del fitoplancton en Plan 2 44
Figura 33: Porcentaje de las divisiones en temporada de secas cálidas de Plan 2 44
Figura 34: Porcentaje de las divisiones en temporada de lluvias de Plan 2 44
Figura 35: Porcentaje de las divisiones en temporada de secas frías de Plan 2 45
Figura 36: Variación mensual de la diversidad α en Plan 2 45
Figura 37: Variación mensual de la equitatividad en Plan 2 45
Figura 38: Diagrama de Olmstead-Tuckey para Plan 2 47
Figura 39: Representación grafica de pesos de los componentes para Plan 2 51
Figura 40: Comportamiento de las variables y los meses de monitoreo para Plan 2 52
Figura 41: Dendograma que muestra la asociación de los meses de muestreo para Plan 2 52
Figura 42: Variación del área superficial del Plan 3 a lo largo del estudio 53
Figura 43: Vista panorámica Plan 3 marzo de 2008 54
Figura 44: Plan 3 en abril utilizado como abrevadero 54
Figura 45: Variación mensual de las temperaturas, oxigeno y pH en Plan 3 55
Figura 46: Variación mensual de la transparencia y profundidad maxima en Plan 3 55
Figura 47: Variación mensual del DBO, SDT y conductividad en Plan 2 56
Figura 48: Variación mensual de la Dureza total, de calcio y la alcalinidad total en Plan 3 56
Figura 49: Variación mensual de los sólidos totales en Plan 3 56
Figura 50: Variación mensual del fosforo total, ortofosfatos y Clorofila "a" en Plan 3 57
Figura 51: Variación mensual de los nitratos, nitritos y amonio en Plan 3 57
Figura 52: Variación mensual de los sulfatos y silicatos en Plan 3 57
Figura 53: Variación mensual de la abundancia del fitoplancton en Plan 3 58
Figura 54: Porcentaje de las divisiones en temporada de secas cálidas de Plan 3 58
Figura 55: Porcentaje de las divisiones en temporada de lluvias de Plan 3 58
Figura 56: Porcentaje de las divisiones en temporada de secas frías de Plan 3 59
Figura 57: Variación mensual de la diversidad α en Plan 3 59
Figura 58: Variación mensual de la equitatividad en Plan 3 59
Figura 59: Diagrama de Olmstead-Tuckey para Plan 3 61
Figura 60: Representación grafica de los componentes para el Plan 3 65
Figura 61: Comportamiento de las variables y los meses de monitoreo para Plan 3 66
Figura 62: Dendograma que muestra la asociación de los meses de muestreo para Plan 3 67
Figura 63: Vista panorámica del Plan 4 en septiembre de 2008 67
Figura 64: Variación del área superficial del Plan 4 a lo largo del estudio 68
Figura 65: Variación mensual de las temperaturas, oxigeno y pH en Plan 4 69
Figura 66: Variación mensual de la transparencia y profundidad máxima en Plan 4 69
Figura 67: Variación mensual del DBO, SDT y conductividad en Plan 4 70
Figura 68: Variación mensual de la Dureza total, de calcio y la alcalinidad total en Plan 4 70
Figura 69: Variación mensual de los sólidos totales en Plan 4 70
Figura 70: Variación mensual del fosforo total, ortofosfatos y Clorofila "a" en Plan 4 71
Figura 71: Variación mensual de los nitratos, nitritos y amonio en Plan 4 71
Figura 72: Variación mensual de los sulfatos y silicatos en Plan 4 71
Figura 73: Variación mensual de la abundancia del fitoplancton en Plan 4 72
Figura 74: Porcentaje de las divisiones en temporada de secas cálidas de Plan 4 72
Figura 75: Porcentaje de las divisiones en temporada de lluvias de Plan 4 72

Figura 76: Porcentaje de las divisiones en temporada de secas frías de Plan 4 73
Figura 77: Variación mensual de la diversidad α en Plan 73
Figura 78: Variación mensual de la equitatividad en Plan 4 73
Figura 79: Diagrama de Olmstead-Tuckey para Plan 4 75
Figura 80: Representación grafica de los componentes para el Plan 4 80
Figura 81: Comportamiento de las variables y los meses de monitoreo para Plan 4 80
Figura 82: Dendograma que muestra la asociación de los meses de muestreo para Plan 4 81
Figura 83. Climograma de Tlayacapan 82
Figura 84: Profundidad máxima mensual de los Planes 83
Figura 85: Área mensual de los Planes 83
Figura 86. Variación de la transparencia mensual de los Planes 84
Figura 87: Temperatura ambiental mensual de los Planes 84
Figura 88. Comportamieneto mensual de la temperatura del agua para los Planes 84
Figura 89. Variación mensual del oxígeno disuelto para los Planes 85
Figura 90. Comportamiento mensual de DBO para los Planes 85
Figura 91: Conductividad mensual de los Planes 86
Figura 92. Variación mensual del pH para los Planes 86
Figura 93. Comportamiento de la alcalinidad total para los Planes 87
Figura 94. Variación de la dureza total de manera mensual para los Planes 87
Figura 95. Variación temporal de la dureza de calcio para los Planes 87
Figura 96. Comportamiento mensual de los sólidos totales para los Planes 88
Figura 97. Comportamiento temporal de los SDT para los Planes 88
Figura 98: Variación de nitratos de manera mensual para los Planes 89
Figura 99. Variación mensual de nitritos para los Planes 89
Figura 100. Comportamiento temporal del amonio para los Planes 89
Figura 101: Variación mensual del fósforo total para los Planes 90
Figura 102. Comportamiento temporal de los ortofosfatos para los Planes 90
Figura 103. Variación temporal de los silicatos para los Planes 91
Figura 104. Variación mensual de los sulfatos para los Planes 91
Figura 105. Comportamiento de la clorofila "a" para los Planes 91
Figura 106. Variación de la abundancia mensual para los Planes 92
Figura 107. Variación temporal del índice de Shannon- Wiener para los Planes 92
Figura 108. Equitatividad mensual para los Planes 93
Figura 109. Comportamiento mensual de la uniformidad para los Planes 93
Figura 110. Composición por porcentaje de las divisiones para los Planes 99
Figura 111. Relación entre variables y factores para los Planes 104
Figura 112: Comportamiento de las variables y los meses de monitoreo de los Planes 105
Figura 113. Dendograma de asociación para los Planes 105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de la eutrofización 10
Tabla 2: IET 23
Tabla 3: Ubicación geográfica de los sistemas 25
Tabla 4: Datos morfométricos del Plan 1 26
Tabla 5: Promedio de parámetros de Plan 1 por temporadas 27
Tabla 6: Jerarquizacion de las especies por dominancia para Plan 1 33
Tabla 7: Índice del Estado Trófico para el Plan 1 34
Tabla 8: Correlaciones de las variables físicas químicas y biológicas para el Plan 1 35
Tabla 9: Análisis de Componentes Principales para Plan 1 36
Tabla 10: Tabla de Pesos de los Componentes de Plan 1 37
Tabla 11: Datos morfométricos del Plan 2 40
Tabla 12: Promedio de los parámetros de Plan 2 por temporadas 41
Tabla 13: Jerarquizacion de las especies por dominancia para Plan 2 46
Tabla 14: Índice del Estado Trófico para el Plan 2 47
Tabla 15: Correlaciones de las variables físicas químicas y biológicas para el Plan 2 49
Tabla 16: Análisis de Componentes Principales para Plan 2 50
Tabla 17: Tabla de Pesos de los Componentes de Plan 2 50
Tabla 18: Datos morfométricos del Plan 3 53
Tabla 19: Promedio de los parámetros de Plan 3 por temporadas 55
Tabla 20: Jerarquizacion de las especies por dominancia para Plan 3 60
Tabla 21: Índice del Estado Trófico para el Plan 3 61
Tabla 22: Correlaciones de las variables físicas químicas y biológicas para el Plan 3 63
Tabla 23: Análisis de Componentes Principales para Plan 3 64
Tabla 24: Tabla de Pesos de los Componentes de Plan 3 65
Tabla 25: Datos morfométricos del Plan 4 68
Tabla 26: Promedio de los parámetros de Plan 4 por temporadas 69
Tabla 27: Jerarquizacion de las especies por dominancia para Plan 4 74
Tabla 28: Índice del Estado Trófico para el Plan 4 75
Tabla 29: Correlaciones de las variables físicas químicas y biológicas para el Plan 4 77
Tabla 30: Análisis de Componentes Principales para Plan 4 78
Tabla 31: Tabla de Pesos de los Componentes de Plan 4 79
Tabla 32: Listado de las especies de fitoplancton registradas en los Planes 94
Tabla 33. Abundancia y frecuencia de aparición de las especies en los Planes 99
Tabla 34. Comparación del índice de Jaccard para los sistemas 100
Tabla 35. Valores de correlación para las variables analizadas 101
Tabla 36: Análisis de Componentes Principales de los Planes 102
Tabla 37. Pesos de las variables en cada uno de los componentes para los Planes 103

RESUMEN

Se realizó un análisis de calidad del agua que incluyó factores físicos, químicos y biológicos; se evaluó la morfometría y batimetría de cuatro sistemas denominados Los Planes, ubicados en el municipio Tlayacapan, estado de Morelos, México. Se hicieron muestreos mensuales de marzo de 2008 a marzo de 2009, a tres niveles (0.3 m, 1m y 2m), según las condiciones de profundidad de los sistemas, debido a que se trata de sistemas pequeños y someros con condiciones de recirculación favorables, se estableció una sola estación de muestreo en el punto más céntrico posible. Estos embalses se clasifican como polimícticos cálidos.

Los cuatro sistemas presentan a lo largo del año una temporada de concentración de noviembre a junio y dilución de julio a octubre. La temporada de concentración coincide con la temporada seca, por ausencia de lluvias; sin embargo, también con base en la temperatura a la tasa de evaporación, esta temporada esta dividida a su vez en dos: temporada de secas frías, que comprende de noviembre a febrero y la de secas cálidas que abarca los meses de marzo a junio. Con base en lo obtenido por el análisis de conglomerados se dividió el comportamiento de los sistemas en tres temporadas: la temporada de secas cálidas, que incluye los meses de marzo, abril, mayo y junio; la temporada de lluvias, que engloba los meses de julio, agosto, septiembre y octubre; la temporada de secas frías, que comprende los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero.

Por las condiciones tróficas los sistemas se clasificaron como hipereutróficos a lo largo de todo el año, pues pese a que su dinámica era variante a lo largo del año, los sistemas se han deteriorado con el paso del tiempo entrando a una etapa permanente de hipertrófia.

Los sistemas no presentan diferencias estadísticas significativas entre profundidad máxima, transparencia, área, oxígeno disuelto, dureza, ortofosfatos (fósforo reactivo disuelto), nitritos, clorofila "a" y la abundancia de fitoplancton, mientras que los parámetros en los que se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas fueron, temperatura ambiente, temperatura del agua, DBO, conductividad, pH, SDT (TDS por sus siglas en ingles), sólidos totales, alcalinidad total, fósforo total, nitratos, amonio, silicatos, sulfatos y equitatividad.

La mayoría de los factores de carácter edáfico presentan valores altos en la temporada de secas cálidas, disminuyen ligeramente en lluvias y aumentan gradualmente para la temporada de secas frías. En el caso de la dureza los valores se distribuyen tanto entre aguas duras y moderadamente duras como suaves, sin que el Plan uno pase por aguas suaves, en tanto que el Plan 4 permanece a lo largo del año con aguas suaves.

Para jerarquizar la dominancia de las especies se construyó el diagrama de Olmstead-Tuckey; en los cuatro sistemas el grupo que englobó al mayor porcentaje de especies fue el de las especies raras, el siguiente grupo en aglomerar un porcentaje alto fue las de las dominantes, en tanto que las clasificaciones intermedias ocasionales se situan en tercer lugar, pero con una proporción mucho menor que las dos anteriores y por último las constantes presentan los porcentajes más bajos.

En este estudio las especies más dominantes son *Chlorococcum infusionum* y *Kirchneriella irregularis* las cuales además de ser las más dominantes pertenecen a la división Chlorophyta; también representantes de las otras divisiones entre las especies más dominantes como son*: Chroococcus dispersus* y *Anabaena spiroides* de la división Cyanophycota; *Goniochloris mutica* de Xanthophyta; *Peridinium inconspicuum* en Pyrrophycophyta; *Phacus* sp y *Trachelomonas* sp en Euglenophycota y *Melosira* sp y *Navicula* sp en Bacillariophyta.

En cuanto al índice de diversidad beta, el índice de Jaccard muestra que los Planes 3 y 4 presentaron el valor más alto con más del 50% de similitud entre estos sistemas, los que menos especies comparten fueron los Planes 1 y 4, el Plan 2 esta intermedio en similitud para todos los Planes, mientras que el Plan 1 es el menos parecido al resto.

1. INTRODUCCION

México es un país que ocupa una franja latitudinal que va del trópico al subtrópico, localizado entre dos grandes océanos, con una topografía muy accidentada, gran biodiversidad y con una amplia variedad de climas que condicionan una muy irregular distribución de aguas lóticas y lenticas. Posee 320 cuencas hidrográficas, en las cuales se destacan 70 lagos, con tamaños de superficie que varían entre las 1000 y más de 10 000 hectáreas, que en conjunto cubren un área de 370 891 hectáreas (De la Lanza y García, 2002).

En la república existen 14 000 cuerpos de agua lénticos, destacando por su abundancia los bordos que ocupan el 67.13% y cubren 188 781 hectáreas. Aproximadamente el 90% son temporales con dimensiones menores a dos hectáreas. Estos embalses entran dentro de la clasificación de polimícticos cálidos continuos, por ser someros y encontrarse en latitudes tropicales (Hernández-Avilés *et al*, 2002).

Dentro de las cuencas se encuentran embalses naturales (lagos y lagunas) y artificiales (presas o reservorios y microreservorios o bordos). Estos últimos son pequeños cuerpos de agua temporal y permanente. Usualmente contienen grandes concentraciones de materiales en suspensión y materia orgánica. Entre ellos están los bordos o jagüeyes que se emplean para consumo doméstico, irrigación, abrevadero y aún para acuicultura. En general se les puede considerar como embalses someros con profundidades máximas entre uno y cinco metros y con diferente temporalidad.

Con base en la temperatura y contenido calórico, se clasifican como:

1) Charco. Con un profundidad de más de 20 cm con sobrecalentamiento.
2) Charca. Con una profundidad de más de 60 cm, con estratificación y circulación diaria.
3) Estanques. Con una profundidad mayor de un metro, tienden a ser más estables cuando se estratifican (Hernández-Avilés et al, 2002).

Sin embargo, para obtener una imagen completa de las características del embalse de una muestra en particular, es necesario realizar el análisis de la calidad del agua para determinar sus características físicas, químicas y biológicas (Tebbutt, 2002). Las propiedades físicas son en muchos casos relativamente fáciles de medir, algunas de las cuales pueden observarse en un lago rápidamente. Las características químicas tienden a ser más específicas en su naturaleza que algunos de los parámetros físicos y por eso son más útiles para evaluar las propiedades de una muestra de inmediato (Arredondo, 1998).

Como sucede en todos los sistemas acuáticos, los cambios en el clima y geomorfología de las cuencas, alteran la cantidad de nutrimentos que entran al agua trayendo como resultado, una disminución o aumento en la productividad y en la velocidad de

eutrofización de los lagos (Wetzel, 2001).

La materia orgánica en exceso aportada a los lagos por las actividades humanas, particularmente en fósforo, tiene como consecuencia un aumento en la producción primaria, lo que se conoce como eutrofización cultural (González, 1988). Estos cambios naturalmente se dan de manera gradual; sin embargo, en muchos casos las actividades humanas aceleran enormemente estos cambios, en muy pequeña escala de tiempo (Wetzel, 2001).

Para el estudio de dichos cambios se puede utilizar al fitoplancton, cuya clasificación se basa en la composición química de sus sustancias de almacenaje, de la pared celular y de los pigmentos que presenta (Reid y Wood, 1976), está representado por las algas microscópicas que por su rápida reproducción y cortos ciclos vitales responden rápidamente a los cambios ambientales ocasionados de manera natural o por las actividades humanas; por esto, la composición de sus especies es un índice de la calidad del agua en la que se encuentran (Rosen, 1995; Moreno, 2003) y por lo tanto, es necesario analizar la estructura de las comunidades para caracterizar el ambiente que los rodea.

Además de ser tolerantes a la contaminación, está bien documentado que son indicadores de eutrofización e incremento de la turbiedad, ya que la incorporación excesiva de nutrientes influye directamente sobre el fitoplancton, por cuanto modifica su composición especifica y eleva su producción (González, 1988).

Asimismo, la riqueza de especies y su composición se utiliza como base para el monitoreo de la vegetación acuática y el efecto del impacto antropogénico. Además, no siempre una alta diversidad se interpreta como el reflejo de una alta calidad del hábitat. En muchos casos es mejor utilizar especies indicadoras de la calidad del agua sin destacar todos los parámetros que puedan ser medidos y reunidos para ofrecer una evaluación más confiable (Godínez, 2003).

La eutrofización conduce a una menor eficiencia en el aprovechamiento de la energía que ingresa en el sistema por la vía del fitoplancton, al favorecer el desarrollo de especies no comestibles para el zooplancton (González, 1988) como es el caso de algunas especies de fitoplancton, que generan toxinas que producen efectos sobre peces, moluscos y crustáceos, o bien cuando los organismos mueren, la actividad bacteriana favorece el aumento de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y lo reduce a niveles indetectables a las algas y provoca la mortalidad generalizada de peces e invertebrados, que por su propia descomposición contribuyen al incremento de la anoxia (Moreno, 2003). El utilizar al fitoplancton para la determinación del estado trófico de los sistemas, es de gran importancia ecológica, ya que algunas especies presentan importancia comercial, como es el caso de algunas cianobacterias del género *Anabaena*, del que se ha descrito su utilidad como biofertilizante (Vekataraman 1986 citado en Loreto *et al*, 2003), fuente de pigmentos (Morales *et al.,* 2002; citado en Loreto *et al* , 2003) y de exopolisacáridos (Moreno *et al*., 1998;

citado en Loreto *et al*., 2003). Asimismo, la cepa *Anabaena* PCC 7120 ha sido seleccionada en numerosos estudios sobre biología molecular de ficobilisomas, purificación de ARN polimerasa, diferenciación de heterocistes (Buikema y Haselkorn 1991; citado en Loreto *et al*., 2003) e inducción de proteínas (Giraldez-Ruiz *et al*., 1997; citado en Loreto *et al*., 2003).

En cuanto a las características biológicas, el análisis de la producción por medio de la determinación de la biomasa (clorofila "a"), ha sido desde hace mucho tiempo un buen elemento para la estimación y monitoreo del estatus de eutrofización de los lagos, el cual divide los lagos dentro de cinco categorías (Heinonen, *et al*., 2000):

Tabla 1: Clasificación de la eutrofización

Clasificación de la eutrofización de los lagos según la OECD (1982)		
Nivel trófico	Cantidad de clorofila (mg/m^3)	Cantidad máxima de clorofila (mg/m^3)
Ultra- oligotrófico	<1	<2.5
Oligotrófico	<2.5	<8
Mesotrófico	2.5 - 8	8 - 25
Eutrófico	8 - 25	25 – 75
Hipereutrófico	>25	> 75

Sin embargo, debido a que la evaluación con una sola variable no representa el comportamiento del sistema, se han creado otros índices que incluyen más variables como el de Carlson (1977) que toma en consideración tres parámetros: visibilidad al disco de Secchi, fósforo total y clorofila "a". Por lo tanto, la evaluación de la calidad del agua debe realizarse con el mayor número de variables que permitan tener una mayor certeza del nivel trófico de presentan.

2. ANTECEDENTES

El hombre ha sabido de la existencia del plancton prácticamente desde el mismo momento en que se detuvo a observar el mar y los lagos (González, 1988).

Pero fue hasta 1887 que Hensen propuso el término "plancton" para designar las pequeñas partículas vivas llevadas pasivamente por el movimiento del agua y separarlas de las inertes acuáticas a las que denominó tripton (González, 1988).

Los términos eutrófico y oligotrófico fueron introducidos por Weber en 1907 para calificar aguazales o pantanos más o menos ricos en nutrimento, y luego extendidos a los lagos (Naumann, 1919: citado en Margaleff, 1983).

Sin embargo, en México hay muchos estudios realizados en esta área y con respecto a esto se pueden mencionar los siguientes ordenados en base a la relación que hay con el presente estudio:

Valdez *et al.* (1996) efectuaron un estudio ficoflorístico en tres localidades del estado de Morelos, se registraron 100 especies algales entre las que encontraron Cyanophyceae con un 47%, Bacillariophyceae con un 39%, Chlorophyceae con el 10%, Rhodophyceae con un 3% y Xanthophyceae con 1%.

González y López (1997) llevaron a cabo un estudio de la presa Emiliano Zapata, para lo cual se realizaron muestreos mensuales de noviembre de 1994 a Octubre de 1995, en el que la mayoría de los factores físicos y químicos se vieron influenciados por la época de lluvias y estiaje; algunos aumentaron su concentración y otros disminuyeron por lo que el sistema se clasificó como mesotrófico. Se registraron 26 especies de fitoplancton distribuidas en 4 divisiones Cyanophycota, Bacillariophyta, Euglenophycota y Chlorophyta, la especies más abundante fue *Chroccocus minutus* y septiembre fue el mes en el que se registró mayor diversidad.

Zalocar *et al.* (1998) analizaron la variación espacial y temporal del fitoplancton en un lago subtropical en Argentina de febrero de 1995 a marzo de 1996; mensualmente se realizaron muestreos en el área limnética y litoral, la biomasa fitoplanctónica varió entre 2.38 y 45.59 mm^3 m^{-2} con un valor medio de 12.11, la densidad de la población osciló entre $0.3x10^6$ y $4.7x\ 10^6$ ind cm^{-2}. Se registraron un total de 137 taxones de algas; sin embargo, fueron pocas las especies que se caracterizaron por su abundancia, el grupo dominante a lo largo del año fue la división Cyanophycota con *Cylindrospermopsis raciborskii, Aphanizomenon* sp. y *Microcystis aeruginosa* como especies representativas; el segundo grupo en importancia fue Chlorophyta, cuya especie dominante fue *Botryococcus brauni*, las divisiones Bacillariophyceae, Xanthophyta, Euglenophycota y Cryptophyceae ocupan una representatividad baja, mientras que Chrysophyceae y Dinophyceae son las menos representativas. La clorofila presenta valores dentro del 0.7 y 8 $\mu g.L^{-1}$ reflejando una variación anual de la biomasa fitoplanctónica, la cual esta positivamente relacionada con las precipitaciones 10 días antes de cada muestreo. El sistema presentó características eutróficas, tanto por la elevada densidad del fitoplancton, como por la composición de los taxones que lo integran, caracterizado por un reducido número de especies en los meses más cálidos.

López-López y Serna-Hernández (1999) analizaron las comunidades planctónicas y los factores ambientales del embalse Ignacio Allende en Guanajuato, México, de julio de 1990 a junio de 1991, en el cual fueron identificadas un total de 57 especies de fitoplancton. Durante el verano se registró el mayor nivel de agua y una alta proliferación de Cyanophycota coincidente con las densidades más bajas de zooplancton, seguido por la dominancia de Bacillariophyta en los meses fríos y la recuperación de las densidades de

zooplancton. En primavera con el incremento de la temperatura las Chlorophyta alcanzaron sus mayores densidades y el zooplancton mostró otra recuperación en su densidad. Las Pyrrophycophyta y Euglenophycota presentaron la menor riqueza específica. Para jerarquizar la dominancia de las especies se construyó el diagrama de Olmstead-Tuckey.

Tavera y Castillo (2000) realizaron un estudio en el lago Catemaco que revela que se trata de un lago eutrófico, las especies que dominaron en el fitoplancton son *Cylindrospermopsis catemaco* y *C. philippinensis*; en cuanto a la contribución de biomasa, la Cyanophycota representaron el 90%, las Chlorophyta el 5.5% y las Bacillariophyta el 4.5%. Con el tiempo la diversidad ha decrecido y Cyanophycota aumentó su dominio frente a los otros dos grupos. La relación entre las estaciones y los cambios en composición de especies se cree que puede estar relacionada directamente a la escorrentía que trae como consecuencia un incremento en la concentración de nutrientes.

Chacon-Torres *et al.* (2000) realizaron un estudio sobre el deterioro de la calidad del agua en el lago Cuitzeo de 1980 a 1993, esto se logró tratando las variables medioambientales que inducen al proceso de hipereutrofización. La producción primaria y respiratoria fue estimada de acuerdo a la producción de oxígeno algal en botellas clara-obscuras. El examen al microscopio reveló que el fitoplancton estaba dominado por *Euglena* sp, *Oscillatoria* sp. y *Anabaena* sp. La concentración de nutrientes fue alta, principalmente nitrógeno, consecuentemente hubo una producción masiva de algas en la superficie, provocando la turbiedad del agua y la consecuente reducción de la zona eufótica y con respecto a las variaciones que se han registrado de 1980 a 1993, la más notable en cuanto al fitoplancton es que ha incrementado en abundancia y disminuido el número de especies.

Gómez (2002) realizó muestreos mensuales de enero a diciembre de 1993 en el lago Coatetelco y el sistema fue clasificado como hipertrófico; en lo que respecta al fitoplancton se reconocieron cuatro divisiones Chlorophyta (59.52%) para la cual las especies más representativas fueron *Desmococcus viridis, Kirchnerilla obesa* y *Scenedesmus quadricauda*, Cyanophycota (36.04%) representada por *Anabaena* sp y *Merismopedia glauca*, Bacillariophyta (36.04%) con *Navicula* sp y por último Euglenophycota (1.00%) con *Euglena* sp. La mayor abundancia fue registrada en enero, febrero y mayo y la menor en diciembre; en total se reportaron 26 especies. De acuerdo al índice de Shanon-Wiener la mayor diversidad se obtuvo en febrero y la menor en diciembre.

Dorantes y Zavala (2003) llevaron a cabo muestreos mensuales en tres cuerpos de agua, del estado de Morelos, la presa Emiliano Zapata, el lago Coatetelco y el lago El Rodeo de febrero de 2001 a febrero de 2002, para conocer la calidad del agua de los mismos con base en los factores físico, químicos y del plancton y así determinar el estado trófico de cada uno. La temperatura se mantuvo entre 20 y 32ºC, en cuanto a la relación nitrógeno-fósforo, en los tres lagos se reportó mayor disponibilidad de nitrógeno que de fósforo; con respecto

al fitoplancton en la presa E. Zapata y el lago Coatetelco se determinaron 26 especies mientras en el Rodeo se determinaron 30 especies. Con relación a la clorofila a para la presa Emiliano Zapata los valores fluctúan entre 13 y 83 µg/l por lo que se clasifica como eutrófico durante la estación de secas e hipereutrófico durante la estación de lluvias, para el lago El Rodeo los valores se encuentran entre 2 y 79 µg/l, por lo que se clasificó como mesotrófico; por último, el lago Coatetelco registró valores que varían de 23 a 160 µg/l por lo que se consideró como un sistema en estado eutrófico a hipereutrófico. Se realizó un ANDEVA que indicó que no existen diferencias estadísticas entre estos sistemas en cuanto a los parámetros físico-químicos y con respecto a los nutrimentos, no se detectaron diferencias significativas para el amonio y nitritos.

García-Rodríguez *et al.* (2003) determinaron las especies de fitoplancton presentes en el lago Tonatiahua, Morelos, México en el que se registraron un total de 24 especies, incluidas en las divisiones Chlorophyta con 7 especies, Cyanophycota con 3 especies, Euglenophycota con 2 especies, Pyrrophycophyta con 1 especie y Bacillariophyta con 11.

Trujillo (2003) hizo un estudio de la diversidad acuática del Río Amacuzac, Morelos, México. Se realizaron salidas mensuales a campo durante un ciclo anual, de septiembre de 1999 a agosto de 2000; para el caso del fitoplancton este fue recolectado con una red cónica con abertura de malla de 10 µm. El fitoplancton encontrado fue representado por 4 clases, 7 órdenes, 13 familias, 23 géneros y 40 especies de fitoplancton.

Ramos-Higuera *et al.* (2006) realizaron un estudio en el lago Alchichica ubicado en el estado de Puebla, México, en el que se evaluó si las concentraciones naturales de fósforo y nitrógeno limitaban la biomasa fitoplanctónica, esto se realizó aplicando tratamientos de enriquecimiento con nitrógeno y fósforo durante las etapas de mezcla y estratificación. Durante la época de mezcla la respuesta de crecimiento fue limitada y la comunidad de fitoplancton no modifico su composición ni abundancia; contrariamente, durante la época de estratificación la adición de nutrimentos favoreció el crecimiento de fitoplancton modificando su composición y abundancia. Los resultados muestran que el nitrógeno es el nutrimento que principalmente podría limitar el crecimiento algal, tal como ha sido reportado para los lagos tropicales a diferencia de los lagos templados, en los que el nutriente limitante es el fósforo. Sin embargo, ambos nutrientes influyen en el desarrollo del fitoplancton.

Molina-Astudillo *et al.*, (2005) analizaron la distribución vertical del plancton en un estanque rústico de producción piscícola en el municipio de Cuautla Morelos, esto lo hicieron mediante siete ciclos diarios, durante periodos de tres horas en superficie y fondo con botella Van Door, donde el fitoplancton estuvo constituido por cuatro grupos, Chlorophyta, Bacillariophyta, Cyanophycota y Euglenophycota. La Chlorophyta fue el grupo dominante durante octubre, diciembre febrero y abril y las especies más abundantes fueron *Ankistrodesmus falcatus*, *Crucigenia quadrata, Oocystis* sp y *Kichnerilla lunaris;* En

enero Bacillariophyta fue el grupo de mayor abundancia destacándose las especies *Cyclotella* sp., *Navicula* sp., *Fragilaria* sp. y *Pinnularia* sp.; mientras que en noviembre y marzo la Cyanophycota registró los picos máximos siendo las especies más abundantes *Anabaena* sp., *Merismopedia elegans* y *Microcystis* sp. La Euglenophycota siempre fueron las últimas en abundancia y frecuencia de aparición.

Quiroz *et al.*, (2006) realizaron un estudio sobre la variación de componentes fitoplanctónicos así como un análisis de la calidad del agua en un bordo temporal ubicado en el norte del estado de Guerrero, para lo cual llevaron a cabo muestreos mensuales durante un ciclo anual de noviembre de 2003 a diciembre de 2004 en el bordo temporal "Laguna Seca". Se presentaron cinco grupos de organismos fitoplanctónicos, dominando las Euglenophycota y Cyanophycota, el bordo se encontró en una fase de oligo-mesotrofia durante la mayor parte del año y con algunas variaciones cercanas a la eutrofia sobre todo en la etapa de concentración; no se mostró un patrón definido de florecimiento fitoplanctónico. Para determinar la relación entre los parámetros físico-químicos así como para el fitoplancton, se empleó la correlación de Pearson, cuyo análisis no registró diferencias estadísticas significativas en lo que respecta a las estaciones de muestreo; sin embargo, si se hallaron diferencias al comparar los muestreos en ambas etapas. Las Chlorophyta presentaron una correlación positiva con la alcalinidad y la dureza, las Cyanophycota con la temperatura, el pH, el oxigeno disuelto y la alcalinidad y las Bacillariophyta, con la temperatura y ninguno de los grupos presentó correlación significativa con los nutrientes

Ortiz (2006) efectuó un estudio de los sistemas acuáticos (lénticos) del estado de Morelos para lo cual tomó muestras de abril de 2004 a diciembre de 2005 de los sistemas acuáticos presentes en la parte centro poniente del estado y que fueron clasificados en 31 temporales y 20 permanentes. Con respecto al estado trófico la mayor parte de los sistemas pueden caracterizarse como eutróficos con tendencia a la hipereutrofía. En cuanto al fitoplancton se obtuvo una dominancia de la Chlorophyta, en segundo lugar están las Cyanophycota, posteriormente las Bacillariophyta, después las Euglenophycota y por último las Pyrrophycophyta.

Ramírez (2008) realizó un análisis del recurso acuático en el parte nororiente del estado de Morelos entre noviembre de 2005 y noviembre de 2007; entre los sistemas evaluados se encuentran Los Planes, estos fueron clasificados como eutróficos con tendencia a la hipereutrofía, mientras que los Planes 1, 2 y 4 la división Chlorophyta fue dominante, seguida por la Cyanophycota; en tercer lugar se registró la Euglenophycota y por último la Bacillariophyta, mientras que el Plan 3 presentó un comportamiento distinto. Sólo se realizaron dos muestreos uno en la época de secas y otro en la de lluvias.

Rosas (2009) realizó una caracterización físico-química y biológica de los sistemas acuáticos lenticos de la porción sur- oriente de Morelos, se tomaron muestras de marzo de

2007 a abril de 2008 en sistemas ubicados en base a cartas cartográficas del INEGI y con base en estudios anteriores y de acuerdo a los nutrientes, la mayoría de los embalses se clasifican como eutróficos con tendencia a la hipereutrofía. Respecto al fitoplancton se reportan 124 especies pertenecientes a seis clases, siendo Chlorophycea la más representativa

Gómez- Márquez *et al* (2009) realizaron un inventario de los sistemas lénticos del estado de Morelos, con el fin de actualizar la base de datos sobre el recurso en el estado, para esto ubicaron los sistemas en base a estudios realizados en la zona y una posterior revisión en cartas de INEGI, se tomaron muestras de abril de 2004 a febrero de 2008 de los sistemas acuáticos en los 33 municipios. Se muestrearon y georreferenciaron un total de 154 cuerpos de agua en dos épocas del año; secas y lluvias, entre bordos, lagos y presas, de los cuales 100 son permanentes y 54 son temporales. Con base en el índice de Carlson, la mayor parte de los sistemas pueden caracterizarse como eutróficos con tendencia a hipertrofia.

3. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar y comparar las condiciones físico-químico-biológicas del agua en cuatro cuerpos de agua localizados en el municipio de Tlayacapan, Morelos

4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar los parámetros físico-químicos de los sistemas acuáticos.
- Analizar la composición y abundancia espacial y temporal de los organismos fitoplanctónicos presentes en los sistemas “Los Planes”.
- Analizar la variación temporal de la diversidad, riqueza de especies, equitatividad y uniformidad de cada uno de los sistemas.
- Analizar la relación entre los factores bióticos y abióticos por medio del análisis estadístico.

5. AREA DE ESTUDIO

5.1. Morelos

El estado de Morelos está ubicado en la parte central de la República Mexicana, en el eje Neovolcánico. Limita al norte con el estado de México y el Distrito Federal; al este con México y Puebla; al sur con Puebla y Guerrero y al oeste con Guerrero y México. Se ubica entre los 18°20' y 19°08' latitud norte y los 98°38' y 99°30' longitud oeste. Está conformado por 33 municipios, cuenta con un área de 4 958.22 km² y representa el 0.3% de la superficie del país con un clima predominante (A)Cb(w_1)(w) (Anónimo, 1981).

5.2. Tlayacapan

Se localiza en la parte Noreste del Estado de Morelos; entre los 18º 57' latitud Norte y 98º 59' de longitud Oeste, a 1 630 m sobre el nivel del mar. Colinda al norte con el municipio de Tlalnepantla; al sur con Yautepec, al este con Totolapan y Atlatlahucan y al oeste con el municipio de Tepoztlán. Se encuentra a una distancia aproximada hacia la capital del estado de 60 km. Posee una extensión territorial de 52,136 kilómetros cuadrados, cifra que representa el 1.05% del total de estado (H. Ayuntamiento de Tlayacapan, 2005).

Pertenece a la subprovincia de los lagos y volcanes de Anáhuac, Se encuentra rodeado por una cadena de cerros: por el sur, se encuentra ubicado el cerro de la "Ventanilla", el "Sombrerito" o "Yacatl" (nariz); por el oeste, el cerro de "Huixtlalzink", "Tlatoani" y el "Ziualopapalozink" (mariposita señora) él más alto tiene 505 metros de altura; por el noroeste, el cerro de "Tezontlala", "Cuitlazimpa" y "Tepozteco" y al norte la loma de la "Amixtepec" (H. Ayuntamiento de Tlayacapan, 2005).

En el Municipio de Tlayacapan se presentan tres formas características de relieve; la primera corresponde a zonas con topografía accidentada y cubre aproximadamente el 15.23 por ciento de la superficie municipal. Se localizan en la porción poniente del municipio y están formadas por las elevaciones de la sierra de Tepoztlán. La segunda corresponde a zonas semiplanas y cubre aproximadamente el 44.66 por ciento del territorio municipal. Se localizan en la parte centro y norte del municipio. La tercera corresponde a zonas planas y cubre aproximadamente el 40.11 por ciento de la superficie municipal. Se localizan en el centro y sur del municipio y están formadas por el valle de Yautepec. El tipo de suelo predominante es el Regosol (con características calcáricas, distrícas, eútricas y gélicas) y Andosol (con variedades que pasan por Andosol húmico, mólico y ócrico) (Anónimo, 1981).

Carece de ríos y arroyos naturales, solo cuenta con las corrientes de las barrancas que

descienden de la cordillera Neovólcanica, como arroyo de caudal temporal entre las que se pueden mencionar la del "Tepanate", "Chicotla", "Huiconchi" (Tlacuiloloapa), la de la "Plaza", "Santiago". Además cuenta con jagüeyes considerados como ollas para almacenar agua como son: "Coatetechal" que ya no existe, "Nacatonco" o de los animales, "Chauxacacla", "Suchuititla", "El sabino", "Tenanquiahua" y el de "Atenexapa", que ya no existe y que se encontraban por la barranca de la cortina (H. Ayuntamiento de Tlayacapan, 2005).

Según la modificación al sistema de clasificación de los climas de Köppen Tlayacapan presenta clima (A)Cb(w1)(w)(i')gw" semicálido subhúmedo con lluvias de verano y un porcentaje de lluvia invernal menor de 5 (García, 2004), con temperatura promedio anual de 19.3 °C y precipitación anual de 988.9 mm. Se caracteriza por ser intermedio en cuanto a humedad. La máxima incidencia de lluvias se presenta en junio, con intervalo que oscila entre 230 y 240 mm; febrero y diciembre son los meses con menos incidencia, con un valor mínimo de 5 mm. La temperatura máxima se registra en abril y mayo y fluctúa entre 23 y 24 ºC; la mínima se presenta en enero y diciembre, ambos con una temperatura entre 18 y 19 ºC (Anónimo, 1981; García 2004).

El tipo de vegetación es selva baja caducifolia entre la que se encuentra las siguientes especies: *Lysiloma acapulcensis, Ipomoea sp, Ceiba pentandra, Ficus sp, Vitex mollis, Bursera sp, Guazuma ulmifolia, Bursera fagaroides, Bursera copallifera, Ipomoea sp, Acacia sp, Bocona arborea, Lysiloma sp, Ipomoea wolcottiana, Bursera polystachya, Gliricida sepium, Ipomoea murocoides, Dodonaea viscosa, Opuntia sp, Bocconia arborea, Acacia cymbispina, Acacia farnesiana, Acacia pennatula, Cnidoscolus sp, Mimosa sp, Agave sp, Thevetia ovata, Haematoxylum sp, Lysiloma sp, Ptelea sp, Salvia sp, Bursera copallifera, Acacia berlandieri, Tecota stans, Guazuma sp, Acacia bilimekii, Ipomoea murocoides, Croton sp, Lantana involucrata, Asistida adscensionis, Randia sp, Verbesina sp, Lantana cámara, Mimosa albida, Mimosa biuncifera, Asistida ternipes, Indigofera suffruticosa, Verbesina virgata* (Anónimo, 1981).

En el bosque de pino las especies son:

Alnus jorullensis, Arbutus sp, Pinus teocote, Quecus sp, Pinus hartwegii, Quercus laurina, Abies religiosa, Pinus montezumae, Alnus firmifolia, Pinus sp, Quercus crassifolia, Salix paradoxa, Quercus sp, Salvia sp, Arbutus xalapensis, Garrya laurifolia, Alnus sp, Senecio calcarius, Senecio sp, Buddleia sp, Alnus jorullensis, Baccharis conferta, Achemilla procumbens, Microstylis myurus, Stipa sp, Alchemilla sp, Cinna poaeformis, Eryngium sp, Fucsia minimiflora, Arracacia atropurpurea, Stevia sp, Muhlenbergia sp, Eupatorium sp, Microstylis fastigiata, Viguiera buddleiaefomis, Calamagrostis sp (Anónimo, 1981).

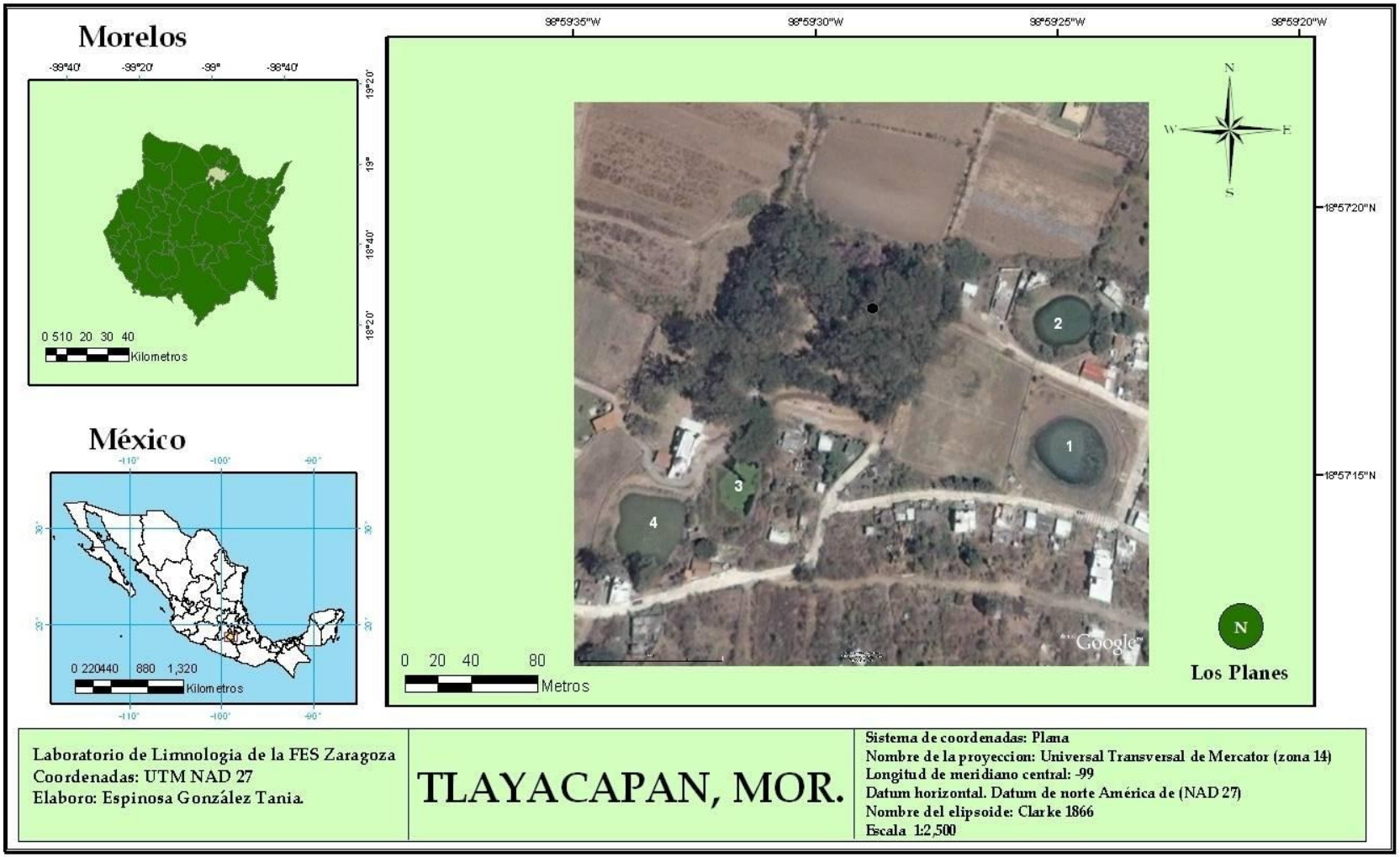

Figura 1. Área de estudio

En el estado de Morelos existen solamente afloramientos de rocas ígneas y rocas sedimentarias. Las rocas más antiguas son las sedimentarias del Cretácico Inferior, las rocas volcánicas son las más jóvenes y las más abundantes. Este estado queda comprendido dentro de dos provincias geológicas: las del eje Neovolcánico y las de la Sierra Madre del Sur (Anónimo, 1981).

La provincia del eje Neovolcánico cubre la mayor parte del estado y abarca el municipio Tlayacapan, desde el norte al sureste. Limita el sur y occidente con la cuenca del Balsas, que es una provincia de la sierra Madre del Sur. Dentro de esta provincia las rocas más antiguas en el eje son las ígneas extrusivas de composición intermedia (andesitas), que afloran al oeste de Huitzilac (Anónimo, 1981).

Sobreyaciendo a las rocas intermedias afloran rocas sedimentarias clásticas, así como un complejo volcánico constituido por diferentes tipos de rocas ígneas, como son: riolitas, tobas, brechas volcánicas y basaltos. Estos últimos tienen una extensión que cubre prácticamente toda esta provincia y corresponde al cuaternario (Anónimo, 1981).

5.3. Los Planes

Los sistemas Los Planes son microreservorios artificiales también conocidos como bordos o jagüeyes, son pequeños cuerpos de agua temporal y permanente que se emplean para consumo doméstico, irrigación, abrevadero y aún para acuicultura.

Se trata de 4 sistemas que se ubican en el municipio Tlayacapan, en Morelos, específicamente en la colonia El Plan, a lo que deben su denominación. En la Figura 1, se muestra un mapa de la zona de estudio con los sistemas resaltados

6. MATERIAL Y METODOS

6.1. Fase de campo

Se realizaron muestreos mensuales de marzo de 2008 a Marzo de 2009 en la zona central de cada cuerpo de agua como sitio representativo de las condiciones del ambiente acuático, suficiente para visualizar las variaciones de las condiciones del ecosistema estudiado

Se georreferenciaron los sitios de muestreo de cada cuerpo de agua por medio de un GPS (Sistema de Posicionamiento Global); estableciendo los puntos en coordenadas geográficas y UTM (UNIVERSAL TRANSVERSE MERCATOR) referidas al sistema NAD27, así como también la altitud.

La morfometría se registró por medio del método de segmentos con apoyo de una brújula marca Bronton de tipo azimutal y un distanciómetro de ±1 m de precisión, marca Bushnell.

En campo el primer parámetro a verificar fue la hora de toma de muestra y posteriormente se procedió a la determinación de la temperatura ambiente. Una vez en el sistema se realizó la medición de la transparencia, con la ayuda del disco de Secchi (Arredondo, 1998).

En una sola estación ubicada en la parte central y profunda del sistema, con apoyo de una botella Van Dorn de dos litros de capacidad se procedió a la toma de muestras a 0.30 m de la superficie y a un metro de la misma y cuando fue posible también a dos metros de profundidad, según lo permitió la profundidad máxima registrada en el sistema. Se llenó el frasco tipo DBO de 300 mL de capacidad y en seguida se transfirió otra muestra de agua a una botella de polietileno de 1 litro, otra a una de medio litro y una más a un pequeño frasco de polietileno de 100 mL, para la cuantificación de fitoplancton, pues este método de obtención de muestra permite capturar eficientemente las formas más pequeñas del plancton (González, 1988) a este último, se le agregaron unas gotas de acetato de lugol para conservar y colorear las células (Shöwerbel, 1975). Por último se registró la profundidad del sistema.

De las botellas de un litro, se procedió a analizar los parámetros *in situ* y la determinación del oxígeno disuelto con la técnica de Winkler modificación azida de sodio (Cervantes, 1984; Arredondo, 1998). Todas las botellas se conservaron a 4ºC para su transportación al laboratorio, hasta su utilización en la determinación de los parámetros químicos.

6.1.1. Parámetros analizados *in situ*

- Sólidos totales disuelto con equipo marca Hanna mod. HI991300
- pH, método instrumental, con equipo marca Hanna mod. HI991300.
- Temperatura del agua con un termómetro de escala -10 a 100 ºC.
- Conductividad con un conductímetro marca Hanna mod. HI991300.
- Alcalinidad, método de indicadores (Cervantes, 1984; APHA, AWWA, WPCF, 1992).
- Dureza, método de titulación con EDTA (complejométrico) (Arredondo, 1998; APHA, AWWA, WPCF, 1992).
- Dureza de Calcio método complejométrico (Cervantes, 1984; APHA, AWWA, WPCF, 1992).
- Las muestras para clorofila a fueron tomadas en el epilimnion, es decir en la zona más productiva del lago (Heinoen, 2000). Se hizo el filtrado de la muestra (con base en la cantidad de sólidos en suspensión) tomada a una profundidad de 0.30 m con una botella van Dorn de dos litros de capacidad.

6.2.. Fase de laboratorio

6.2.1. Parámetros analizados en el laboratorio:

- Amonio total, método del fenato (Cervantes, 1984).
- Nitritos, método del ácido sulfanílico (Cervantes, 1984).
- Nitratos, método del ácido fenoldisulfónico (Cervantes, 1984).
- Ortofostatos, método de fosofomolibdato (Cervantes, 1984).
- Fósforo total, método de digestión y de fosofomolibdato (Cervantes, 1984).
- DBO al quinto día (APHA-AWWA-WPCF, 1992).
- Sulfatos por medio del método turbidimétrico (Pacheco *et al*, 1982).
- Sólidos totales por el método gravimétrico (Pacheco *et al*, 1982).
- Silicatos por el método del molibdosilicato (Pacheco *et al*, 1982).
- Clorofila a por medio del espectofotómetro (Contreras, 1994).
- Cuantificación de fitoplancton con la ayuda de una cámara de sedimentación

por medio de la técnica de Uthërmol, en un microscopio invertido (Schöwerbel, 1975).

6.3. Fase de gabinete

Para la identificación del fitoplancton se emplearon dos guías taxonómicas para las distintas divisiones (John, Whitton y Brook, 2002 y Ortega, 1984); dos especializadas en Chlorophyta (Comas, 1996 y Dillar, 1989) y una serie de 4 tomos de Bacillariophyta (Kramer y Lange- Bertalot, 1986, 1988, 1991a, 1991b), así como para conocer la nomenclatura científica y la autoridad actualmente aceptada, se utilizó la base de datos ITIS (2009).

Para determinar las características ecológicas de las comunidades fitoplanctónicas, se requirió utilizar los siguientes índices:

- Índice de diversidad (H') de Shannon y Wiener (Washington, 1984; Lara *et al*., 1996; citados en Moreno, 2001 y Lampert y Sommer, 1997)

$$H' = -\sum_{i=1}^{S^*} \left(p_i \ln p_i \right)$$

(Franco *et al*, 1985)

Donde pi se define como la abundancia relativa de una especie en una comunidad y se refiere a la fracción con la que contribuye dicha especie a la abundancia total, en este trabajo se utilizó como medida de abundancia el número de individuos.

$$P_i = n_i \Big/ \sum_{i=1}^{s} n_i$$

Donde:

P_i= abundancia relativa de la especie i.

S= número total de especies en la comunidad

n_i = número de individuos de la especie i

Expresa la uniformidad de los valores de importancia, adquiere valores entre cero, cuando hay una sola especie, hasta el logaritmo natural de S, cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos (Moreno, 2001).

$$0 < H \leq \ln(S)$$

- Para la equitatividad se utilizo la formula $E = \frac{H'}{H' \max}$, donde $H' \max$ se determina con la formula $H' \max = \ln s^*$ (Franco *et al* 1985).

- La uniformidad o dominancia $1 - E$, tendrá un valor bajo (mínimo de 0) cuando la dominancia es baja y un valor alto (con un máximo de 1.0) cuando la dominancia

es alta (Brower y Zar, 1977).

- El coeficiente de Jaccard se uso para determinar la similaridad entre las localidades de muestreo por la recolecta de materiales con botella (Moreno, 2001) en el que solo se considera la presencia de las especies con la expresión:

$$Cj = \frac{C}{S_1 + S_2 - C}$$

Donde S_1y S_2 corresponden al número de especies en las comunidades 1 y 2 respectivas, y C es el número de especies comunes en ambas comunidades (Hellaweil, 1986; Moreno, 2001).

- El índice de estado trófico de Carlson (1977) es relativamente simple de calcular y usar con el empleo de tres simples ecuaciones; sin embargo, estas ecuaciones fueron simplificadas por Carlson y Simpson (1996) y son las que se emplearon en este trabajo: disco de Secchi, TSI (SD); el pigmento clorofila, TSI (CHL); y el fósforo total, TSI (TP).

$$IET(disco\ de\ Secchi) = 60 - 14.41Ln(SD)$$

$$IET(clorofila\ "a") = 9.81Ln(CHL) + 30.6$$

$$IET(TP) = 14.42Ln(TP) + 4.15$$

Ya que el índice de estado trófico es una escala absoluta que describe la condición biológica de un cuerpo de agua, mediante el promedio de los tres IET calculados se emplea la tabla siguiente para ejercer una clasificación de tal estado, que si bien se basa en una tabla que describía los cambios que se registraban en un cuerpo de agua templado del norte, igualmente se emplearon los rangos para determinar la etapa trófica en los sistemas.

Tabla 2: IET

IET	Etapa trófica
<30	Oligotrófico
30-50	Mesotrófico
50-70	Eutrófico
70<	Hipereutrófico

(Carlson y Simpson, 1996)

La eutrofización de un cuerpo acuático está muy ligada a la calidad del agua por que el deterioro del sistema disminuye la posible explotación del agua como un recurso (Barrera y Wong, 2007).

- Diagrama de Olmestead- Tukey (Sokal y Rolf, 1981) es un método grafico para determinar la existencia de correlación y en este caso de empleó para jerarquizar la dominancia de las especies con base en lo hecho por López- López y Serna-

Hernández (1999) determinando las especies dominantes, constantes, ocasionales y raras a partir de la relación entre las densidades de los organismos y sus frecuencias de aparición. El criterio de discriminación se basa en la media de la frecuencia de aparición relativa para el eje de las "x" y de la media respectiva del logaritmo natural de la sumatoria de la densidad absoluta para el eje de las "y", de tal forma que al trazar ambas se perfilan cuatro cuadrantes. Las especies dominantes son aquellas que presentan la densidad y la frecuencia mayor a ambas medias. Las constantes presentan densidades menores a la media y la frecuencia mayor a la media; las ocasionales son las que presentan densidad mayor a la media y frecuencia menor a la media y las raras, presentan densidades y frecuencias menores a ambas medias.

6.3.1. Análisis estadístico

Todo el análisis estadístico se realizó con el programa Statgraphics centurión XV.II.(2007) Para conocer la existencia de diferencia entre los niveles por sistema se empleó el análisis "t" de student para los casos en los que solo encontramos 2 niveles y para el caso de 3 o más se utilizó el Análisis de Varianza de una vía (ANDEVA), mientras que para saber si hay diferencia entre los cuatro sistemas y los meses de muestreo, en cuanto a cada uno de los parámetros evaluados se empleó el Análisis de Varianza de una vía (ANDEVA), esto tomando en cuenta que los datos hayan cumplido los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza (por el método de Levene). Para el caso de los datos que no cumplieron se recurrió a de Análisis Estadístico No-Paramétrico. En el caso del diseño completamente al azar la técnica apropiada es la de Kruskal-Wallis (Marques, 2004).

Se empleo el análisis estadístico de correlación lineal no paramétrico propuesto por Sperman, para la determinación del grado de dependencia que existe entre las variables físicas - químicas y bióticas en los embalses (Schöwerbel, 1975).

6.3.2. Análisis multivariados descriptivos

Entre los métodos de análisis multivariados para detectar la interdependencia entre las variables y también entre los individuos, se aplicó el análisis de componentes principales (ACP) para determinar cómo se asocian las variables y que factores son los determinantes de dicha asociación. El análisis de agrupamiento (Conglomerados) fue empleado para asociar los sistemas en función de las especies presentes y del comportamiento de los parámetros (Pla, 1986).

7. RESULTADOS

Como objetivo inicial se estableció monitorear a lo largo de un año cuatro sistemas ubicados en el municipio Tlayacapan, Morelos, sistemas que han sido denominados Plan 1, 2, 3 y 4 respectivamente, debido a que se encuentran ubicados dentro de la colonia El Plan. En la Tabla 3 se muestra su ubicación geográfica.

Tabla 3: Ubicación geográfica de los sistemas

Planes	L N	L O	MSNM
Plan 1	18°57′9.2′′	98°59′23′′	1646
Plan 2	18°57′11.2′′	98°59′23.3′′	1642
Plan 3	18°57′08.9′′	98°59′30.8′′	1659
Plan 4	18°57′7.9′′	98°59′32.8′′	1664

Debido a que los muestreos se realizaron pasando por temporadas de concentración y dilución, se encontraron diferencias considerables en los valores de profundidad máxima y mínima alcanzadas por los sistemas. El Plan 1 se clasificó como temporal pues de Marzo a Junio de 2008 este sistema se mantuvo seco, el Plan 3 tuvo una considerable disminución en su volumen en los mismos meses, incluso en el mes de Junio no fue posible tomar muestras en dicho Plan, mientras que los Planes 2 y 4 si bien, también presentaron una considerable disminución en sus volúmenes en estos meses, nunca llegaron a presentar niveles tan bajos como los que se registraron para el Plan 3 que estuvo a punto de desaparecer.

7.1. PLAN 1

7.1.1. Morfometría

El Plan 1 a lo largo del estudio se registró el perímetro (Figura 2) y área, que se presentan en la Tabla 4. En el mes de Mayo se tomaron los datos morfométricos, a pesar de que no era posible hacer un muestreo en el sistema; sin embargo, se realizó la morfometría con el fin de hacer un comparativo con los meses de lluvias, En el caso de los meses de lluvias se tiene en la Figura 3 al Plan 1 en el mes de Septiembre donde el área registró su máximo valor, otra aspecto a resaltar es que el sistema aún no está invadido por *Lemna gibba* popularmente conocido como chichicastle, pues esto ocurrió en el mes de Octubre.

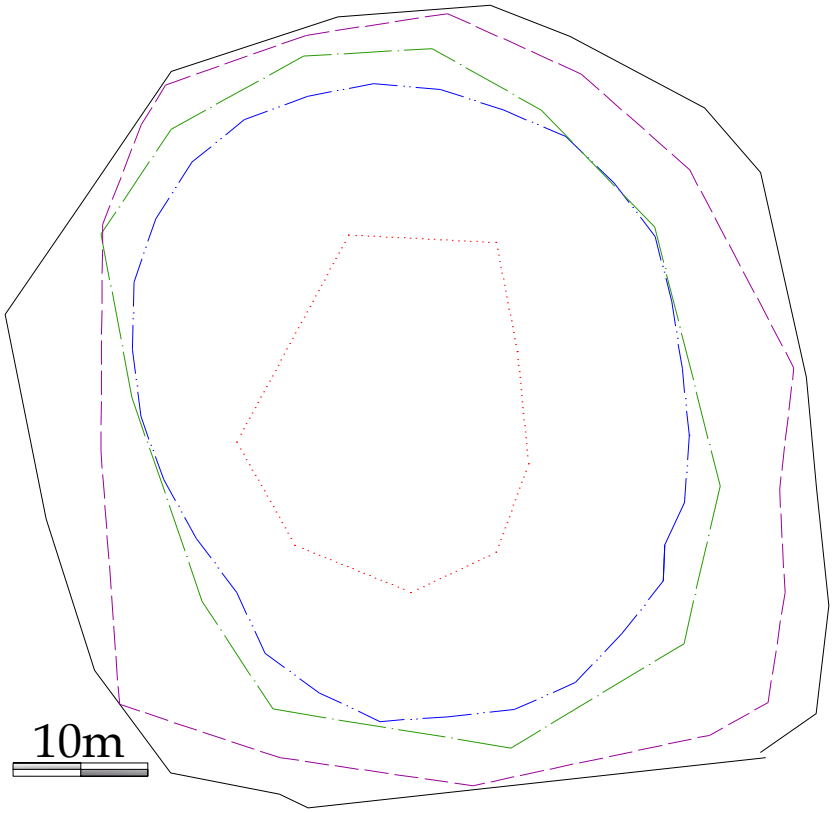

Figura 2. Variación del área superficial del Plan 1 a lo largo del estudio

Tabla 4: Datos morfométricos para el Plan 1

Mes	Perímetro	Área	Línea
Mayo	77.2387	420.045	
Julio	143.7853	1536.6936	
Agosto	182.2622	2456.0345	
Septiembre	197.726	2921.3344	
Enero	154.4209	1783.0364	

Figura 3. Vista panorámica del Plan 1 en Septiembre de 2008

7.1.2. Factores físico- químico-biológicos

El sistema acuático Plan 1, en las temporadas de secas cálidas y lluvias presentó valores muy bajos de oxígeno disuelto, mientras que en la temporada secas frías el nivel de oxígeno fue adecuado sin llegar a la saturación, en cuanto a la dureza en la estación secas cálidas debido a la concentración de los elementos el agua se clasificó como muy dura, mientras en lluvias y secas frías el agua se clasificó como moderadamente dura, debido al incremento en el nivel del agua por ser una temporada de dilución.

Tabla 5: Promedio de parámetros de Plan 1 por temporadas

	Estación		
Parámetro	Lluvias	Secas Frías	Secas cálidas
Profundidad máxima (m)	1.94	1.98	0.43
Área (m^2)	2688.68	2921.33	874.38
Transparencia (m)	0.44	1.07	0.33
Temperatura ambiente (°C)	23.20	22.17	26.17
Temperatura del agua (°C)	25.35	21.60	24.80
Oxígeno disuelto (mg/L)	3.39	6.53	3.30
DBO (mg/L)	73.59	51.88	44.83
Conductividad (µS/cm)	352.00	270.33	275.80
pH	7.18	7.41	9.14
Alcalinidad Total (mg/L)	98.52	95.20	95.20
Dureza de Calcio (mg/L)	20.82	35.54	84.74
Dureza Total (mg/L)	106.61	101.43	166.17
Sólidos totales (mg/L)	3215.25	903.83	232.67
SDT (mg/L)	156.00	137.83	170
Nitratos (mg/L)	0.24	0.21	0.10
Nitritos (mg/L)	0.001033	0.001724	0.000014
Amonio (mg/L)	0.13	0.86	0.26
Fósforo Total (mg/L)	0.31	0.15	0.19
Ortofosfatos (mg/L)	0.093	0.054	0.034
Silicatos (mg/L)	39.09	32.67	3.53
Sulfatos (mg/L)	12.08	21.57	5.66
Clorofila "a" (µg/L)	94.31	3.29	25.9
Abundancia (ind/ml)	50046.98	9514.95	12963.60

Contrario a lo anterior los sólidos totales y SDT presentaron su mayor registro en lluvias, esto se adjudico al efecto de arrastre que fue provocado por el agua de lluvia trayendo como consecuencia la entrada al sistema de los materiales de las orillas, pues fue el mismo caso de los nitratos, fósforo total, ortofosfatos y silicatos por el aporte alóctono, esto se aprecia más claramente al graficar su comportamiento mes a mes (tabla 5)

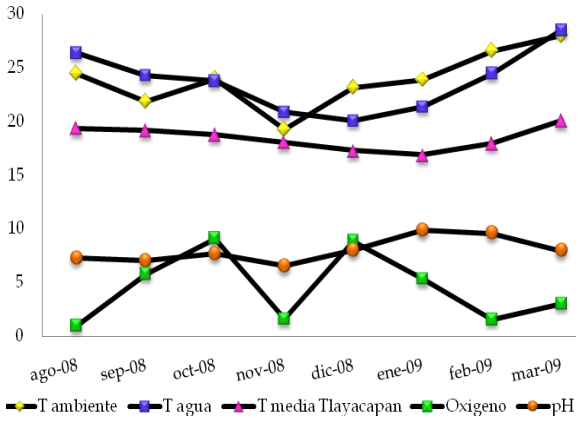

Figura 4: Variación mensual de las temperaturas (°C), oxígeno (mg/L) y pH en Plan 1

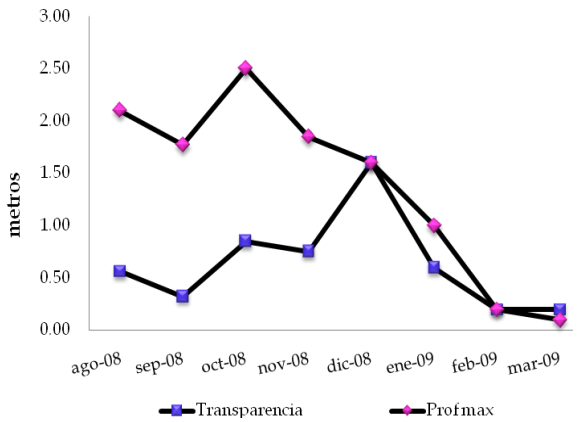

Figura 5: Variación mensual de la transparencia y profundidad máxima en Plan 1

En la Figura 4 están representados los valores que mensualmente se registraron en el Plan 1 de las temperaturas, oxígeno y pH. El pH presentó altibajos a lo largo del tiempo de muestreo que no se pudieron asociar a las temporadas, quizás atribuidos a eventos aislados, no así en el caso de la temperatura y el oxígeno, pues estos presentaron un comportamiento inverso, es decir a mayor temperatura la concentración de oxígeno disuelto disminuyó.

En la Figura 5, la transparencia y la profundidad máxima están ampliamente relacionadas, y una de las características de este sistema que más sobresalió fue la transparencia total registrada en Diciembre de 2008.

En cuanto a los factores de carácter edáfico se tuvo para la conductividad y SDT (Figura 6) el valor más alto en la temporada de secas cálidas, en el caso de los sólidos totales (Figura 8) se comienzaron los muestreos con valores muy altos debido al arrastre de material aloctono al sistema, posteriormente los sólidos totales bajaron sus concentraciones. Las durezas (Figura 7) presentaron valores alrededor de los 100mg/L excepto en Febrero, mes en el que la concentracion de estos disminuyó drásticamente.

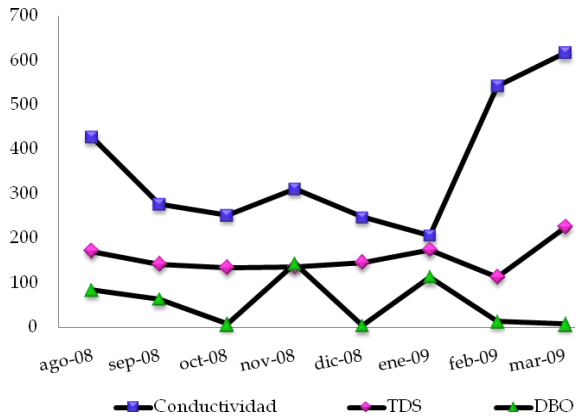

Figura 6: Variación mensual del DBO (mg/L), SDT(mg/L) y conductividad (S/m) en Plan 1

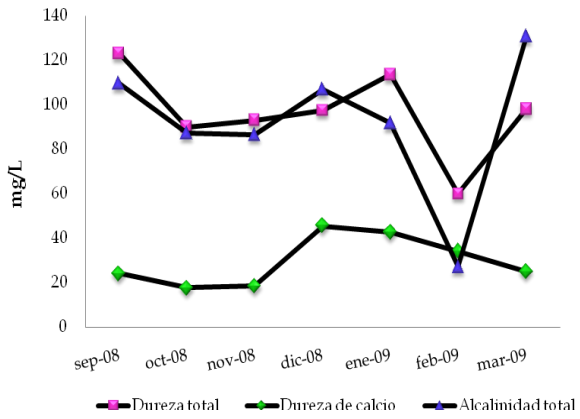

Figura 7: Variación mensual de la Dureza total, de calcio y la alcalinidad total en Plan 1

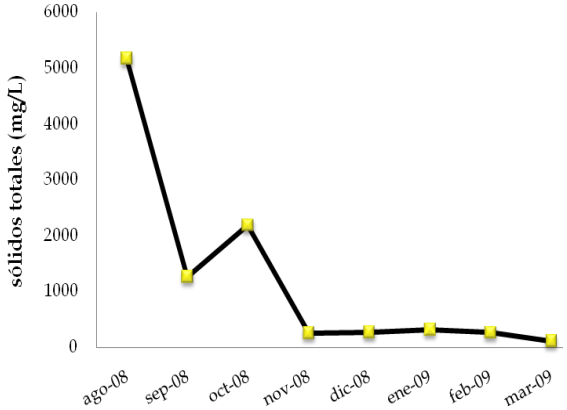

Figura 8: Variación mensual de los sólidos totales en Plan 1

En cuanto a la clorofila "a" (Figura 9) la concentración más alta fué en el mes de Agosto, disminuyo hacia Octubre y Noviembre, posteriormente tuvo un ligero aumento conforme se acercaron los meses más cálidos. Los elementos nitrogenados (Figura 10), el amonio en el mes de Diciembre presentó un pico, mes en el que el sistema presentó tambien la transparencia total, como se mencionó anteriormente, sin embargo tambien se mencionaba que el sistema estaba cubierto de *Lemna gibba* por lo que no hay penetración de luz a menos que esta planta sea dispersada mecánicamente. En cuanto a los silicatos (Figura 11), estos presentaron un comportamiento similar al de los sólidos totales, pues en Agosto presentaron su valor más alto y disminuyó mes a mes, pues no hubo nuevos aportes y este se estableció en el sistema; mientras los sulfatos presentaron un comportamiento similar al del amonio.

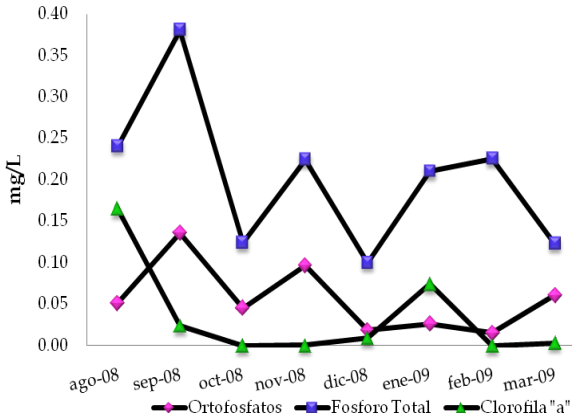

Figura 9: Variación mensual del fósforo total, ortofosfatos y Clorofila "a" en Plan 1

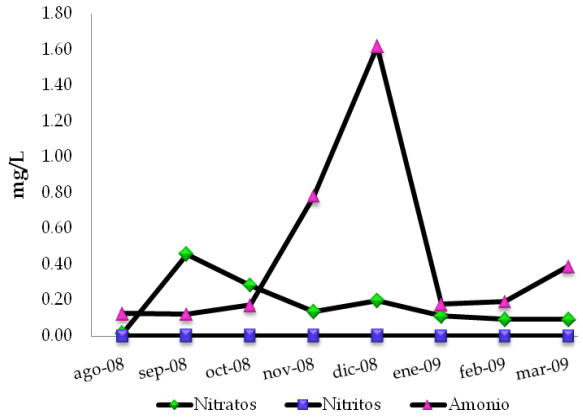

Figura 10: Variación mensual de los nitratos, nitritos y amonio en Plan 1

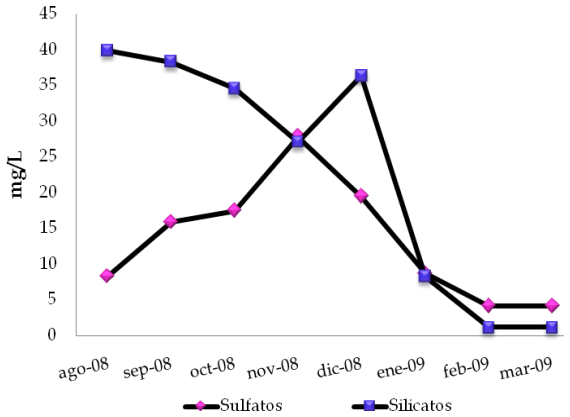

Figura 11: Variación mensual de los sulfatos y silicatos en Plan 1

7.1.3. Fitoplancton

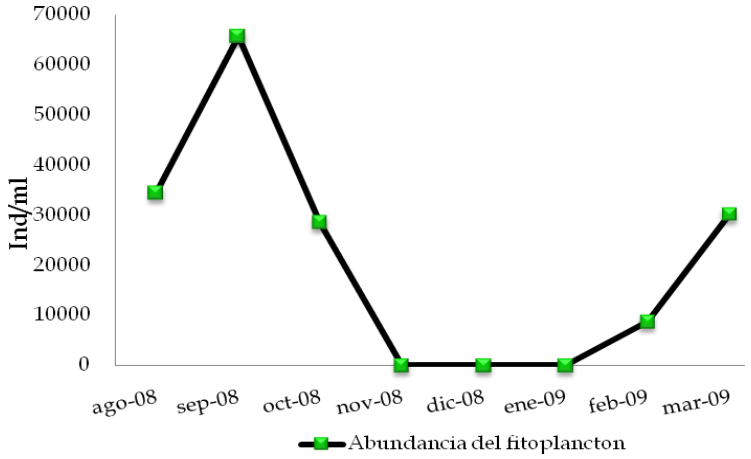

Figura 12: Variación mensual de la Abundancia del fitoplancton en Plan 1

Por tratarse de un sistema temporal se realizaron pocos meses de muestreo; en temporada de lluvias (Figura 13), cuando el sistema se empezó a llenar, apareció con la división Cyanophycota en mayor porcentaje ante las otras divisiones (50.9%), la Chlorophyta tenía un porcentaje del 39.5, seguida de la Euglenophycota con 8.7% y por último, con un mínimo porcentaje las Xanthophytas con un 0.9% (Figura 13), es en estos meses cuando se presentó mayor abundancia de fitoplancton (Figura 12).

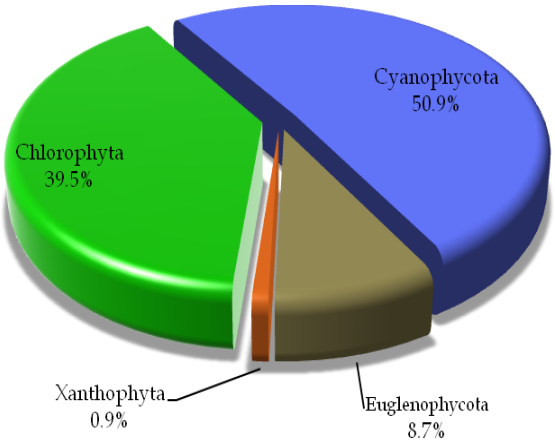

Figura 13: Porcentaje de las divisiones en temporada de lluvias de Plan 1

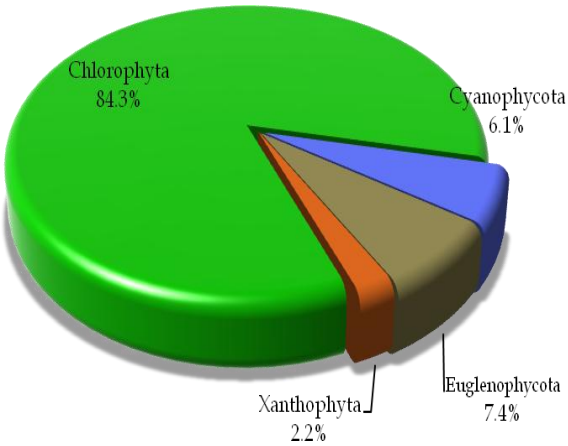

Figura 14: Porcentaje de las divisiones en temporada de secas frías de Plan 1

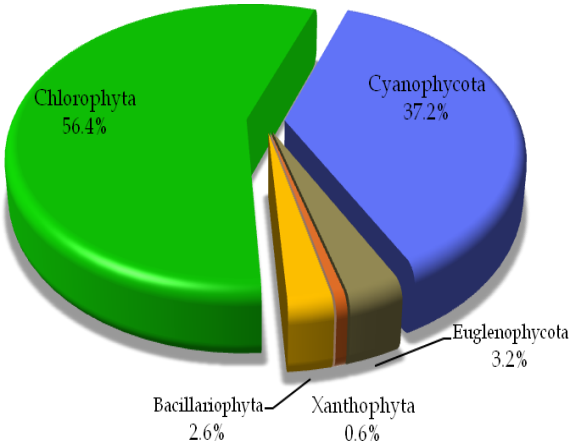

Figura 15: Porcentaje de las divisiones en temporada de secas cálidas de Plan 1

En la temporada de secas frías (Figura 14), la abundancia del fitoplancton disminuyó drásticamente por la capa que impedía el libre acceso de luz al sistema; la división Chlorophyta aumentó en porcentaje hasta ocupar el 84.3%, en tanto que la Cyanophycota disminuyó drásticamente hasta el 6.1%, estando incluso por debajo de la Euglenophycota con el 7.4% y la Xanthophyta permaneció última pero esta vez con un 2.2%. En la temporada de secas cálidas (Figura 15), temporada en la que la abundancia de fitoplancton

tuvo una recuperación, la Chlorophyta continuó siendo la más abundante con un 56.4%; sin embargo, de nuevo la Cyanophycota recuperó su abundancia representando el 37.2%, Euglenophycota disminuyó de nuevo hasta el 3.2% y en esta temporada aparece por primera vez, para este sistema, la Bacillariophyta con el 2.6%, en tanto que Xanthophyta se mantuvo con la menor abundancia con el 0.6%.

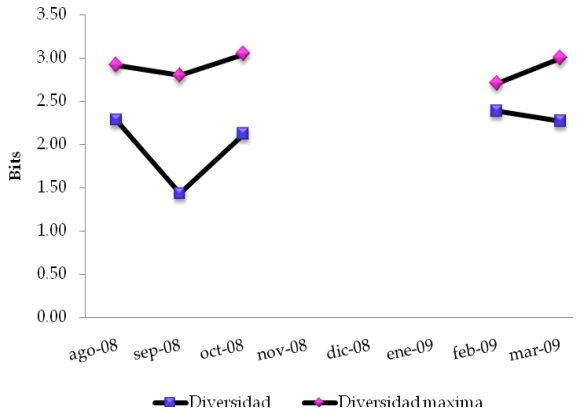

Figura 16: Variación mensual de la diversidad α en Plan 1

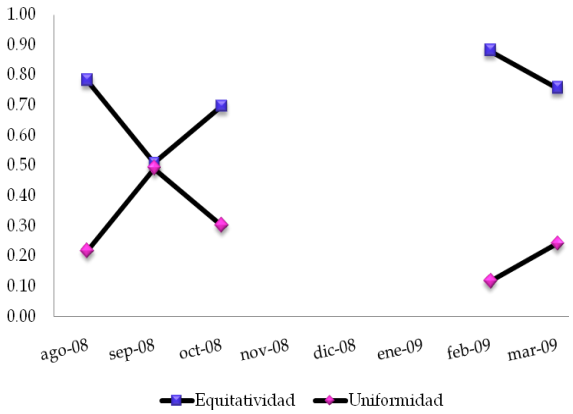

Figura 17: Variación mensual de la equitatividad en Plan 1

En la Figura 16 la diversidad calculada y la diversidad máxima, en tanto que la equitatividad y uniformidad en la Figura 17, el mes con menor diversidad de acuerdo a los valores del índice de Shanon-Wiener fue Septiembre y fue también el de menor equitatividad, mientras que Febrero fue el mes con mayor diversidad y equitatividad.

Para jerarquizar la dominancia de las especies se construyó el diagrama de Olmstead-Tuckey (Figura 18) donde por ser una herramienta gráfica y ya que es imposible ver todos los puntos presentes en un cuadrante, se agregó el porcentaje del total de las especies que se encontraron en cada clasificación.

De un total de 45 especies en Plan 1, el 43% fueron especies raras y el 35% fueron especies dominantes, es decir los porcentajes mayores se encontraron en los extremos. Mientras que las ocasionales ocuparon el 9% y las constantes el 13%. Para que esta jerarquización sea más clara se anexa la Tabla 6, donde se desglosan las especies que comprenden cada clasificación, con su abundancia (A) y frecuencia de aparición (F %) en porcentaje.

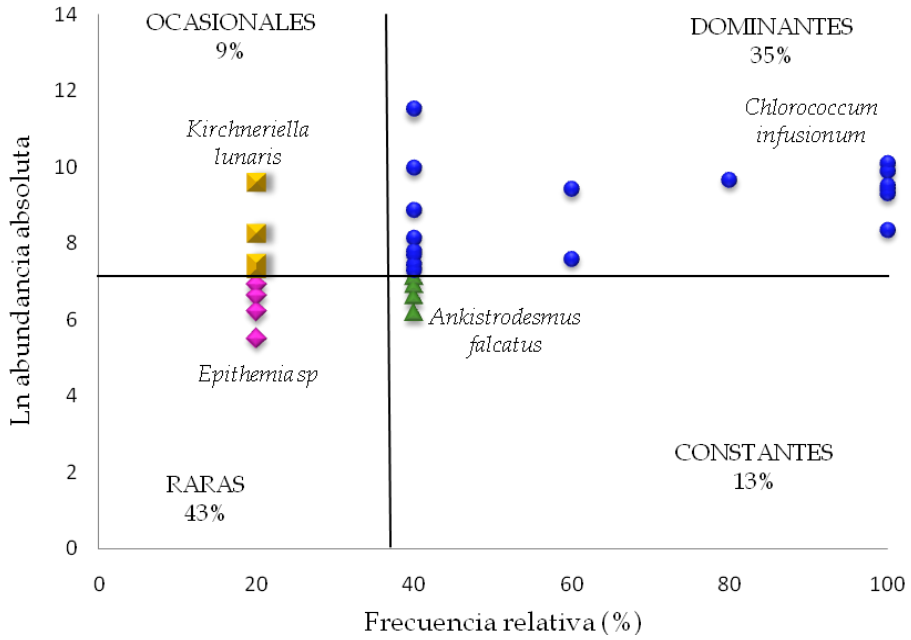

Figura 18: Diagrama de Olmstead-Tuckey para Plan 1

Tabla 6. Jerarquizacion de las especies por dominancia para Plan 1

Raras	A	F %
Epithemia sp.	249.3	20
Eunotia sp.	249.3	20
Frustulia rhomboides	249.3	20
Pinnularia sp	249.3	20
Closterium leibleinii	249.3	20
Schroederia robusta	249.3	20
Spirulina gleiteri	249.3	20
Phacus pleuronectes	249.3	20
Phacus triqueter	249.3	20
Cosmarium botrytis	498.6	20
Nephrocytium limneticum	498.6	20
Pediastrum duplex	498.6	20
Scenedesmus acuminatus	498.6	20
Anabaena spiroides	498.6	20
Oscillatoria tenuis	498.6	20
Euglena oxyuris	498.6	20
Phacus tortus	498.6	20
Nostoc coeruleum	747.9	20
Phacus pyrum	747.9	20
Crucigenia apiculata	997.2	20
Oocystis sp	997.2	20
Oscillatoria sp.	997.2	20
Phacus sp2	997.2	20
Ocasionales	**A**	**F %**
Cosmarium cucumis	1495.8	20
Microcystis pulverea incerta	1495.8	20
Scenedesmus verrucosus	1745.1	20
Chroococcus sp.	3739.5	20
Kirchneriella lunaris	14210.1	20
Constantes	**A**	**F %**
Ankistrodesmus falcatus	498.6	40
Scenedesmus bicaudatus	498.6	40
Trachelomonas sp	747.9	40
Tetraedron triangulare	997.2	40
Crucigenia quadrata	997.2	40
Scenedesmus communis	997.2	40
Microcystis flosaquae	1246.5	40
Dominantes	**A**	**F %**
Keratococcus bicaudatus	1495.8	40
Scenedesmus obliquus	1495.8	40
Scenedesmus brasiliensis	1745.1	40
Ankistrodesmus fusiformis	1994.4	60
Phacus sp3	1994.4	60
Crucigenia tetrapedia	2243.7	40
Crucigenia rectangularis	2493	40
Chroococcus minutus	3490.2	40
Goniochloris mutica	4238.1	100
Kirchneriella obesa	7229.7	40
Phacus sp1	10969.2	100
Tetraedron minimum	12215.7	60
Monoraphidium arcuatum	12465	100
Monoraphidium irregulare	13462.2	100
Kirchneriella irregularis	15705.9	80
Chroococcus dispersus	19694.7	100
Monoraphidium contortum	21439.8	40
Chlorococcum infusionum	24182.1	100

7.1.4. Índice de Estado Trófico

Con base en la separación de los meses que se obtuvo a partir del dendograma (Figura 21), se calculó el índice de estado trófico de Carlson (IET). Este sistema temporal (Tabla 7) fue clasificado en temporada de secas cálidas y lluvias como hipereutrófico, mientras que en temporada de secas frías el sistema se clasificó como eutrófico. Es decir se trata de un sistema eutrófico con tendencia a hipereutrófico.

Tabla 7: Índice del estado trófico para el Plan 1

Temporada	(IET) PT	(IET) DS	(IET) Chl	IET Promedio	Estado Trófico
Secas cálidas	79.52	75.83	62.52	74.21	Hipereutrófico
Lluvias	86.90	71.71	75.20	80.46	Hipereutrófico
Secas frías	76.36	59.05	42.28	60.13	Eutrófico

7.1.5. Análisis estadístico

7.1.5.1. Comparación entre niveles de profundidad

Al realizar la comparación de varianzas para cada parámetro se encontró diferencia en 8 casos, por lo que en lugar de emplear la prueba t-student para contrastar los niveles de profundidad se requirió el empleo de la prueba de Mann-Whitney, estos casos fueron: silicatos ($F=37.7333$; $p=0.0034$), sulfatos ($F=9.42971$; $p=0.04667$), conductividad ($F=14.9597$; $p=0.02004$), sólidos totales ($F=0.0059$), dureza total ($F=61.0945$; $p=0.0013$), dureza de calcio ($F=0.03981$; $p=0.0075$), alcalinidad total ($F=11.3132$; $p=0.03357$) y abundancia de fitoplancton ($F=0.115743$; $p=0.0153$).

Se encontró que los parámetros evaluados para este Plan presentaron igualdad estadística entre los niveles de profundidad, pues los valores-P obtenidos tanto con pruebas paramétrica (t-student) y no paramétrica (U de Mann-Whitney) según el caso fueron mayores a 0.05.

7.1.5.2. Comparación entre meses

Una vez que se determinó la no diferencia entre los niveles se prosiguió a la determinación de diferencias entre los meses de muestreo; en el caso de Plan 1, pese a que los muestreos en general iniciaron en Marzo de 2008, este sistema fue estudiado a partir de Agosto del mismo año, al comparar las varianzas (método de Levene) de cada uno de los parámetros

el valor de la probabilidad de las mismas fue menor a 0.05, por lo que se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.

En la comparación entre los meses no se encontró diferencia estadísticamente significativa para ningún parámetro, aun que al observar las graficas se observan grandes variaciones de cada parámetro entre los meses, los valores obtenidos fueron: profundidad máxima (H=12.0; p=0.100559), transparencia (H=12.0; p= 0.100559), área (H=12.0; p=0.100559), temperatura ambiente (H=12.0; p=0.100559), temperatura de agua (H=11.1736; p=0.131226), oxígeno disuelto (H=7.15385; p=0.413039), DBO (H=11.7363; p=0.109572), conductividad (H=11.124; p=0.133302), pH (H=11.7363; p=0.109572), SDT (H=10.4298; p=0.165499), sólidos totales (H=10.5495; p=0.159515), dureza total (H=10.2928; p=0.172578), dureza de calcio (H=11.5193; p=0.117515), alcalinidad total (H=10.8729; p=0.144259), nitritos (H=11.124; p=0.133302), nitratos (H=10.7438; p=0.150191), amonio (H=10.7473; p=0.15003), fósforo total (H=10.9752; p=0.139704), ortofosfatos (H=11.5714; p=0.115563), silicatos (H=9.78512; p=0.201081), sulfatos (H=8.14641; p=0.319861), clorofila "a" (H=12.0; p=0.100559), abundancia del fitoplancton (H=8.30699; p=0.306304) y equitatividad (H=10.7143; p=0.151576).

7.1.5.3. Correlaciones

Tabla 8. Correlaciones de las variables físicas químicas y biológicas para el Plan 1

Variables	Valor-P	R	Variables	Valor-P	R
Dureza total y Dureza de calcio	0.0001	0.9637	T agua y Conductividad	0.0203	0.7877
Z y Área	0.0008	0.9313	SDT y Dureza total	0.0209	0.7853
Silicatos y Área	0.0014	0.9163	Temperatura y Abundancia	0.0319	0.7506
Silicatos y Z	0.0014	0.9152	Nitritos y Oxígeno	0.0323	0.7495
Sulfatos y T amb	0.0021	-0,9033	Nitritos y Transparencia	0.0349	0.7424
Temperatura y T agua	0.0039	0.8806	Conductividad y Dureza total	0.0357	0.7402
Precipitación y Abundancia	0.0061	0.8607	Nitritos y Área	0.0372	0.7364
T agua y Equitatividad	0.0066	0.8566	Ortofosfatos y pH	0.0383	-0.7338
T ambiente y Área	0.0115	-0.8262	T ambiente y Conductividad	0.0440	0.7199
Amonio y Transparencia	0.0121	0.8228	Temperatura y Equitatividad	0.0461	0.7152
Sulfatos y Área	0.0127	0.8201	Nitritos y Silicatos	0.0466	0.7141
SDT y Dureza de calcio	0.0134	0.8167	T agua y Transparencia	0.0488	-0.7093
Conductividad y Área	0.0141	-0.8131	Precipitación y Sólidos totales	0.0490	0.7089
Sólidos totales y Clorofila "a"	0.0175	0.7986	T agua y Dureza total	0.0499	0.7069
Conductividad y Alcalinidad tot	0.0178	0.7971			

Los pares de variables que con la prueba de Pearson mostraron correlaciones significativas (Tabla 8), los parámetros se encuentran ordenados de mayor a menor correlación, donde las durezas son el par de variables cuya correlación fue mayor y la temperatura del agua y la dureza total aún que con cierto grado de correlación fueron el par de variables menos

correlacionadas, aunque algunas con relación directa (positiva) y otros de manera inversa (negativa). La abundancia del fitoplancton tuvo para este sistema la correlación más alta con la precipitación y después con la temperatura del agua; la clorofila "a" con los sólidos totales y la equitatividad con la temperatura del agua.

7.1.5.4. Análisis multivariado

El análisis de componentes principales (ACP) se empleó para determinar cuales son los parámetros que expliquen la mayor variabilidad en los datos de Plan 1, así como para reducir la dimensionalidad de las mismas y como se puede observar en la Tabla 9, de 25 componentes originales, con 6 fue posible describir el 97.7% de la dinámica de Plan 1.

Tabla 9. Análisis de Componentes Principales para Plan 1

Componente Número	Eigenvalor	Porcentaje de Varianza	Porcentaje Acumulado	Componente Número	Eigenvalor	Porcentaje de Varianza	Porcentaje Acumulado
1	9.09224	36.369	36.369	14	1.99452E-16	0.000	100.000
2	5.72817	22.913	59.282	15	1.073E-16	0.000	100.000
3	3.4709	13.884	73.165	16	9.07602E-18	0.000	100.000
4	2.38476	9.539	82.704	17	0.0	0.000	100.000
5	2.20813	8.833	91.537	18	0.0	0.000	100.000
6	**1.54086**	**6.163**	**97.700**	19	0.0	0.000	100.000
7	0.574957	2.300	100.000	20	0.0	0.000	100.000
8	7.76879E-16	0.000	100.000	21	0.0	0.000	100.000
9	6.08709E-16	0.000	100.000	22	0.0	0.000	100.000
10	4.03549E-16	0.000	100.000	23	0.0	0.000	100.000
11	3.64201E-16	0.000	100.000	24	0.0	0.000	100.000
12	3.08716E-16	0.000	100.000	25	0.0	0.000	100.000
13	2.46267E-16	0.000	100.000				

Los pesos de los componentes en la Tabla 10 se observa que el componente que explica en un 36.369% la variabilidad de los datos está formado principalmente por el área, conductividad, el segundo componente por la abundancia del fitoplancton, la precipitación y la temperatura media de Tlayacapan, los cuales explican el 22.913%, el tercer componente explica el 13.884%, constituido por los nitritos y la dureza total, el cuarto componente explica el 9.539% donde sobresalen la clorofila "a", sólidos totales, fósforo total y ortofosfatos (fósforo reactivo disuelto). El componente 5 explica el 8.833% y está compuesto por el DBO, oxígeno disuelto, pH y los nitratos; por último, el componente que explica el 6.163% está compuesto por el SDT y alcalinidad total, por lo que se considera que estos 16 parámetros son los que mejor explican el comportamiento del sistema.

Tabla 10: Tabla de Pesos de los Componentes de Plan 1

Variables	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4	Componente 5	Componente 6
Nitritos	0.252521	0.037839	**0.306765**	0.025559	-0.132659	-0.0551494
Nitratos	0.185586	-0.12385	0.196467	-0.291067	**-0.33334**	0.106195
Ortofosfatos	0.100207	-0.296891	0.110788	**-0.339677**	0.151269	0.149024
Silicatos	0.266958	-0.174628	0.101448	0.229744	0.0209017	-0.0692309
Sulfatos	0.276016	0.0367518	0.141983	-0.122288	0.272517	-0.0394976
Amonio	0.116417	0.248285	0.265946	0.0925535	0.215787	-0.0668874
Fósforo total	0.0706324	-0.271929	-0.228841	**-0.321515**	-0.0517545	-0.0374844
Z	0.275728	-0.139617	0.0166577	0.220635	0.0369658	-0.0153339
Área	**0.3152**	-0.0805657	0.05696	0.106145	0.0751822	0.0659932
Precipitación	0.104583	**-0.373785**	-0.0358533	0.0775938	-0.153877	-0.011289
Temperatura	-0.140036	**-0.324915**	0.231407	0.0543575	0.0422923	-0.00676731
T ambiente	-0.286411	0.0306758	0.051482	0.182015	-0.268865	-0.0206236
T agua	-0.247962	-0.253993	0.0923306	0.0987892	-0.0721152	-0.00663672
Transparencia	0.218959	0.214859	0.159323	0.28066	0.0616592	0.00479226
Conductividad	**-0.296823**	-0.0760935	0.0913464	-0.0103978	0.102738	-0.266006
SDT	-0.189625	-0.0597531	0.112314	0.173078	0.153495	**0.555403**
pH	-0.145037	0.241779	-0.255758	-0.00185923	**-0.326796**	0.0552916
Oxígeno	0.174739	0.129184	0.229809	0.0943835	**-0.383318**	0.235349
DBO	0.108128	-0.0703884	-0.326418	-0.145625	**0.408198**	0.222172
Sol total	0.042868	-0.271751	-0.131278	**0.444241**	0.00207382	-0.123039
Dureza total	-0.244172	-0.0495029	**0.3133**	0.0477765	0.146989	0.179154
Dureza de calcio	-0.237909	0.0212999	0.277293	-0.0285531	0.190017	0.295109
Alcalinidad total	-0.151572	-0.10325	0.237603	-0.0144121	0.174486	**-0.549157**
Clorofila "a"	-0.00350678	-0.174464	-0.310267	**0.405703**	0.0908247	0.12748
Abundancia	-0.00203594	**-0.370743**	0.125797	-0.0596501	-0.244544	0.0824489

En la Figura 19 los componentes están divididos en cuatro cuadrantes, donde el superior derecho concentra parámetros asociados a la oxigenación, pues la transparencia influye en la concentración de oxígeno disuelto en el sistema, los nitritos y sulfatos son formas oxidadas. En el cuadrante inferior derecho se encuentran el resto de los nutrientes, asociados a los parámetros biológicos, los morfométricos así como los ambientales. En el cuadrante inferior izquierdo se encuentran los parámetros asociados a los factores edáficos y las temperaturas del agua y la media mensual de Tlayacapan.

La Figura 20 muestra los meses de muestreo y los parámetros que definen el comportamiento del sistema, donde Agosto está definido por la temperatura y la abundancia del fitoplancton; Septiembre por la precipitación y los ortofosfatos; Octubre y Noviembre por el área y los nutrimentos; Diciembre por la transparencia y el oxígeno disuelto, Enero y Febrero por pH, temperatura ambiente y dureza de calcio y Marzo y posiblemente los meses de secas por la dureza total, la conductividad y el SDT.

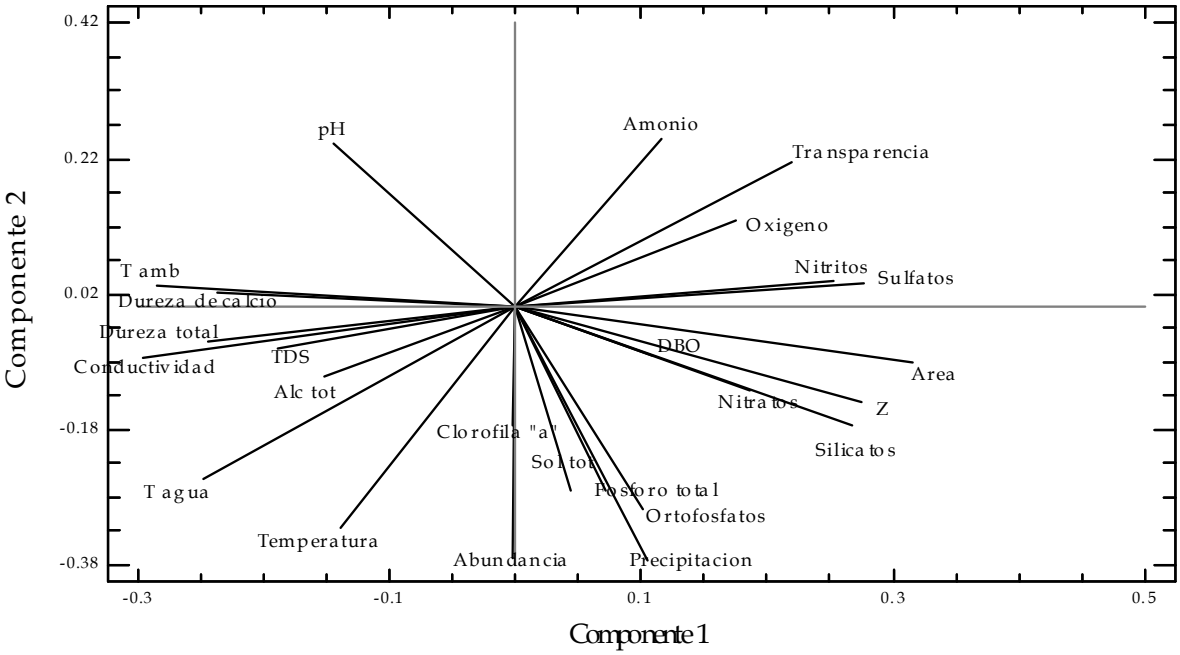

Figura 19: Representación grafica de los componentes para el Plan 1

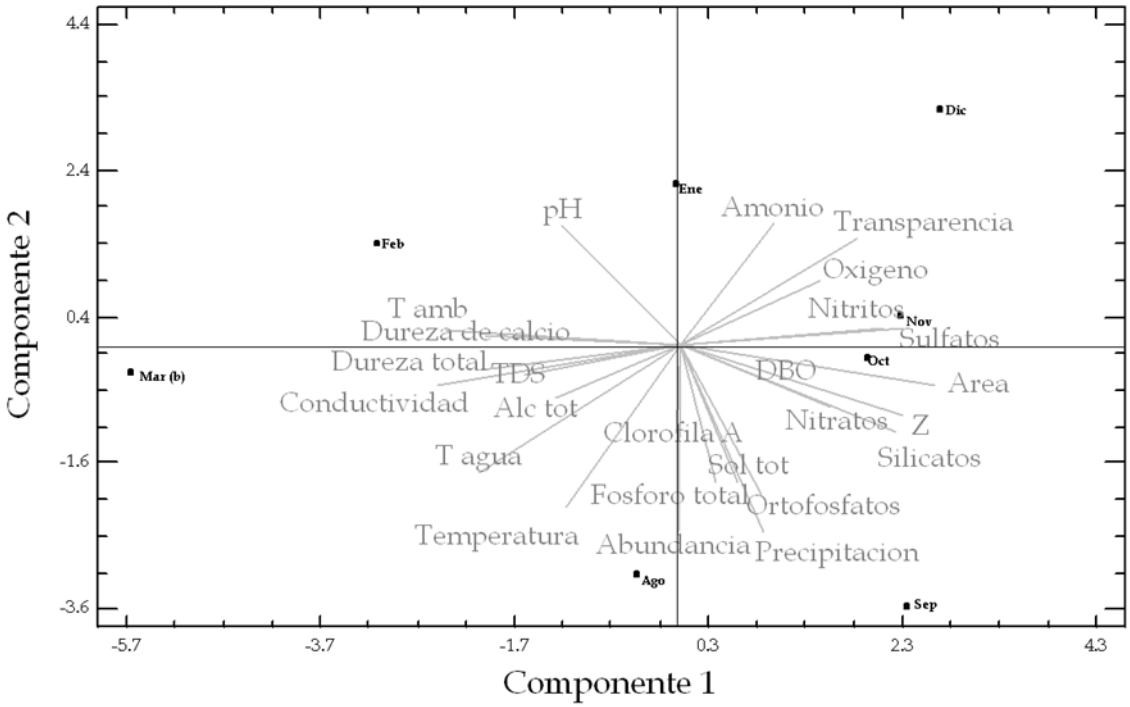

Figura 20: Comportamiento de las variables y los meses de monitoreo para Plan 1

Otro análisis que complementa al de componentes principales es el de conglomerados o de agrupamiento donde los muestreos se agrupan por similitud, en la Figura 21 se forman 3 grupos, el primero incluye Octubre, Noviembre y Diciembre que fueron los más cercanos,

es decir con mayor asociación que estuvieron definidos por sus similitudes en concentración de amonio, oxígeno, sulfatos y nitritos, así como la transparencia, meses que estuvieron situados por sus características en la temporada de secas frías. El segundo grupo está compuesto por Agosto y Septiembre que fueron meses de lluvias y esto se aprecia en los componentes principales cuya variabilidad estuvo definida por temperatura, precipitación y abundancia del fitoplancton; notándose que estuvieron definidos principalmente por los factores morfométricos y ambientales. El grupo 3 está formado por los meses Enero, Febrero que fueron lo más cercanos del grupo, por ser aún meses fríos y estuvieron más unidos por el pH y por Marzo, que fue igual un mes que presenta características de secas, un poco más cálidas, de acuerdo al análisis de componentes principales el factor edáfico definió su comportamiento pues se ubica la dureza, la conductividad, SDT y alcalinidad, por lo que se englobaron en la temporada de secas cálidas.

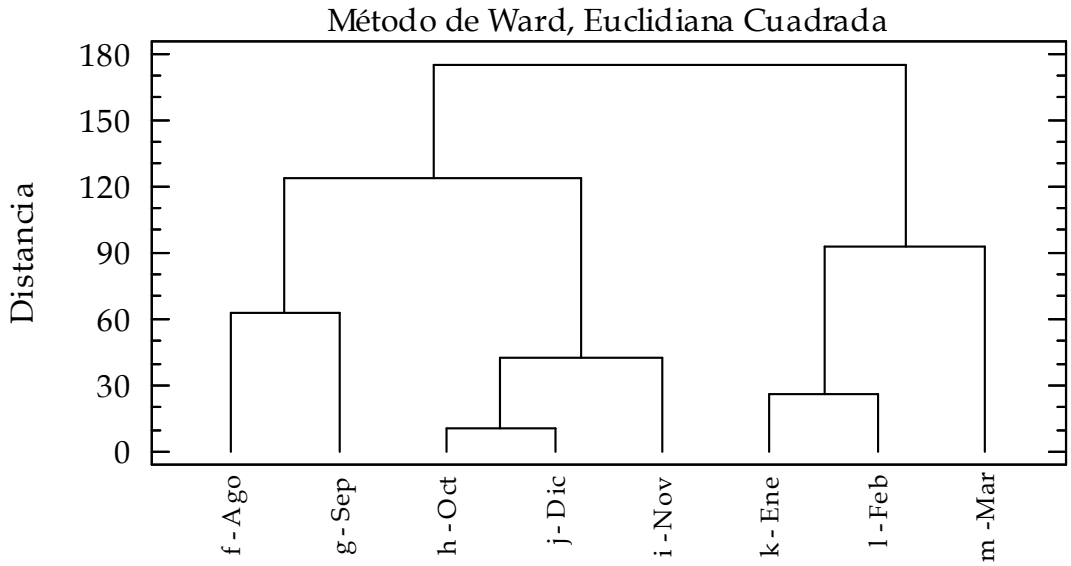

Figura 21: Dendograma que muestra la asociación de los meses de muestreo para Plan 1

7.2. PLAN 2

7.2.1. Morfometría

Plan 2 es un sistema permanente, es el más profundo de los Planes, en temporada de lluvias llego a alcanzar profundidades de hasta 5 m. El perímetro máximo alcanzado (Figura 23) por el sistema, correspondió al mes de Septiembre como lo indica la Tabla 11, en tanto que su perímetro mínimo fue de 90.16 m en el mes de Mayo. En la Figura 22 se muestra con distintas líneas los distintos perímetros alcanzados por el sistema.

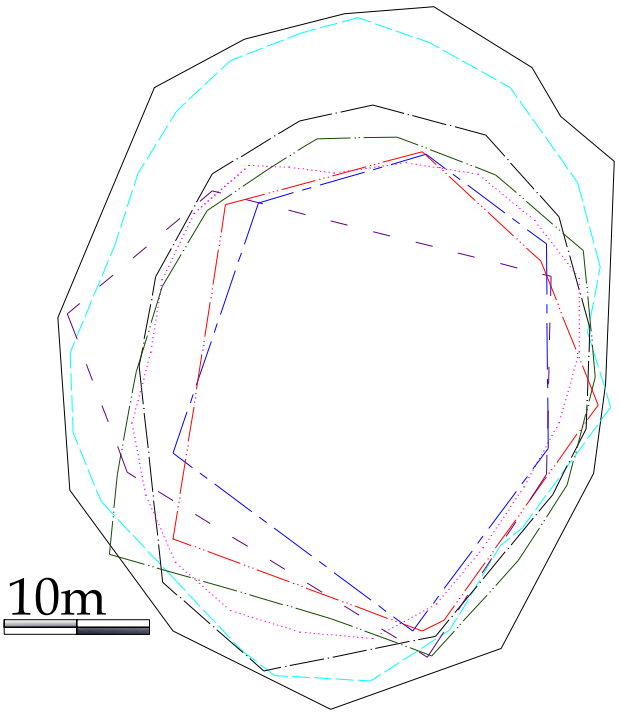

Figura 22. Variación del área superficial del Plan 2 a lo largo del estudio

Tabla 11: Datos morfométricos para el Plan 2

Mes	Perímetro	Área	Color
Marzo	101.0787	684.687	
Abril	96.5677	655.7041	
Mayo	90.1616	563.6678	
Julio	105.8826	772.2811	
Septiembre	136.8371	1407.5532	
Octubre	126.9556	1204.3747	
Enero	108.7449	864.3513	
Febrero	110.2165	915.6249	

Figura 23. Vista panorámica del Plan 2 Septiembre de 2008

7.2.2. Factores físico- químico-biológicos

Tabla 12: Promedio de los parámetros de Plan 2 por temporadas

	Estación		
Parámetro	Secas cálidas	Lluvias	Secas Frías
Profundidad máxima (m)	1.62	3.76	2.68
Área (m^2)	627.44	1178.35	926.66
Transparencia (m)	0.27	0.40	0.28
Temperatura ambiente (°C)	28.00	20.72	25.47
Temperatura del agua (°C)	27.21	24.61	21.80
Oxígeno disuelto (mg/L)	6.62	6.08	6.61
DBO (mg/L)	48.68	70.46	47.65
Conductividad (Sm-1)	413.60	301.10	213.69
pH	8.12	8.03	7.80
Alcalinidad Total (mg/L)	149.17	85.56	62.33
Dureza de Calcio (mg/L)	39.48	17.75	10.68
Dureza Total (mg/L)	183.80	74.77	78.28
Sólidos totales (mg/L)	1439.25	812.47	375.83
SDT (mg/L)	202.00	146.00	165.17
Nitratos (mg/L)	0.09	0.17	0.13
Nitritos (mg/L)	0.0159	0.0073	0.0098
Amonio (mg/L)	0.12	0.21	0.17
Fósforo Total (mg/L)	0.23	0.42	0.19
Ortofosfatos (mg/L)	0.071	0.115	0.030
Silicatos (mg/L)	15.81	32.30	17.08
Sulfatos (mg/L)	16.31	24.28	11.56
Clorofila "a" (µg/L)	277.96	311.75	251.01
Abundancia (ind/ml)	64643.49	39987.72	70635.00

En el caso de Plan 2 la gran mayoría de los parámetros presentaron sus valores máximos en temporada de secas cálidas debida a la evaporación. Sin embargo, un grupo muy particular de parámetros presentaron un valor mayor en lluvias, estos fueron los nutrientes y clorofila "a" y DBO, debido a que en este sistema el arrastre que se produce está compuesto por fertilizantes y/o deshechos fecales de los animales que emplean este sistema como abrevadero.

En general el pH en el sistema es ligeramente alcalino, En temporada de secas cálidas el agua fue muy dura, en tanto que en la dilución de temporada de lluvias la dureza bajó hasta clasificar el agua como suave, y en secas frías se clasificó como moderadamente dura.

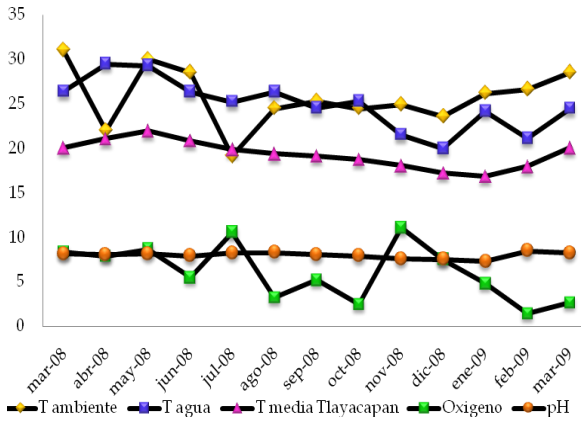

Figura 24: Variación mensual de las temperaturas (°C), oxígeno (mg/L) y pH en Plan 2

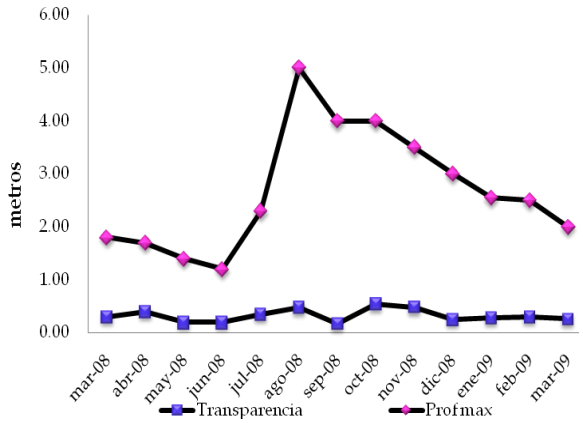

Figura 25: Variación mensual de la transparencia y profundidad máxima en Plan 2

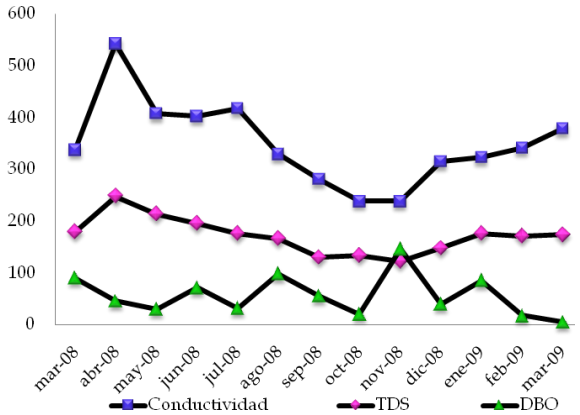

Figura 26: Variación mensual del DBO (mg/L), SDT(mg/L) y conductividad (S/m) en Plan 2

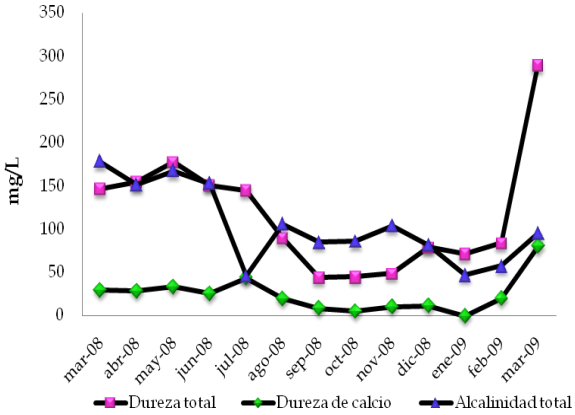

Figura 27: Variación mensual de la Dureza total, de calcio y la alcalinidad total en Plan 2

El Plan 2 mantuvo su concentración de oxígeno disuelto (Figura 24) en bajas concentraciones. En cuanto a la profundidad (Figura 25) el paso de la temporada de secas a la de lluvias fue evidente, pues el aumento de profundidad fue notable, sin embargo, la transparencia no creció de la misma manera, más bien se mantiene.

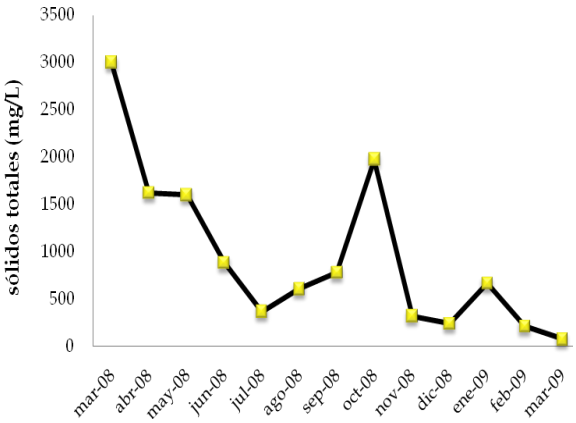

Figura 28: Variación mensual de los sólidos totales en Plan 2

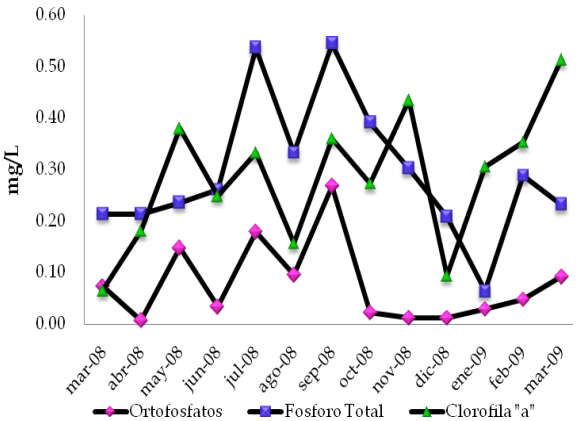

Figura 29: Variación mensual del fósforo total, ortofosfatos y Clorofila "a" en Plan 2

Los factores edáficos en las Figuras 26, 27 y 28 tuvieron sus valores más altos en la temporada de secas cálidas por efecto de la concentración, sin embargo no fueron los más bajos los de la temporada de lluvias pues aun que hubo dilución en el sistema hay aporte de sólidos a este, por arrastre.

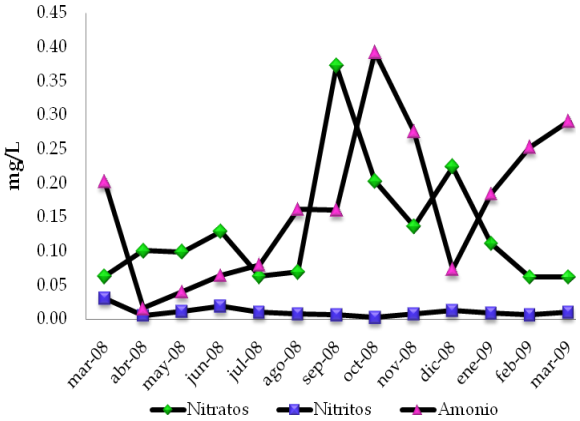

Figura 30: Variación mensual de los nitratos, nitritos y amonio en Plan 2

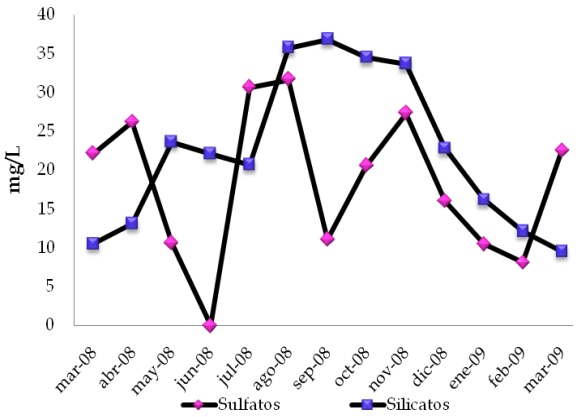

Figura 31: Variación mensual de los sulfatos y silicatos en Plan 2

La clorofila "a" presentó algunas concordancias con la concentración de ortofosfatos y fósforo total (Figura 29); en cuanto a los nitratos y el amonio en la Figura 30 y los silicatos y sulfatos en la Figura 31, en temporada de lluvias la concentración de estos fue mayor, debida al arrastre de estos al sistema provocado por las lluvias

7.2.3. Fitoplancton

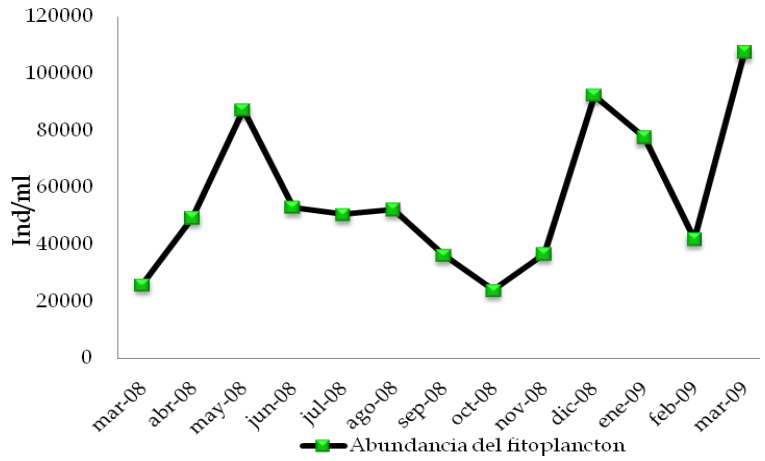

Figura 32: Variación mensual de la abundancia del fitoplancton en Plan 2

La variación de la abundancia del fitoplancton (Figura 32) en la temporada de lluvias la abundancia es menor a comparación de los meses de las temporadas de secas.

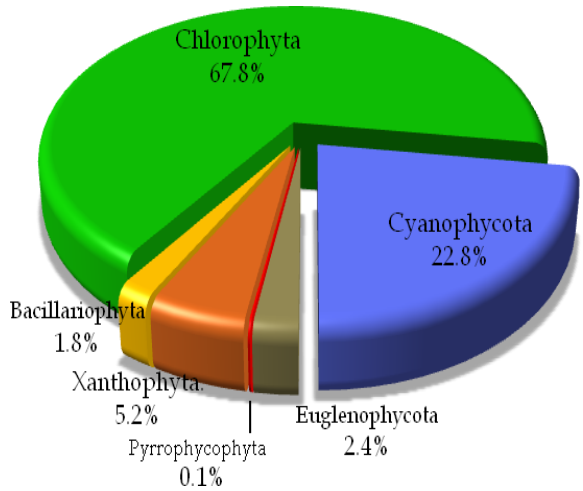

Figura 33: Porcentaje de las divisiones en temporada de secas cálidas de Plan 2

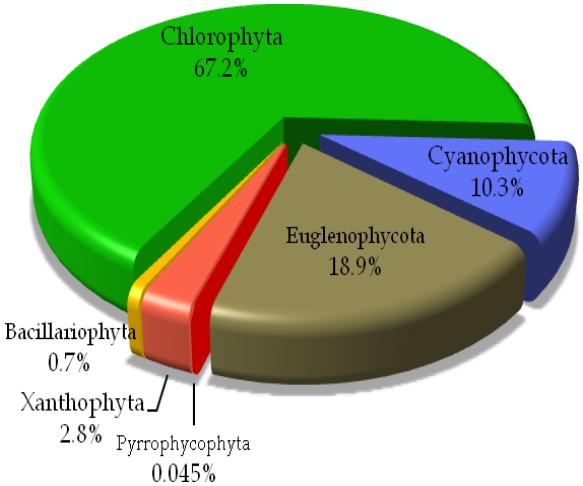

Figura 34: Porcentaje de las divisiones en temporada de lluvias de Plan 2

En cuanto a las divisiones en las tres temporadas la división dominante fue la Chlorophyta con los siguientes porcentajes, en temporada de secas cálidas (Figura 33) 67.8, en temporada de lluvias (Figura 34) 62.7 y aumentó su porcentaje en secas frías (Figura 35) hasta el 85.7, la siguiente división dominante fue Cyanophycota que durante secas cálidas tuvo un porcentaje de 22.8 y en secas frías bajo hasta 8.4, sin embargo en lluvias con un 10.3% se colocó por debajo de la Euglenophycota que presentó 18.9%, en secas frías bajó hasta 4% y en secas cálidas hasta 2.4. La Xanthophyta fueron las siguientes en dominancia con los porcentajes 5.2, 2.8 y 0.9 para secas cálidas, lluvias y secas frías respectivamente, le sigue la Bacillariophyta y

por último la Pyrrophycophyta.

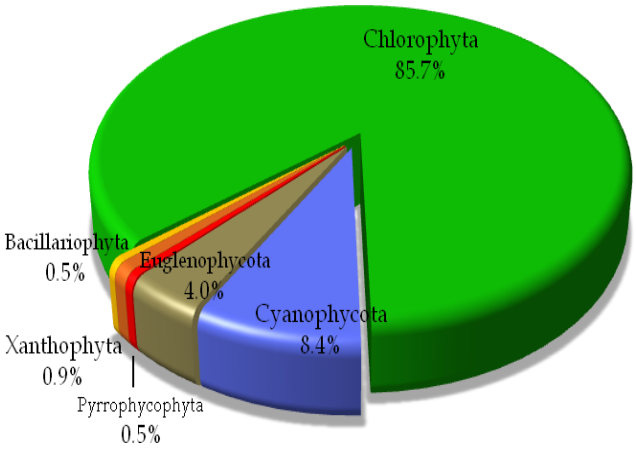

Figura 35: Porcentaje de las divisiones en temporada de secas frías de Plan 2

El mes con menor diversidad fue el mes de Diciembre, en base a Shanon-Wiener (Figura 36), mientras que los mas diversos fueron los meses de secas cálidas, al igual que la equitatividad (Figura 37).

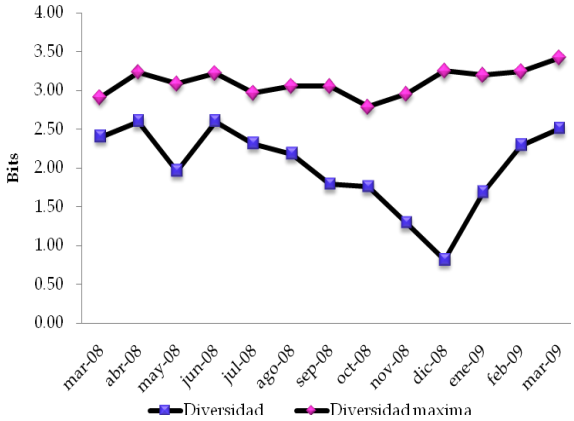

Figura 36: Variación mensual de la diversidad α en Plan 2

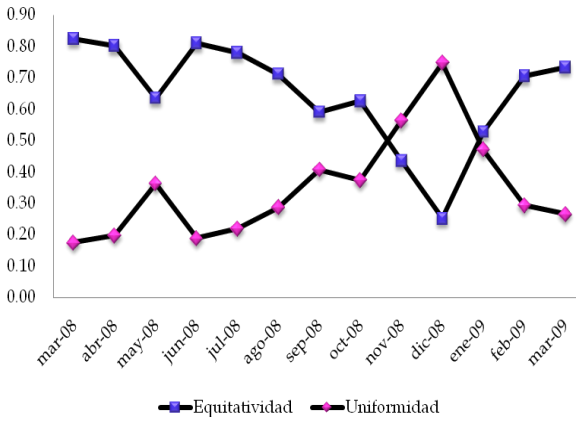

Figura 37: Variación mensual de la equitatividad en Plan 2

Tabla 13: Jerarquizacion de las especies por dominancia para Plan 2

Raras	A	F %
Aulacoseira sp.	249.3	7.7
Navicula bacillum	249.3	7.7
Navicula capitata	249.3	7.7
Nitzschia vermicularis	249.3	7.7
Cosmarium bioculatum	249.3	7.7
Cosmarium pseudoconnatum	249.3	7.7
Euastrum insulare	249.3	7.7
Monoraphidium griffithii	249.3	7.7
Netrium interruptum	249.3	7.7
Scenedesmus abundans	249.3	7.7
Scenedesmus baculiformis	249.3	7.7
Scenedesmus intermedius	249.3	7.7
Scenedesmus perforatus	249.3	7.7
Staurastrum sp.	249.3	7.7
Staurodesmus incus	249.3	7.7
Euglena chlamydophora	249.3	7.7
Euglena spirogyra	249.3	7.7
Euglena guntheri	249.3	7.7
Phacus sp4	249.3	7.7
Phacus triqueter	249.3	7.7
Strombonas costata	249.3	7.7
Bumilleropsios petersiana	249.3	7.7
Staurastrum sp. Meyen	249.3	7.7
Ankistrodesmus spiralis	498.6	7.7
Crucigenia apiculata	498.6	7.7
Polyedriopsis spinulosa	498.6	7.7
Scenedesmus acuminatus	498.6	7.7
Phacus pleuronectes	498.6	7.7
Pediastrum simplex var radians	498.6	15.4
Lepocinclis playfairiana	498.6	15.4
Aphanocapsa sp.	747.9	7.7
Euglena oxyuris	747.9	7.7
Phacus orbicularis	747.9	7.7
Phacus pusillus	747.9	7.7
Cosmarium subcrenatum	747.9	15.4
Scenedesmus denticulatus	747.9	15.4
Scenedesmus javanensis	747.9	15.4
Phacus sp2	747.9	15.4
Pediastrum simplex	747.9	23.1
Phacus tortus	747.9	23.1
Scenedesmus quadricauda	997.2	7.7
Euglena splendens	997.2	7.7
Scenedesmus obliquus	997.2	23.1
Tetraedron incus	1246.5	15.4
Euglena granulata	1246.5	15.4
Kirchneriella lunaris	1246.5	23.1
Ankistrodesmus fusiformis	1495.8	7.7
Chlamydomonas sp.	1495.8	7.7
Cosmarium botrytis	1495.8	15.4
Fragilaria capucina	1495.8	23.1
Staurastrum spongiosum	1495.8	23.1
Centritactus belenophorus	1495.8	23.1
Tetradriella sp.	1495.8	23.1
Navicula cuspidata	1745.1	15.4
Cosmarium tinctum	1745.1	15.4
Crucigenia rectangularis	1745.1	23.1
Chroococcus minutus	1994.4	15.4
Cosmarium cucumis	1994.4	23.1
Ocasionales	A	F %
Chroococcus varius	2243.7	7.7
Tetraedron caudatum	2493	23.1
Nostoc coeruleum	2742.3	7.7
Anabaenopsis elenkenii	2991.6	15.4
Strombomonas sp	3240.9	7.7
Euglena sp.	3240.9	23.1
Cosmarium connatum	3739.5	7.7
Oocystis sp	4238.1	23.1
Chroococcus sp.	5983.2	7.7
Trachelomonas sp.	56092.5	23.1
Constantes	A	F %
Pediastrum duplex	997.2	30.8
Pediastrum tetras	1246.5	30.8
Dominantes	A	F %
Tetraedron triangulare	1495.8	38.5
Tetraedron sp	1745.1	38.5
Tetraedron regulare	2243.7	46.2
Nephrocytium limneticum	2742.3	38.5
Peridinium inconspicuum	3240.9	30.8
Schroederia robusta	3240.9	46.2
Tetrastrum staurogeniaeforme	3739.5	38.5
Keratococcus bicaudatus	4238.1	46.2
Melosira sp.	4736.7	53.8
Scenedesmus falcatus	6980.4	84.6
Navicula sp.	7479	30.8
Crucigenia quadrata	7479	84.6
Scenedesmus bicaudatus	8226.9	61.5
Cosmarium sp.	10221.3	38.5
Scenedesmus communis	12465	84.6
Merismopedia tenuissima	13960.8	46.2
Microcystis aeruginosa	14210.1	53.8
Anabaena spiroides	15207.3	61.5
Chroococcus dispersus	17949.6	84.6
Scenedesmus brasiliensis	18448.2	84.6
Monoraphidium arcuatum	20442.6	92.3
Kirchneriella irregularis	20941.2	92.3
Ankistrodesmus falcatus	24680.7	53.8
Merismopedia glauca	25677.9	30.8
Phacus sp1	27921.6	61.5
Tetraedron minimum	36896.4	92.3
Phacus sp3	37644.3	53.8
Goniochloris mutica	46868.4	100.0
Monoraphidium contortum	60829.2	69.2
Microcystis flosaquae	68806.8	53.8
Kirchneriella obesa	69305.4	76.9
Microcystis pulverea incerta	71050.5	61.5
Monoraphidium irregulare	123902.1	100.0
Crucigenia tetrapedia	164039.4	100.0
Chlorococcum infusionum	528017.4	100.0

Para jerarquizar la dominancia de las especies se construyó el diagrama de Olmstead-Tuckey (Figura 38) donde de un total de 105 especies registradas en este sistema el 55% fueron especies raras y el 31% fueron especies dominantes, es decir los porcentajes mayores se encontraron en los extremos. Mientras que las ocasionales ocuparon el 10% y las constantes el 4%. En la Tabla 13 se desglosaron las especies que comprenden cada clasificación con su Abundancia (A) y frecuencia (F %) en porcentaje.

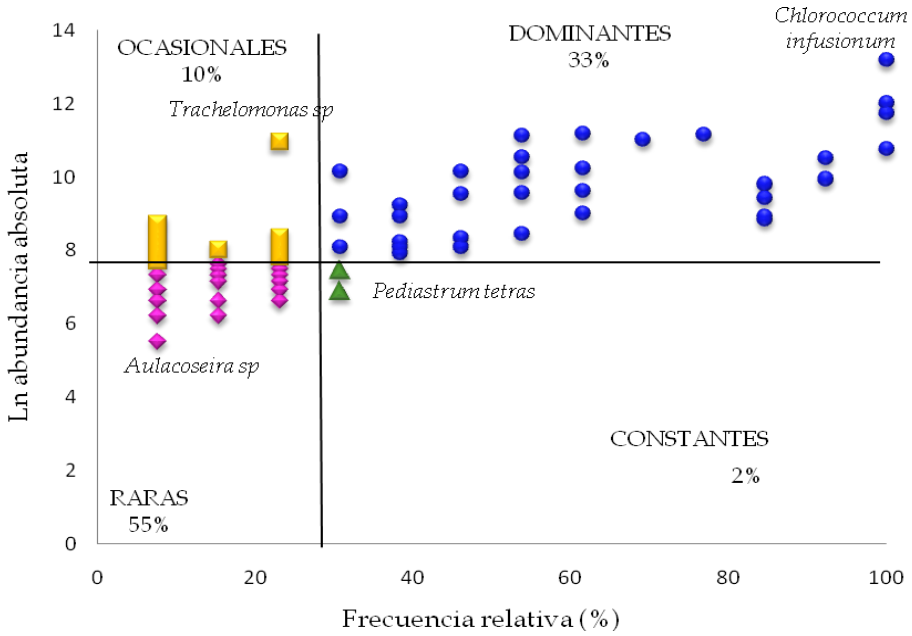

Figura 38: Diagrama de Olmstead-Tuckey para Plan 2

7.2.4. Índice de Estado Trófico

Con base en la separación de los meses que se obtuvo a partir del dendograma (Figura 41), se calculó el índice de estado trófico de Carlson. Este sistema permanente fue clasificado como hipereutrófico a lo largo de todo el año (Tabla 14).

Tabla 14: Índice del estado trófico para el Plan 2

Temporada	(IET) PT	(IET) DS	(IET) Chl	IET Promedio	Estado Trófico
Secas cálidas	82.63	78.76	85.51	83.51	Hipereutrófico
Lluvias	91.29	73.04	86.51	86.51	Hipereutrófico
Secas frías	79.57	78.52	84.78	82.80	Hipereutrófico

7.2.5. Análisis estadístico

7.2.5.1. Comparación entre niveles de profundidad

En el caso del Plan 2 se realizó una prueba de Levene, para comparar las varianzas entre las profundidades (niveles), comprobando homocedasticidad en todos los parámetros excepto: nitritos (W=3.38689; p=0.0487062) y dureza total (W= 4.77991; p= 0.0167054).

Todos los parámetros evaluados para este Plan presentaron igualdad estadística entre niveles, excepto nitritos (H=21.5291; p=0.00002), pH (F=5.92088; p= 0.0074), oxígeno disuelto (F=3.86857; p=0.0333) y dureza total (H=9.69867; p= 0.00783358) pues los resultados de la prueba de análisis de varianza fueron mayores a 0.05 en el resto de los casos.

Esto es posible debido a que este sistema por su tamaño se encuentran en constante mezcla, lo que provocó que no hubiera diferencias significativas entre los niveles para algunos parámetros.

7.2.5.2. Comparación entre meses

Se realizó una comparación entre meses mediante la prueba de ANDEVA; sin embargo, al comparar las varianzas algunos parámetros arrojaron un valor de probabilidad menor a 0.05, en estos casos se empleó la prueba Kruskal Wallis.

Se obtuvo para la mayoría de los parámetros diferencia estadísticamente significativa entre los meses, excepto para: el oxígeno disuelto (F=2.23; p=0.0635), pH (F=0.68; p=0.7523), sólidos totales (H=20.9115; p=0.0516922), nitritos (F=0.46; p=0.9095), amonio (F=1.52; p=0.2094), sulfatos (F=0.66; p=0.7669), abundancia del fitoplancton (H=20.2373; p=0.06272), parámetros en los que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los meses.

7.2.5.3. Correlaciones

Los pares de variables que con la prueba de Pearson mostraron correlaciones significativas (Tabla 15), los parámetros se encuentran ordenados de mayor a menor correlación, donde la profundidad y el área fueron el par de variables cuya correlación fue mayor, seguidas de las durezas, la conductividad, sólidos disueltos totales y la temperatura del agua y ambiente, aunque con cierto grado de correlación fueron el par de variables menos

correlacionadas, aunque algunas con relación directa (positiva) y otros de manera inversa (negativa).

Tabla 15. Correlaciones de las variables físicas químicas y biológicas para el Plan 2

Variables	Valor-P	R	Variables	Valor-P	R
Z y Área	0.0000	0.9795	Temperatura y Conductividad	0.0155	0.6530
Dureza total y Dureza de calcio	0.0000	0.9407	Amonio y SDT	0.0163	-0.6492
Conductividad y SDT	0.0000	0.9381	T agua y Alcalinidad total	0.0173	0.6449
Temperatura y T del agua	0.0003	0.8428	Temperatura y Dureza total	0.0184	0.6402
Silicatos y Z	0.0022	0.7664	Silicatos y Dureza total	0.0185	-0.6397
Silicatos y Área	0.0038	0.7410	Ortofosfatos y Precipitación	0.0207	0.6313
SDT y Área	0.0039	-0.7396	Conductividad y Dureza total	0.0218	0.6271
Temperatura y Alcalinidad total	0.0041	0.7368	T del agua y Conductividad	0.0223	0.6254
Fósforo total y Precipitación	0.0042	0.7347	Silicatos y Precipitación	0.0254	0.6146
T del agua y SDT	0.0055	0.7203	Nitratos y Silicatos	0.0290	0.6033
Amonio y Conductividad	0.0062	-0.7128	Silicatos y SDT	0.0299	-0.6009
Z y SDT	0.0068	-0.7077	T agua y Sólidos totales	0.0305	0.5992
pH y Equitatividad	0.0075	0.7017	SDT y Dureza total	0.0376	0.5803
Sulfatos y Transparencia	0.0087	0.6926	Silicatos y Conductividad	0.0378	-0.5797
Ortofosfatos y Fósforo total	0.0092	0.6892	Dureza y abundancia	0.0410	0.5722
Conductividad y Área	0.0098	-0.6846	Nitritos y T ambiente	0.0418	0.5704
Temperatura y Equitatividad	0.0103	0.6817	Nitritos y Alcalinidad total	0.0420	0.5698
Sólidos totales y Alcalinidad total	0.0111	0.6767	pH y Dureza de Calcio	0.0427	0.5684
Z y Conductividad	0.0122	-0.6702	SDT y Equitatividad	0.0432	0.5673
Dureza total y Área	0.0123	-0.6695	Conductividad y Equitatividad	0.0465	0.5601
T agua y Equitatividad	0.0134	0.6635	T ambiente y Alcalinidad total	0.0458	0.5615
Temperatura y SDT	0.0141	0.6597	Temperatura y Dureza de calcio	0.0493	0.5544
Z y Dureza total	0.0151	-0.6549	Silicatos y Fósforo total	0.0493	0.5543

La equitatividad tuvo para este sistema la correlación más alta con los sólidos totales y la conductividad, en cuanto a la clorofila "a" esta no mostró correlación con ningún parámetro.

7.2.5.4. Análisis multivariado

El análisis de componentes principales se empleó para determinar cuales fueron los parámetros que explicaron la mayor variabilidad en los datos de Plan 2, así como para reducir la dimensionalidad de las mismas en la Tabla 16. De 25 componentes originales con 7 es posible describir el 89.239% de la dinámica del sistema.

En la Tabla 17 de los pesos de los componentes, el componente uno explica en un 31.82% la variabilidad de los datos conformado por el área, profundidad máxima y sólidos disueltos totales; al segundo componente donde resaltan los ortofosfatos, fósforo total y precipitación, explican el 14.65%. El tercer componente explica el 13.57% representado por sólidos totales; el cuarto componente explica el 10.32% están los sulfatos y la

transparencia. El componente quinto explica el 8.55% y está compuesto por el amonio y la temperatura ambiente, el sexto componente explica el 5.99% y está representado por el oxígeno disuelto y por último el séptimo componente que explica el 4.46% está compuesto por la clorofila "a", por lo que se considera que estos 14 parámetros explican el comportamiento del sistema.

Tabla 16: Análisis de Componentes Principales para Plan 2

Componente Número	Eigenvalor	Porcentaje de Varianza	Porcentaje Acumulado	Componente Número	Eigenvalor	Porcentaje de Varianza	Porcentaje Acumulado
1	7.92057	31.682	31.682	14	3.51717E-16	0.000	100.000
2	3.66381	14.655	46.338	15	2.97036E-16	0.000	100.000
3	3.39238	13.570	59.907	16	2.6932E-16	0.000	100.000
4	2.58049	10.322	70.229	17	1.39152E-16	0.000	100.000
5	2.13738	8.550	78.779	18	1.04949E-16	0.000	100.000
6	1.49905	5.996	84.775	19	3.32705E-17	0.000	100.000
7	**1.11596**	**4.464**	**89.239**	20	0.0	0.000	100.000
8	0.908731	3.635	92.874	21	0.0	0.000	100.000
9	0.75167	3.007	95.880	22	0.0	0.000	100.000
10	0.43958	1.758	97.639	23	0.0	0.000	100.000
11	0.347986	1.392	99.030	24	0.0	0.000	100.000
12	0.242388	0.970	100.000	25	0.0	0.000	100.000
13	4.55215E-16	0.000	100.000				

Tabla 17: Tabla de Pesos de los Componentes de Plan 2

Variables	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4	Componente 5	Componente 6	Componente 7
Nitritos	0.187298	0.113814	0.22025	0.17367	0.1527	0.316932	**0.408061**
Nitratos	-0.202123	-0.0989714	0.0540673	0.372541	-0.0934845	-0.0922901	-0.102933
Ortofosfatos	-0.0241042	**-0.407126**	-0.0736344	0.250527	0.0237463	0.192343	0.0926486
Silicatos	-0.26499	-0.193697	0.157656	0.0838951	-0.0286419	0.0469177	-0.342779
Sulfatos	-0.0572972	-0.130242	0.0753468	**-0.510056**	-0.0428888	0.275058	0.0365337
Amonio	-0.182372	0.119599	-0.123505	-0.14771	**0.488684**	0.0465416	-0.0503502
Fósforo total	-0.155179	**-0.428032**	-0.0120606	0.0193878	0.0152428	0.110414	0.214019
Z	**-0.315841**	-0.0947447	0.0361584	-0.108542	0.0708203	-0.0435951	-0.0710482
Área	**-0.320485**	-0.106966	0.00766378	-0.0351329	0.0762017	-0.0461196	-0.0350716
Precipitación	-0.105588	**-0.399928**	0.0824106	0.178098	-0.0528235	-0.0313059	0.0378518
Temperatura	0.255005	-0.300845	0.127139	0.000423776	0.090539	0.0173115	-0.224817
T amb	0.144914	0.160047	0.0459906	0.288572	**0.449355**	0.100067	-0.167707
T agua	0.210731	-0.242649	0.225991	-0.0645752	0.0403944	-0.184041	-0.332953
Transparencia	-0.155449	0.0171833	0.147504	**-0.506502**	0.0915934	-0.063152	-0.135523
Conductividad	0.2881	-0.13054	-0.00937419	-0.12689	-0.266147	-0.195706	0.0259669
SDT	**0.307118**	-0.0426518	0.0642648	-0.0982675	-0.162663	-0.275181	-0.0825903
pH	0.116746	-0.331132	-0.106085	-0.138789	0.283832	-0.0999554	0.277811
Oxígeno	0.0670074	-0.021607	0.23451	-0.0400219	-0.356152	**0.506058**	0.00369449
DBO	-0.105887	0.145986	0.321834	-0.0282333	-0.071916	0.371815	-0.168105
Sol tot	0.111963	-0.00377475	**0.401655**	-0.0011925	0.272973	-0.138209	0.0412622
Dureza total	0.293866	-0.0783827	-0.199277	-0.0847707	0.110514	0.172017	-0.080783
Dureza calcio	0.227082	-0.158154	-0.263343	-0.151405	0.141439	0.2672	0.0290842
Alc tot	0.218215	-0.0256816	0.335731	0.0690893	0.167816	0.0631017	-0.234742
Clorofila "a"	-0.022972	-0.0968794	-0.360799	0.0270339	0.104023	0.24053	**-0.426325**
Abundancia	0.138447	0.111102	-0.332601	0.0845078	-0.190626	0.0914543	-0.269544

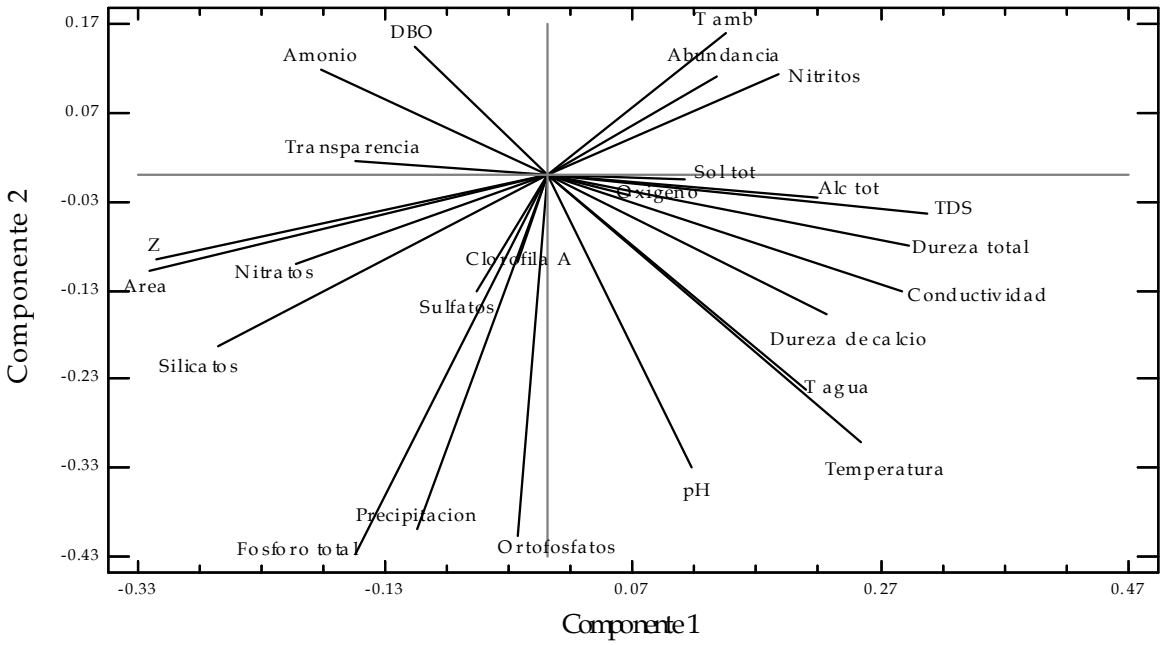

Figura 39: Representación grafica de pesos de los componentes para Plan 2

En la Figura 39 los componentes están divididos en cuatro cuadrantes, donde el de la derecha inferior concentra a los parámetros representativos del factor edáfico, pues se concentran las durezas, la alcalinidad, la conductividad, sólidos totales, SDT y el pH. En los cuadrantes de la izquierda inferior se encuentran los parámetros asociados al ambiente, al morfométrico (área y profundidad), los nutrimentos y a la clorofila "a".

En la Figura 40 las variables están acomodadas en el espacio según se relacionaron con los muestreos de modo que con esta grafica y el dendograma de análisis de conglomerados de la Figura 41 se pudo determinar la formación de 3 grupos, el primero compuesto por los meses Marzo, Abril, Mayo y Junio que estuvieron definidos por los factores edáficos y se clasificaron como meses de las secas cálidas. El segundo por Agosto, Septiembre, Octubre y Noviembre que correspondieron a la temporada de lluvias, donde como se puede apreciar Septiembre que fue el mes con mayor volumen de agua el que menos se parece del grupo, este grupo según el análisis de componentes estuvo definido por el área, la profundidad máxima, los silicatos y el fósforo total.

En tanto que el tercer grupo se ajustó por los meses Julio, Diciembre, Enero, Febrero y Marzo de 2009, está compuesto por meses de las tres temporadas sin embargo fueron los meses de secas frías, los que definieron este grupo, sin embargo según componentes los meses de Marzo de 2009 y Julio coincidieron en que la dinámica del sistema fue explicada por el pH, la temperatura y las durezas, mientras los de secas frías estuvieron definidos por los sulfatos, el amonio, la transparencia y el DBO.

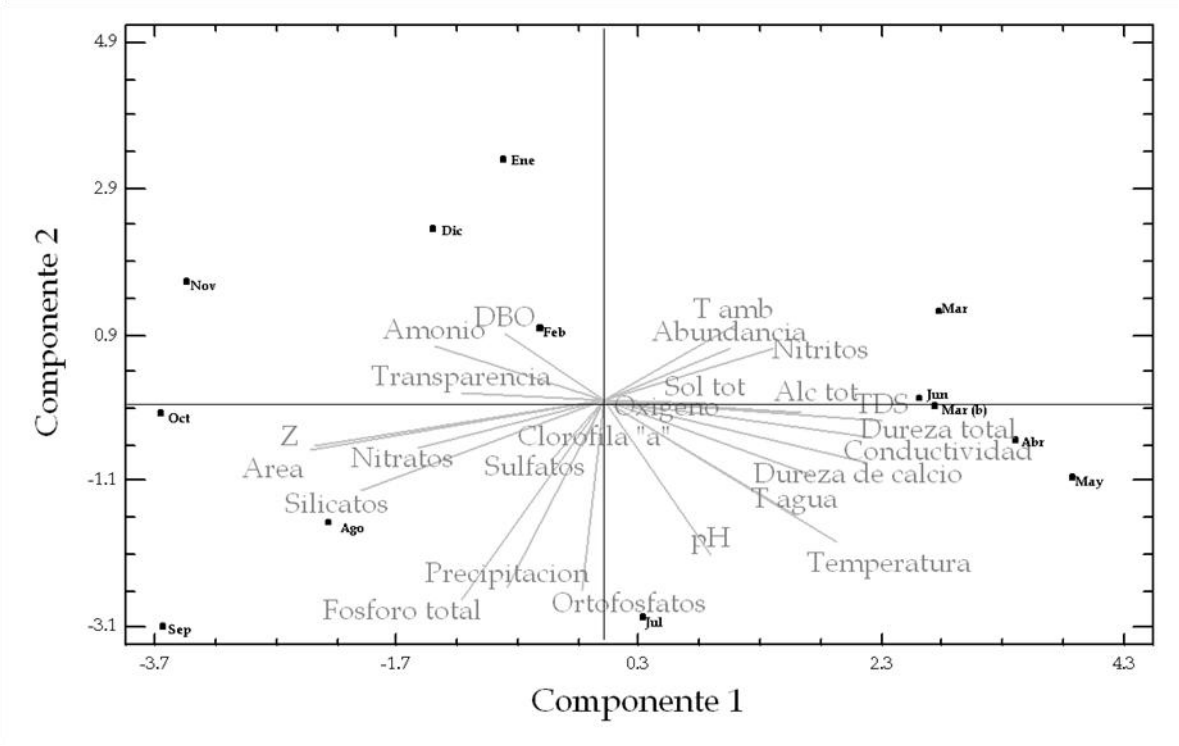

Figura 40: Comportamiento de las variables y los meses de monitoreo para Plan 2

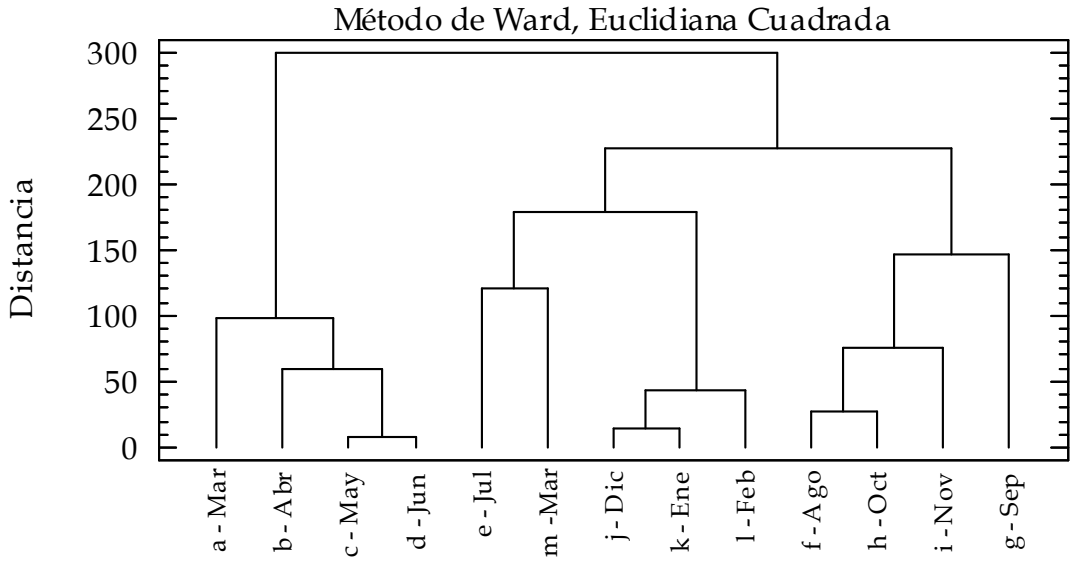

Figura 41: Dendograma que muestra la asociación de los meses de muestreo para Plan 2

7.3. PLAN 3

7.3.1. Morfometría

Este sistema se clasificó como un sistema permanente, sin embargo no se tomaron muestras en el mes de Junio por su poca profundidad. A modo de ilustrar las variaciones en la morfometría que este sistema presento se exhibe la Figura 42 y los valores en la Tabla 18. En la Figura 43 se muestra al sistema en temporada de secas.

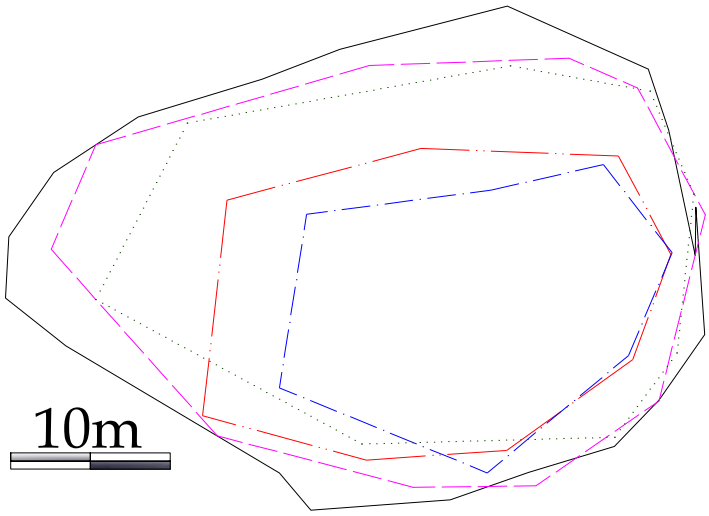

Figura 42 Variación del área superficial del Plan 3 a lo largo del estudio

Tabla 18: Datos morfométricos para el Plan 3

Mes	Perímetro	Área	Color
Marzo	100.2015	675.7504	
Abril	81.6625	455.4387	
Mayo	69.369	319.2193	
Agosto	123.9652	967.1528	
Enero	111.1615	868.6958	

Figura 43: Vista panorámica Plan 3 Marzo de 2008

7.3.2. Factores físico- químico-biológicos

El Plan 3, en las temporadas de secas cálidas y lluvias presento valores de oxígeno, superiores a 5 mg/l, sin embargo en secas frías el nivel de oxígeno fue ligeramente bajo. En cuanto a la dureza en secas cálidas, debido a la concentración de los elementos, las aguas se clasificaron como moderadamente duras, mientras en lluvias y secas frías el agua se clasificó como suave.

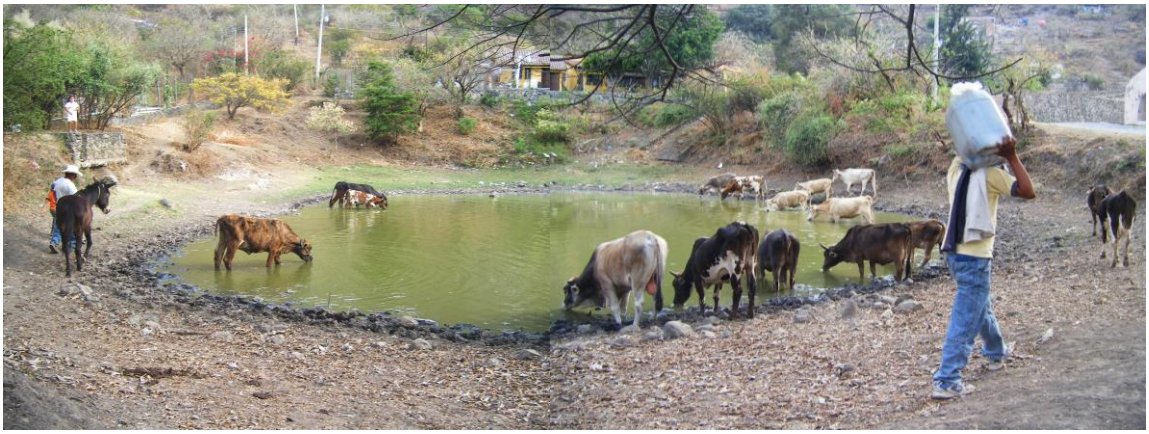

Figura 44: Plan 3 en Abril utilizado como abrevadero

Los parámetros en promedio por temporada (Tabla 19) presentaron su mayor registro en los meses de secas cálidas pues el efecto de concentración fue particularmente influyente para este sistema debido a su pequeño tamaño, mientras que en temporada de lluvias los factores edáficos tuvieron valores más altos que en temporada de secas frías y por el contrario la mayoría de los nutrientes e incluso la abundancia del fitoplancton fueron mayores en secas frías que en lluvias, otra fuente de nutrientes fueron los deshechos dejados por los animales que emplean los sistemas de abrevadero (Figura 44).

Tabla 19: Promedio de los parámetros de Plan 3 por temporadas

	Estación		
Parámetro	Secas cálidas	Lluvias	Secas Frías
Profundidad máxima (m)	0.52	1.41	0.93
Área (m²)	537.60	911.68	784.35
Transparencia (m)	0.30	0.25	0.11
Temperatura ambiente (°C)	28.83	22.77	25.45
Temperatura del agua (°C)	27.55	22.88	21.95
Oxígeno disuelto (mg/L)	6.63	5.70	2.47
DBO (mg/L)	55.87	68.19	34.83
Conductividad (Sm-1)	472.50	310.00	133.28
pH	9.28	7.89	8.81
Alcalinidad Total (mg/L)	145.73	86.43	53.55
Dureza de Calcio (mg/L)	17.20	9.05	3.00
Dureza Total (mg/L)	80.93	34.76	24.72
Sólidos totales (mg/L)	2630.25	1348.75	798.50
SDT (mg/L)	224.00	141.33	171.00
Nitratos (mg/L)	0.39	0.21	0.39
Nitritos (mg/L)	0.0335	0.0094	0.0081
Amonio (mg/L)	0.46	0.17	0.47
Fósforo Total (mg/L)	1.14	0.64	0.97
Ortofosfatos (mg/L)	0.256	0.324	0.454
Silicatos (mg/L)	15.51	38.41	35.57
Sulfatos (mg/L)	29.73	22.76	13.24
Clorofila "a" (µg/L)	120.36	12.12	83.95
Abundancia (ind/ml)	159801.30	37498.88	189966.60

Hubo una ligera relación negativa entre la concentración de oxígeno disuelto y la temperatura (Figura 45), así como entre el pH y la temperatura; en cuanto a la profundidad máxima y la transparencia (Figura 46) aun que la profundidad máxima aumentó en lluvias, la transparencia no aumentó en proporción.

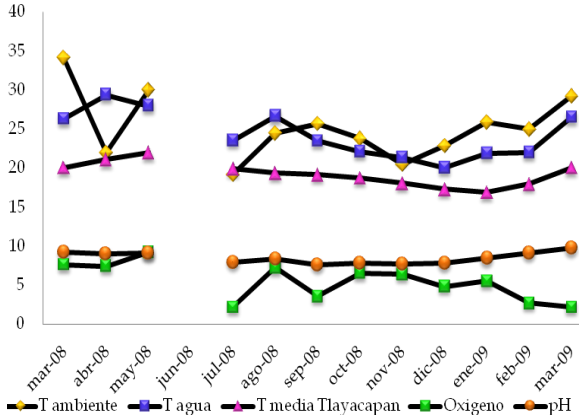

Figura 45: Variación mensual de las temperaturas (°C), oxígeno (mg/L) y pH en Plan 3

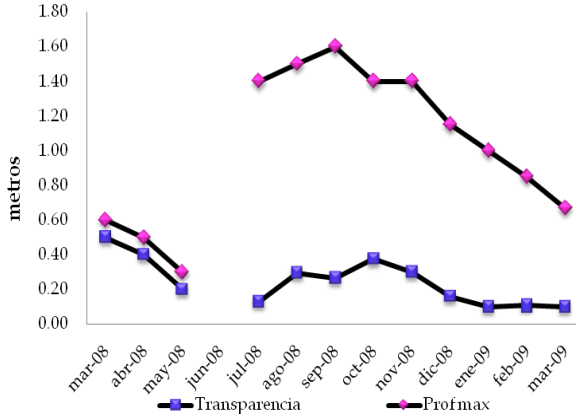

Figura 46: Variación mensual de la transparencia y profundidad maxima en Plan 3

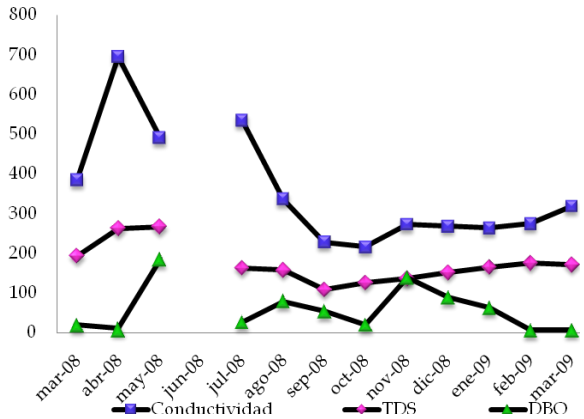

Figura 47: Variación mensual del DBO (mg/L), SDT(mg/L) y conductividad (S/m) en Plan 3

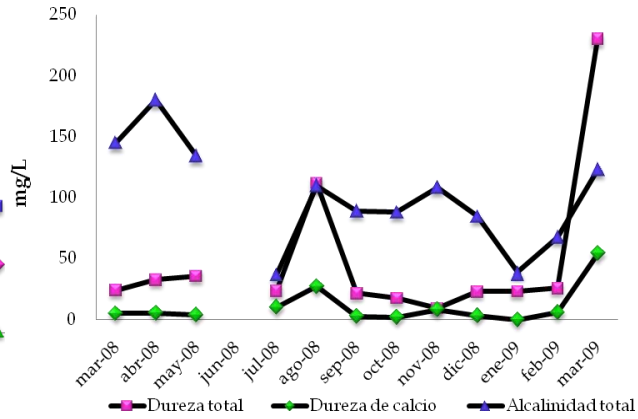

Figura 48: Variación mensual de la Dureza total, de calcio y la alcalinidad total en Plan 3

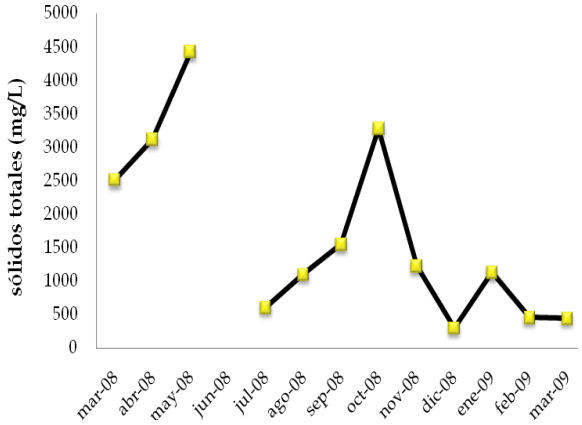

Figura 49: Variación mensual de los sólidos totales en Plan 3

En cuanto el comportamiento de los factores de carácter edáfico, la conductividad y los SDT (Figura 47), las durezas y alcalinidad total (Figura 48) y los sólidos totales (Figura 49) presentaron sus valores más altos en la temporada de secas cálidas pues este sistema mostró una considerable influencia por efectos de las evaporacion y consecuente concentracion de los sólidos.

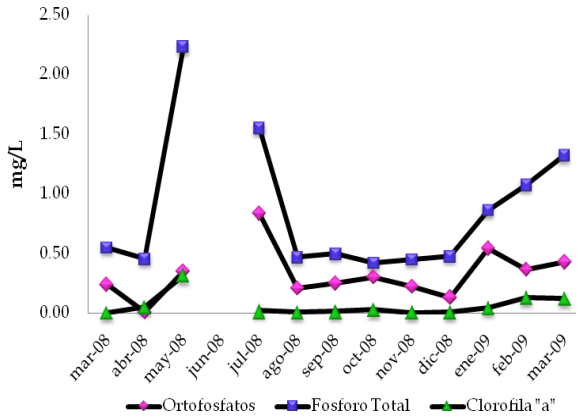

Figura 50: Variación mensual del fósforo total, ortofosfatos y Clorofila "a" en Plan 3

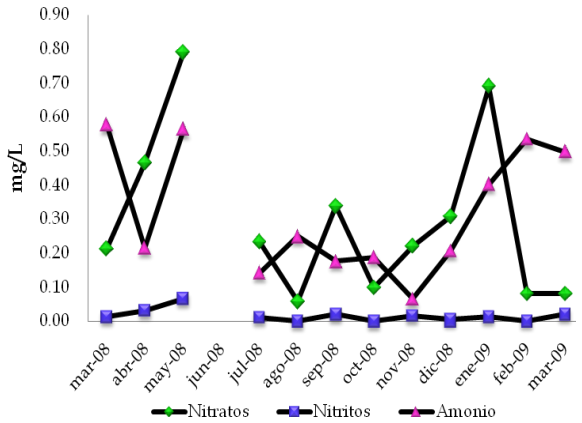

Figura 51: Variación mensual de los nitratos, nitritos y amonio en Plan 3

En cuanto al fósforo total, ortofosfatos y clorofila "a" (Figura 50) éstos presentaron sus valores más bajos en temporada de lluvias, excepto en Julio, que por arrastre del material que rodea al sistema hubo un incremento de los nutrientes mencionados, mientras que en las temporadas de secas, la concentración de estos aumentó. Los nutrientes compuestos por nitrógeno (Figura 51).

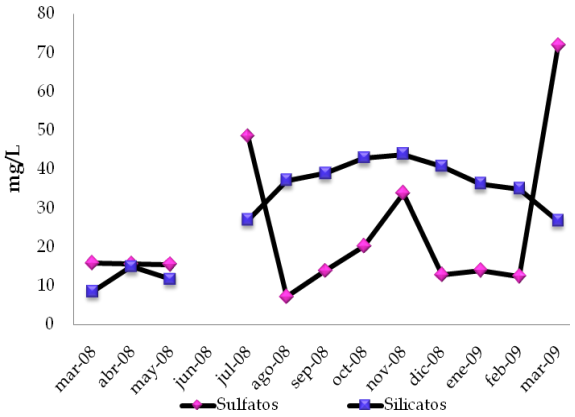

Figura 52: Variación mensual de los sulfatos y silicatos en Plan 3

Los sulfatos en la Figura 52 presentaron sus valores más altos en temporada de secas frías y disminuyeron hacia la temporada de secas cálidas, mientras que los silicatos presentaron un pico en su concentración una vez en cada una de las temporadas registradas.

7.3.3. Fitoplancton

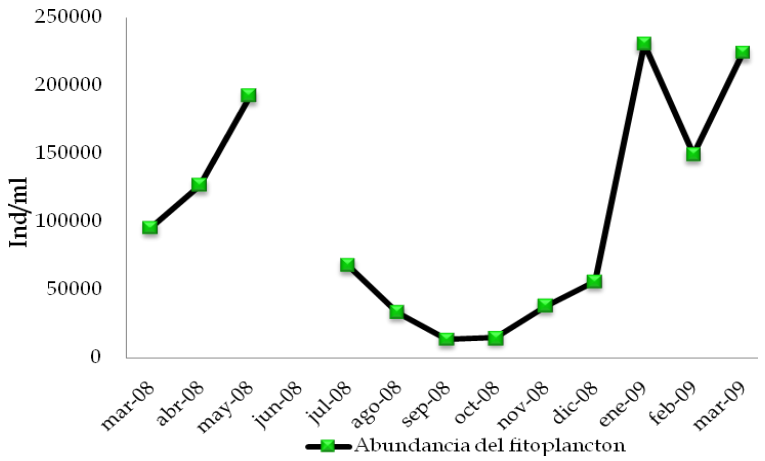

Figura 53: Variación mensual de la abundancia del fitoplancton en Plan 3

En la Figura 53 se muestra como varió la abundancia del fitoplancton a lo largo de los muestreos, y al final de la temporada de lluvias la abundancia fue la menor y esta aumentó al acercarse las temporadas de secas.

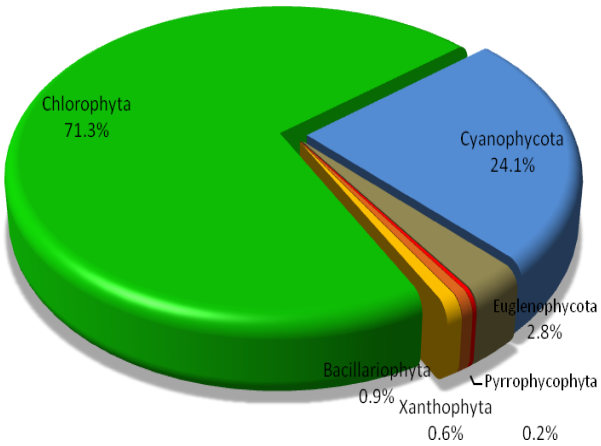

Figura 54: Porcentaje de las divisiones en temporada de secas cálidas de Plan 3

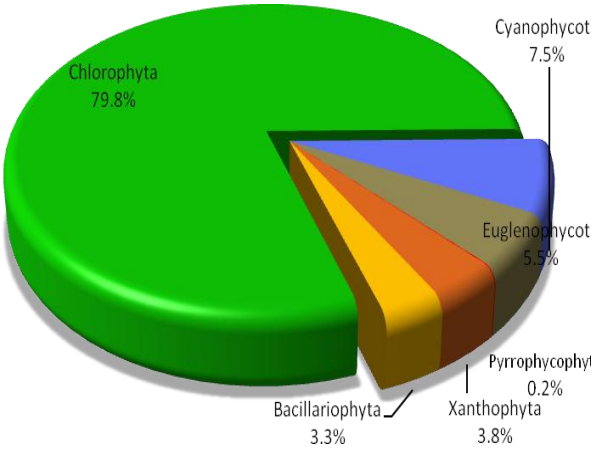

Figura 55: Porcentaje de las divisiones en temporada de lluvias de Plan 3

En cuanto a las divisiones, la Chlorophyta fue la división más abundante en Plan 3 a lo largo de todo el año sin grandes variaciones en su porcentaje, en secas cálidas (Figura 54) presentó el 71.3, en lluvias (Figura 55) el 79.8 y en secas frías (Figura 56) el 84.6. La Cyanophycota fue la siguiente división en abundancia, sin embargo en este caso los porcentajes variaron de una temporada a otra. En temporada de secas representó el 24.1%, en lluvias disminuyó hasta el 7.5% y en secas frías recuperó abundancia representando el 13.3%.

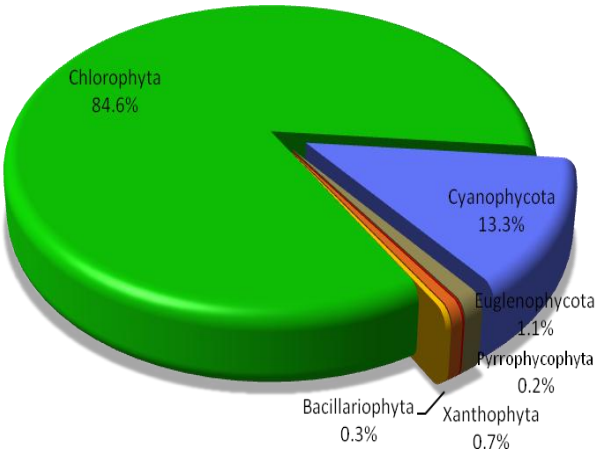

Figura 56: Porcentaje de las divisiones en temporada de secas frías de Plan 3

Euglenophycota fue la división que se colocó en tercer lugar de abundancia con los siguientes porcentajes, en secas cálidas el 2.8, en lluvias el 5.5 y en secas frías el 1.1, en tanto que las Xanthophyta y Bacillariophyta en secas cálidas representaron el 0.6% y 0.9% respectivamente, mientras que en lluvias representaron el 3.8 y 3.3, como se puede observar los lugares se invirtieron y este efecto se mantiene en temporada de secas frías con los siguientes porcentajes 0.7 y 0.3 respectivamente, por último la división Pyrrophycophyta presentó un porcentaje a lo largo del año de 0.2%.

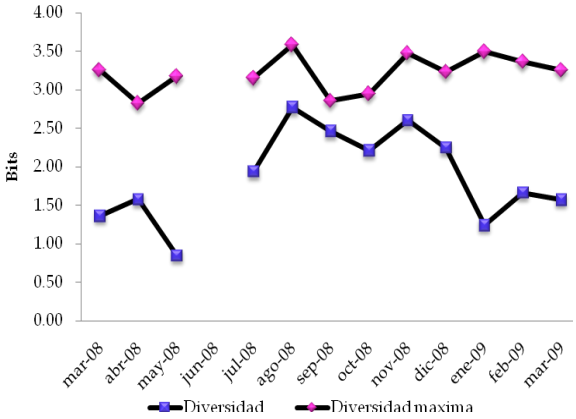

Figura 57: Variación mensual de la diversidad α en Plan 3

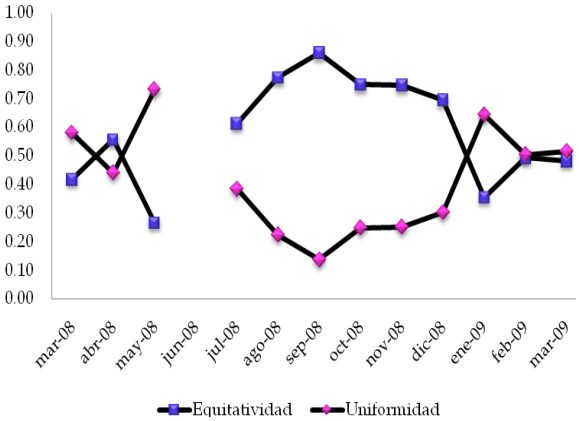

Figura 58: Variación mensual de la equitatividad en Plan 3

Por el lado de la diversidad (Figura 57) fue precisamente en la temporada de lluvias cuando la diversidad fue mayor, así como la equitatividad (Figura 58).

Tabla 20: Jerarquizacion de las especies por dominancia para Plan 3

Raras	A	F %
Achnanthes minutissima	249.3	8.3
Achnanthes ploenencis	249.3	8.3
Caloneis amphisbaena	249.3	8.3
Caloneis sp.	249.3	8.3
Epithemia argus	249.3	8.3
Gomphonema parvulum	249.3	8.3
Navicula peregrina	249.3	8.3
Nitzschia brevissima	249.3	8.3
Synedra gaillonii	249.3	8.3
Chlorella luteoviridis	249.3	8.3
Closterium abruptum	249.3	8.3
Coelastrum sphaericum	249.3	8.3
Crucugeniella pulchra	249.3	8.3
Scenedesmus acuminatus	249.3	8.3
Scenedesmus baculiformis	249.3	8.3
Scenedesmus oahuensis	249.3	8.3
Scenedesmus planktonicus	249.3	8.3
Scenedesmus verrucosus	249.3	8.3
Staurastrum sp.	249.3	8.3
Tetraedron sp.	249.3	8.3
Anabaena sp.	249.3	8.3
Euglena acus	249.3	8.3
Lepocinclis sp.	249.3	8.3
Phacus acuminatus	249.3	8.3
Trachelomonas granulosa	249.3	8.3
Trachelomonas hispida coronata	249.3	8.3
Navicula affinis	498.6	8.3
Rhopalodia sp.	498.6	8.3
Cosmarium ralfsii	498.6	8.3
Kirchneriella aperta	498.6	8.3
Lepocinclis texta	498.6	8.3
Euglena oxyuris	498.6	8.3
Trachelomonas hispida	498.6	8.3
Goniochloris sculpta	498.6	8.3
Gomphonema angustatum	498.6	16.7
Navicula variostriata	498.6	16.7
Pinnularia sp.	498.6	16.7
Nephrocytium limneticum	498.6	16.7
Scenedesmus denticulatus	498.6	16.7
Phacus triqueter	498.6	16.7
Fragilaria sp.	747.9	8.3
Nitzschia sp.	747.9	8.3
Scenedesmus acutus	747.9	8.3
Euglena spirogyra	747.9	8.3
Aulacoseira sp.	747.9	16.7
Cosmarium sp.	747.9	16.7
Pediastrum duplex	747.9	25.0
Scenedesmus armatus	997.2	8.3
Phacus pleuronectes	997.2	8.3
Phacus pusillus	997.2	8.3
Kirchneriella lunaris	997.2	16.7
Staurastrum sp.	997.2	16.7
Gomphonema sp.	997.2	25.0
Scenedesmus obliquusg	997.2	25.0
Chroococcus minutus	1246.5	8.3
Strombomonas acuminatus	1246.5	8.3
Scenedesmus javanensis	1246.5	25.0
Euglena granulata	1495.8	8.3
Pediastrum simplex	1495.8	25.0
Trachelomonas sp	1495.8	25.0
Ocasionales	A	F %
Microcystis aeruginosa	1745.1	25
Tetradriella sp	1745.1	25
Oocystis sp.	1994.4	25.0
Peridinium inconspicuum	1994.4	25.0
Euglena sp.	2243.7	16.7
Euglena guntheri	2493	16.7
Cyclotella sp.	2991.6	8.3
Cosmarium cucumis	2991.6	16.7
Euglena chadefaudii	3240.9	8.3
Euglena splendens	4238.1	25.0
Cosmarium contractum	5733.9	16.7
Scenedesmus quadricauda	7977.6	25.0
Strombomonas sp	13960.8	16.7
Cosmarium connatum	31162.5	8.3
Constantes	A	F %
Tetraedron regulare	1246.5	33.3
Phacus tortus	1495.8	33.3
Dominantes	A	F %
Navicula sp.	2493	41.7
Crucigenia quadrata	2493	50.0
Ankistrodesmus fusiformis	2742.3	41.7
Crucigenia rectangularis irregu	2991.6	33.3
Microcystis flosaquae	2991.6	33.3
Tetraedron caudatum	2991.6	50.0
Cosmarium botrytis	3240.9	41.7
Tetraedron triangulare	3240.9	41.7
Pediastrum tetras	3240.9	58.3
Schroederia robusta	3240.9	58.3
Ankistrodesmus falcatus	3739.5	41.7
Monoraphidium contortum	4238.1	41.7
Microcystis pulverea incerta	4487.4	58.3
Tetrastrum staurogeniaeforme	4736.7	41.7
Phacus sp2	4736.7	41.7
Monoraphidium irregulare	4986	58.3
Scenedesmus falcatus	5235.3	83.3
Phacus sp1	5733.9	58.3
Keratococcus bicaudatus	5983.2	58.3
Tetraedron minimum	6232.5	83.3
Monoraphidium arcuatum	6731.1	58.3
Merismopedia glauca	6980.4	41.7
Scenedesmus bicaudatus	7229.7	66.7
Melosira sp.	7479	58.3
Chroococcus dispersus	10969.2	66.7
Merismopedia tenuissima	12215.7	41.7
Scenedesmus communis	12465	75.0
Crucigenia tetrapedia	14708.7	75.0
Goniochloris mutica	20442.6	91.7
Scenedesmus brasiliensis	22187.7	91.7
Anabaenopsis elenkenii	33156.9	41.7
Kirchneriella obesa	141353.1	66.7
Chlorococcum infusionum	160050.6	100.0
Anabaena spiroides	162294.3	66.7
Kirchneriella irregularis	649925.1	75.0

Para jerarquizar la dominancia de las especies se construyó el diagrama de Olmstead-Tuckey (Figura 59) donde de un total de 111 especies registradas en este sistema 54% fueron especies raras, el 13% fueron ocasionales, el 1% fueron constantes y el 32% fueron dominantes, como se puede observar los porcentajes mayores se encontraron en los extremos. Para que esta jerarquización sea más clara se anexó la Tabla 20, donde se desglosan las especies que comprenden cada clasificación, con su abundancia (A) y frecuencia de aparición (F %) en porcentaje.

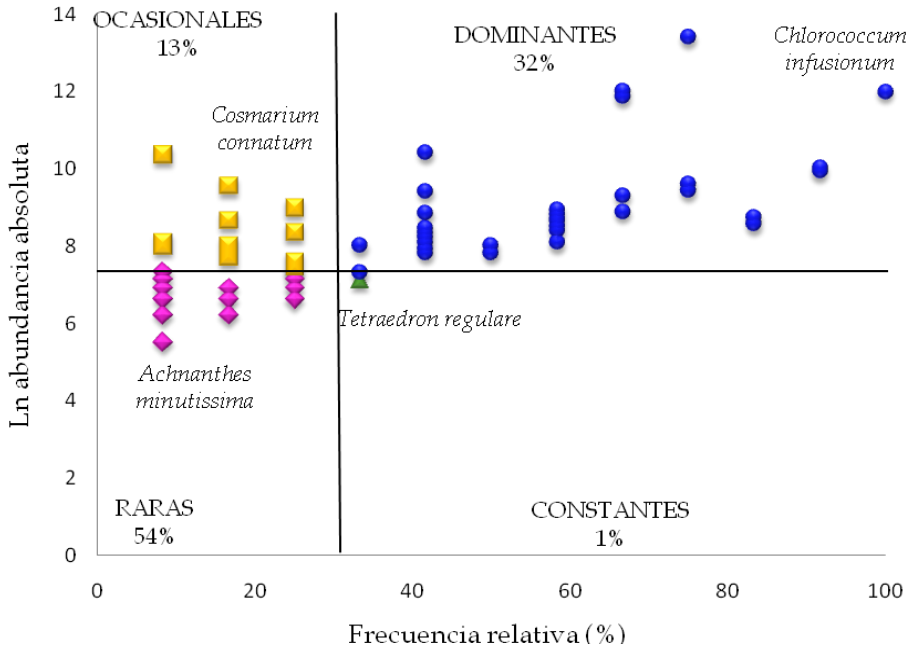

Figura 59: Diagrama de Olmstead-Tuckey para Plan 3

7.3.4. Índice de Estado Trófico

Con base a la separación de los meses que se obtuvo a partir del dendograma (Figura 62) se calculó el índice de estado trófico de Carlson (IET) con los resultados que se presentan en la Tabla 21. Este sistema temporal se clasificó como hipereutrófico a lo largo del año.

Tabla 21: Índice del estado trófico para el Plan 3

Temporada	(IET) PT	(IET) DS	(IET) Chl	IET Promedio	Estado Trófico
Secas cálidas	105.64	77.35	77.60	89.95	Hipereutrófico
Lluvias	97.42	79.74	55.07	76.92	Hipereutrófico
Secas frías	103.29	92.48	74.06	91.73	Hipereutrófico

7.3.5. Análisis estadístico

7.3.5.1. Comparación entre niveles de profundidad

A los parámetros evaluados para Plan 3 se les realizó una comparación de varianzas encontrándose en 5 casos diferencias entre estas, determinándose pues el empleo del método de Mann-Whitney en los siguientes casos: amonio (f=7.93175; p=0.0332186< 0.05), conductividad (f=21.723; p=0.00326166< 0.05), clorofila "a" (f=95.082; p=0.0000891052< 0.05), abundancia del fitoplancton (f=52.226; p=0.00165393< 0.05) y equitatividad (f=17.9765; p= 0.013098<0.05).

Todos los parámetros evaluados para este Plan presentaron igualdad estadística entre los niveles de profundidad, excepto el pH (t=-4.04968; p=0.000929731).

7.3.5.2. Comparación entre meses

Al comparar los parámetros evaluados para este sistema entre meses se aplico la prueba no paramétrica Kruskal Wallis, pues al comparar las varianzas (método de Levene) de cada uno de los parámetros el valor-p fue menor a 0.05.

Los resultados fueron: profundidad máxima (H=17.0; p=0.107876), transparencia (H=17.0; p=0.107876), área (H=17.0; p=0.107876), temperatura ambiente (H=17.0; p=0.107876), temperatura de agua (H=14.8069; p=0.19151), oxígeno disuelto (H=8.09607; p=0.704673), DBO (H=16.4386; p=0.125613), conductividad (H=16.0135; p= 0.140632), pH (H=13.2154; p=0.279481), SDT (H=16.8769; p=0.111569), sólidos totales (H=12.7368; p=0.310873), dureza total (H=15.2789; p=0.17008), dureza de calcio (H=16.7978; p=0.114), alcalinidad total (H=16.3841; p=0.127461), nitritos (H=10.4933; p=0.486636), nitratos (H=16.4462; p=0.125357), amonio (H=14.9123; p=0.186548), fósforo total (H=13.2982; p=0.27428), ortofosfatos (H=13.7018; p=0.249938), silicatos (H=16.7451; p=0.115645), sulfatos (H=16.4737; p=0.124437), clorofila "a" (H=17.0; p=0.107876), abundancia del fitoplancton (H=15.9474; p=0.143096) y equitatividad (H= 15.5965; p= 0.156784), de modo que no se encontró diferencia estadísticamente significativa entre los meses.

Sin embargo, al igual que en el caso de Plan 1 al observar el comportamiento de los datos gráficamente la diferencia entre los meses son evidentes, por lo que se consideró que la robustez de esta prueba, no refleja el comportamiento de los parámetros.

7.3.5.3. Correlaciones

Tabla 22: Correlaciones de las variables físicas químicas y biológicas para el Plan 3

Variables	Valor-P	R	Variables	Valor-P	R
Dureza total y Dureza de calcio	0.0000	0.9755	Temperatura y Área	0.0101	-0.7074
SDT y Área	0.0000	-0.9283	Nitritos y Temperatura	0.0105	0.7074
Z y Área	0.0000	0.9247	pH y Área	0.0106	-0.7043
Temperatura y T del agua	0.0001	0.8898	Silicatos y Equitatividad	0.0131	0.6893
Abundancia y Equitatividad	0.0002	-0.8762	Temperatura y SDT	0.0139	0.6855
Z y SDT	0.0002	-0.8755	T agua y Área	0.0146	-0.6816
Z y Equitatividad	0.0004	0.8555	Z y Precipitación	0.0159	0.6755
Z y pH	0.0004	-0.8520	Z y Clorofila “a”	0.0167	-0.6717
Amonio y pH	0.0005	0.8452	Clorofila “a” y Equitatividad	0.0169	-0.6710
Amonio y T amb	0.0006	0.8441	Temperatura y Alcalinidad total	0.0175	0.6683
Fósforo total y Clorofila “a”	0.0006	0.8394	SDT y pH	0.0182	0.6656
Silicatos y SDT	0.0008	-0.8337	Fósforo total y Nitritos	0.0218	0.6514
Amonio y Equitatividad	0.0011	-0.8182	Transparencia y Alcalinidad total	0.0226	0.6482
Silicatos y Z	0.0012	0.8148	T amb y pH	0.0228	0.6475
Nitritos y Área	0.0014	-0.8097	Temperatura y Sólidos totales	0.0237	0.6443
Silicatos y Área	0.0015	0.8072	Nitritos y Sólidos totales	0.0244	0.6419
Conductividad y SDT	0.0016	0.8050	Nitritos y Z	0.0245	-0.6418
Silicatos y T del agua	0.0022	-0.7914	Conductividad y Área	0.0247	-0.6411
Silicatos y Temperatura	0.0023	-0.7886	SDT y Clorofila “a”	0.0252	0.6395
Nitritos y Clorofila “a”	0.0031	0.7747	Alcalinidad total y Área	0.0256	-0.6380
Clorofila “a” y Área	0.0033	-0.7720	Sólidos totales y Área	0.0260	-0.6367
pH y Abundancia	0.0040	0.7617	T del agua y pH	0.0260	0.6366
Amonio y Z	0.0043	-0.7575	Temperatura y Oxígeno	0.0285	0.6287
T agua y Alcalinidad total	0.0046	0.7536	Sulfatos y Dureza total	0.0287	0.6282
Z y Abundancia	0.0050	-0.7492	Nitritos y Silicatos	0.0288	-0.6279
pH y Equitatividad	0.0055	-0.7442	Amonio y Clorofila “a”	0.0301	0.6240
Nitritos y Nitratos	0.0057	0.7423	Clorofila “a” y abundancia	0.0308	0.6221
T del agua y SDT	0.0058	0.7415	Precipitación y Equitatividad	0.0359	0.6082
Silicatos y Conductividad	0.0059	-0.7398	Silicatos y Amonio	0.0403	-0.5972
Oxígeno y Sólidos totales	0.0072	0.7287	Silicatos y Alcalinidad total	0.0404	-0.5969
Temperatura y Conductividad	0.0078	0.7240	Z y T del agua	0.0409	-0.5958
T del agua y Conductividad	0.0078	0.7240	SDT y Alcalinidad total	0.0411	0.5955
Amonio y Abundancia	0.0078	0.7238	Ortofosfatos y Fósforo total	0.0432	0.5906
Nitritos y SDT	0.0083	0.7197	Amonio y Área	0.0440	-0.5889
Ortofosfatos y Alcalinidad total	0.0083	-0.7196	Ortofosfatos y Transparencia	0.0446	-0.5875
SDT y Equitatividad	0.0086	-0,7176	Nitritos y T del agua	0.0453	0.5860
Área y Equitatividad	0.0091	0.7142	Precipitación y Abundancia	0.0454	-0.5857
Silicatos y pH	0.0096	-0.7105	Z y T ambiente	0.0474	-0.5813
Sulfatos y Dureza de calcio	0.0099	0.7085	Área y Abundancia	0.0484	-0.5792

La Tabla 22 muestra los pares de variables que con la prueba de Pearson mostraron correlaciones significativas, los parámetros se encuentran ordenados de mayor a menor correlación, donde las durezas son el par de variables que presentaron mayor correlación. La abundancia del fitoplancton tuvo para este sistema la correlación más alta con la Equitatividad y después con el pH; la clorofila “a” con el fósforo total y los nitritos y la equitatividad con la profundidad máxima y el amonio.

7.3.5.4. Análisis Multivariado

El análisis de componentes principales (ACP) se empleo para determinar cuales fueron los parámetros que explicaron la mayor variabilidad en los datos de Plan 3, así como para reducir la dimensionalidad de las mismas y como se puede observar en la Tabla 23 de 25 componentes originales con 6 es posible describir el 92.186% de la dinámica.

Tabla 23: Análisis de Componentes Principales para Plan 3

Componente Número	Eigenvalor	Porcentaje de Varianza	Porcentaje Acumulado	Componente Número	Eigenvalor	Porcentaje de Varianza	Porcentaje Acumulado
1	9.95483	39.819	39.819	14	4.2731E-16	0.000	100.000
2	4.7062	18.825	58.644	15	3.07923E-16	0.000	100.000
3	3.23266	12.931	71.575	16	2.1366E-16	0.000	100.000
4	2.41817	9.673	81.247	17	0.0	0.000	100.000
5	1.43919	5.757	87.004	18	0.0	0.000	100.000
6	**1.29545**	**5.182**	**92.186**	19	0.0	0.000	100.000
7	0.730128	2.921	95.106	20	0.0	0.000	100.000
8	0.523556	2.094	97.201	21	0.0	0.000	100.000
9	0.363921	1.456	98.656	22	0.0	0.000	100.000
10	0.240508	0.962	99.618	23	0.0	0.000	100.000
11	0.0953976	0.382	100.000	24	0.0	0.000	100.000
12	5.0648E-16	0.000	100.000	25	0.0	0.000	100.000
13	4.35502E-16	0.000	100.000				

En la Tabla 24 se muestran los pesos de los componentes donde se aprecia que el componente que en el componente que explica en un 39.819% la variabilidad de los datos están el área, la profundidad máxima y los sólidos disueltos totales, en el segundo componente están las durezas y el oxígeno disuelto, los cuales explican el 18.825%, seguidos en el tercer componente que explica el 12.931%, constituido por la transparencia, el fósforo total, los nitratos y la alcalinidad total, en el cuarto componente y explicando el 9.673% están los sulfatos, la precipitación y la temperatura medias de Tlayacapan, el componente 5 explica el 5.757% y está compuesto por el DBO y conductividad, y por último el componente que explica el 5.182% está compuesto por la temperatura ambiente, ortofosfatos y amonio. Por lo que se considera que estos 18 parámetros son los que explicaron el comportamiento del sistema.

En la Figura 60 los componentes están divididos en cuatro cuadrantes, en el cuadrante superior derecho se encuentran los parámetros biológicos (la abundancia del fitoplancton y la clorofila "a") y algunos nutrientes (sulfatos, amonio y fósforo total). En el cuadrante inferior derecho se localizan el resto de los nutrientes, la transparencia, el oxígeno y el DBO, el SDT, sólidos totales y la alcalinidad total.

Tabla 24: Tabla de Pesos de los Componentes de Plan 3

Variables	*Componente*	*Componente*	*Componente*	*Componente*	*Componente*	*Componente*
	1	2	3	4	5	6
Nitritos	0.260837	-0.0803948	-0.186526	0.134646	-0.202323	-0.135476
Nitratos	0.163993	-0.129764	**-0.36105**	-0.0602057	-0.00485799	-0.110383
Ortofosfatos	-0.0355954	0.230959	-0.276421	0.281193	0.246072	**0.345099**
Silicatos	-0.283453	0.039382	-0.0856133	-0.0408815	-0.20245	-0.201157
Sulfatos	0.0157772	0.297344	0.081265	**0.326098**	0.0646281	-0.128951
Amonio	0.208729	0.203334	-0.0188298	-0.278354	-0.0674424	**0.351207**
Fósforo total	0.189763	0.175015	**-0.304672**	0.23443	-0.0452612	0.129917
Z	**-0.291276**	-0.0690739	-0.00357974	0.195241	-0.126616	0.0683573
Área	**-0.303508**	0.038316	0.0358609	0.0639035	-0.0538887	0.110946
Precipitación	-0.119285	-0.109898	0.0246279	**0.42193**	-0.194225	0.330763
Temperatura	0.251132	-0.0844885	0.135725	**0.322122**	-0.0628702	0.1021
T amb	0.178865	0.0873905	0.105347	-0.252161	-0.290711	**0.461609**
T agua	0.252528	-0.0386136	0.233316	0.189758	-0.0271166	0.0142554
Transparencia	0.0419462	-0.325423	**0.333591**	-0.0782134	-0.00502891	0.157558
Conductividad	0.207291	-0.112969	0.0544677	0.26414	**0.420443**	-0.181702
SDT	**0.291691**	-0.0537068	-0.0259665	-0.0171971	0.190562	-0.17069
pH	0.243259	0.230583	0.156173	-0.140296	0.0954529	0.0711757
Oxígeno	0.134491	**-0.341391**	-0.0558947	0.208212	0.0423883	0.180141
DBO	0.0563418	-0.140602	-0.300631	0.03752	**-0.498**	-0.256958
Sol tot	0.200661	-0.278197	-0.0162145	0.00219305	-0.140144	0.131122
Dureza total	0.0629257	**0.338861**	0.255721	0.149716	-0.258618	-0.11688
Dureza de calcio	0.0342653	**0.335197**	0.274283	0.209966	-0.2238	-0.146481
Alc tot	0.203931	-0.150451	**0.335431**	-0.0435107	-0.15164	-0.22836
Clorofila “a”	0.238925	0.0984655	-0.237103	0.0234199	-0.239451	-0.00814281
Abundancia	0.198221	0.280878	-0.151765	-0.159904	0.109114	-0.0889396

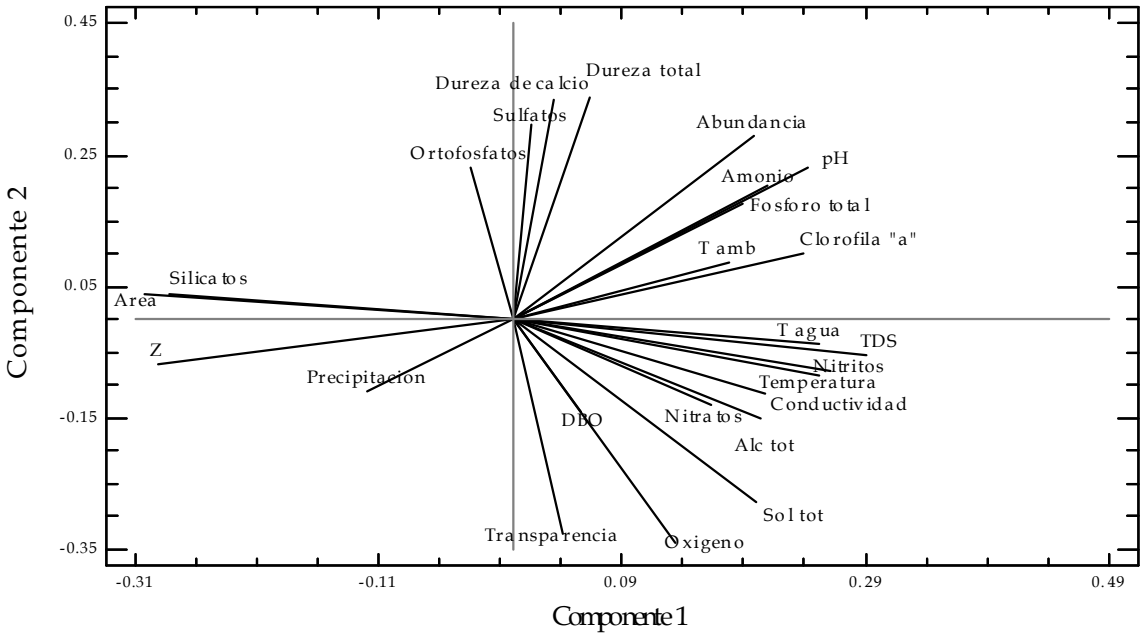

Figura 60: Representación grafica de los componentes para el Plan 3

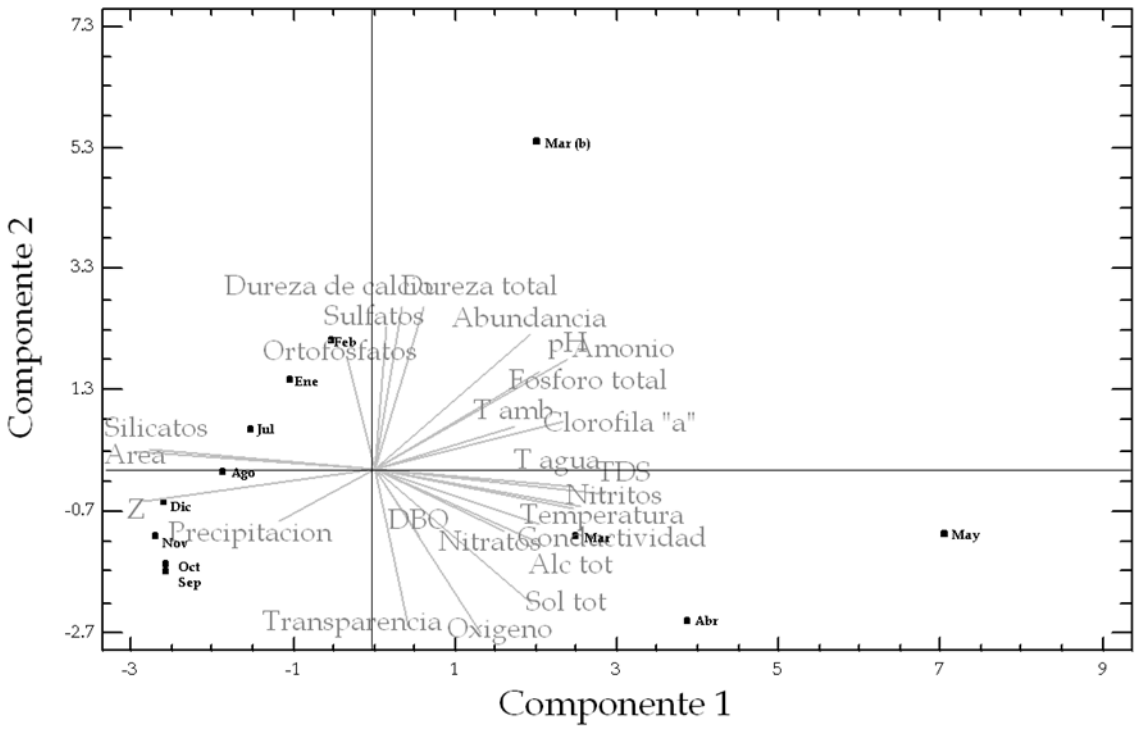

Figura 61: Comportamiento de las variables y los meses de monitoreo para Plan 3

La Figura 61 presenta los parámetros que definieron el comportamiento del sistema en los distintos muestreos, donde se observa que la mayoría de los parámetros se aglutinan en los cuadrantes de la derecha y ahí solo están concentrados 4 muestreos que pertenecieron a la temporada de secas cálidas, mientras que los cuadrantes de la izquierda concentran solo cuatro parámetros: profundidad máxima, área, precipitación y silicatos, en estos cuadrantes se ubican el resto de los meses, pero es con el empleo del dendograma, en la Figura 62 que se aclaran los grupos.

En este caso se forman 2 grupos: el primero lo conforman los meses pertenecientes a la temporada de secas cálidas, que son los que están dispersos en el cuadrante derecho de la grafica de componentes principales; el segundo grupo está formado por los meses de las temporadas de lluvias y de secas frías, el cual se definió por solo los 4 factores que se muestran en la Figura 61.

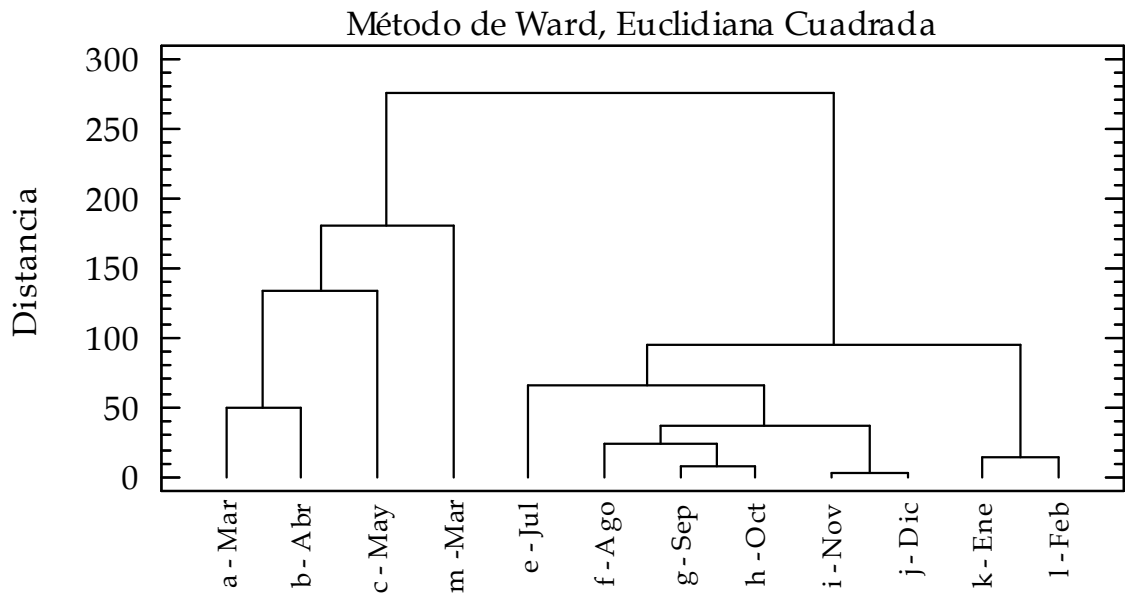

Figura 62: Dendograma que muestra la asociación de los meses de muestreo para Plan 3

7.4. PLAN 4

7.4.1. Morfometría

El Plan 4 es un sistema permanente, sin embargo, también fue afectado por la evaporación, presentándose en Mayo su mínimo perímetro como se muestra en la Tabla 25 y en la Figura 64, mientras que su máximo perímetro lo exhibió en el mes de Agosto, no hay fotos de ese mes, sin embargo otro mes de la temporada de lluvias fue Septiembre, del cual se presenta la Figura 63.

Figura 63: Vista panorámica del Plan 4 en Septiembre de 2008

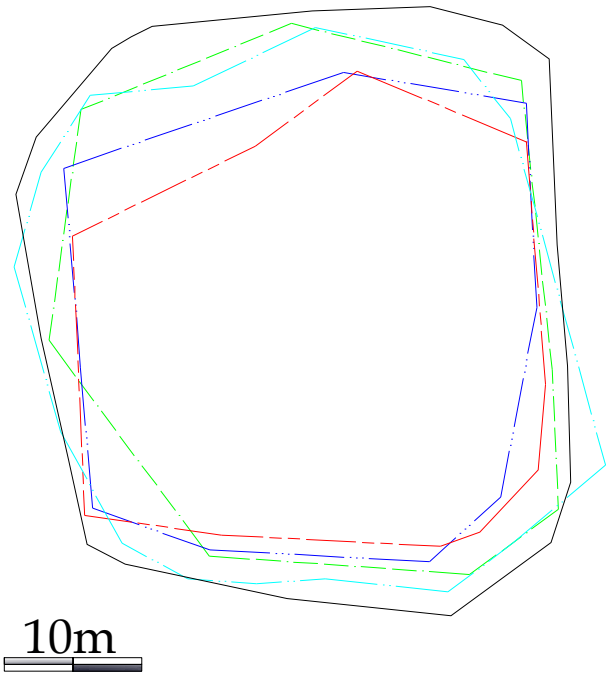

Figura 64: Variación del área superficial del Plan 4 a lo largo del estudio

Tabla 25: Datos morfométricos del Plan 4

Mes	Perímetro	Área	Línea
Marzo	128.4113	1183.3917	
Abril	120.6099	1024.5368	
Mayo	116.7445	946.449544	
Agosto	143.5486	1503.2871	
Enero	134.5086	1325.2518	

7.4.2. Factores físico- químico-biológicos

El Plan 4, presentó valores adecuados de oxígeno. En cuanto a la dureza el sistema se clasificó como suave. En la temporada de secas cálidas la mayoría de los parámetros presentaron la mayor concentración de los factores de carácter edáfico, los nitratos y nitritos, los sulfatos, así como la clorofila y la abundancia del fitoplancton, por el efecto de la concentración debida a la evaporación. En la temporada de lluvias las concentraciones más altas las presentaron los ortofosfatos y el fósforo total debido al arrastre del nutriente consecuencia de las lluvias. En tanto que en la temporada de secas frías la concentración del DBO, los silicatos y amonio fue la más alta en promedio (Tabla 26)

Tabla 26: Promedio de los parámetros de Plan 4 por temporadas

	Estación		
Parámetro	Secas cálidas	Lluvias	Secas Frías
Profundidad máxima (m)	0.58	1.73	1.26
Área (m²)	1020.17	1514.14	1343.81
Transparencia (m)	0.11	0.37	0.20
Temperatura ambiente (°C)	26.50	23.55	23.20
Temperatura del agua (°C)	26.94	23.95	19.44
Oxígeno disuelto (mg/L)	5.15	5.13	4.46
DBO (mg/L)	59.84	62.07	67.95
Conductividad (Sm-1)	456.80	287.63	207.70
pH	8.88	8.15	8.27
Alcalinidad Total (mg/L)	154.09	75.91	71.40
Dureza de Calcio (mg/L)	14.67	12.17	4.04
Dureza Total (mg/L)	54.18	43.42	23.00
Sólidos totales (mg/L)	1651.80	1483.13	497.62
SDT (mg/L)	218.00	135.88	155.88
Nitratos (mg/L)	0.24	0.17	0.33
Nitritos (mg/L)	0.0133	0.0016	0.0030
Amonio (mg/L)	0.19	0.13	0.26
Fósforo Total (mg/L)	0.91	0.9	0.92
Ortofosfatos (mg/L)	0.194	0.576	0.353
Silicatos (mg/L)	17.42	35.13	38.08
Sulfatos (mg/L)	57.00	23.03	19.05
Clorofila "a" (µg/L)	137.08	13.45	22.28
Abundancia (ind/ml)	133 774.38	39 171.26	64 818.00

En cuanto al oxígeno y el pH (Figura 65) estos presentaron valores regulares a lo largo de todo el año; la transparencia (Figura 66) aumentó considerablemente con el aumento de la profundidad máxima.

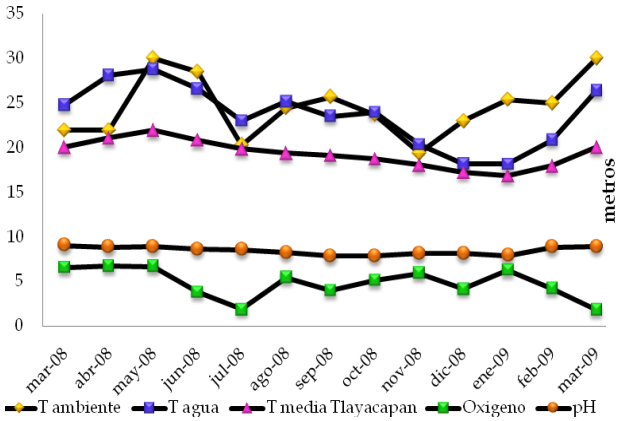

Figura 65: Variación mensual de las temperaturas (°C), oxígeno (mg/L) y pH en Plan 4

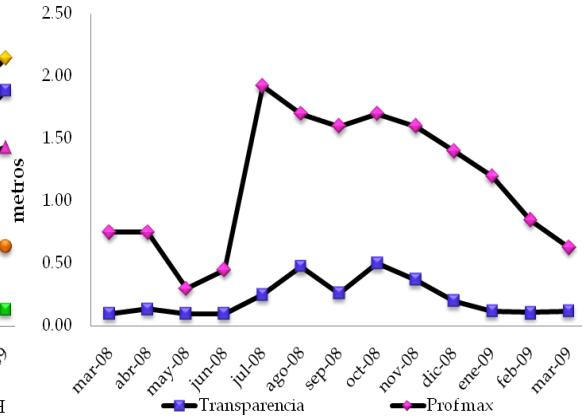

Figura 66: Variación mensual de la transparencia y profundidad máxima en Plan 4

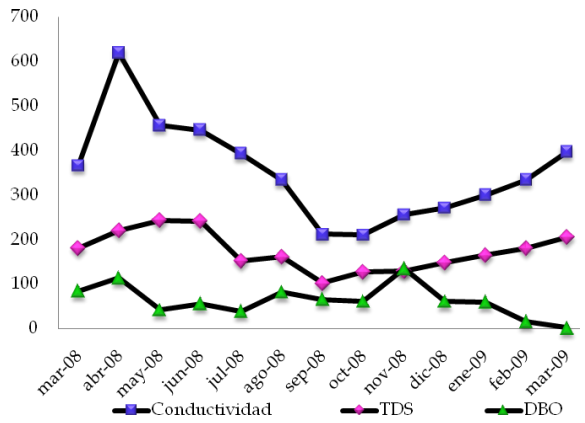

Figura 67: Variación mensual del DBO (mg/L), SDT(mg/L) y conductividad (S/m) en Plan 4

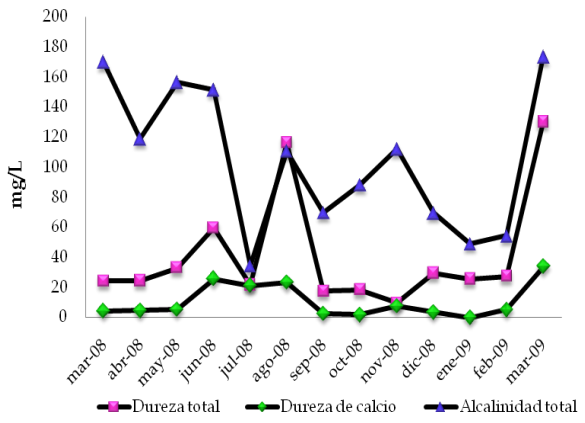

Figura 68: Variación mensual de la Dureza total, de calcio y la alcalinidad total en Plan 4

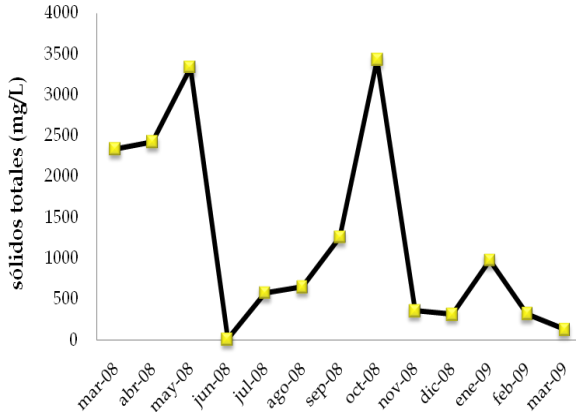

Figura 69: Variación mensual de los sólidos totales en Plan 4

Los parámetros de carácter edáfico, la conductividad y los SDT (Figura 67) presentaron sus valores más altos en las temporadas de secas y los más bajos en la temporada de lluvias; las concentraciones de las durezas (Figura 68) fueron las más bajas de los cuatro sistemas, de hecho fue este sistema el único que se clasificó a lo largo de todo el año como de aguas suaves pues como se puede notar su concentración es baja; mientras que los sólidos totales (Figura 69) presentaron dos picos de cerca de los 3500 mg/L en Mayo y Octubre.

Tanto el fósforo total, como los ortofosfatos y la clorofila "a" (Figura 70), presentaron sus valores más altos en la temporada de secas cálidas, y los más bajos en la de lluvias, esto debido a la concentracion de estos, resultado de la evaporación, al igual que el amonio (Figura 71) y los sulfatos (Figura 72).

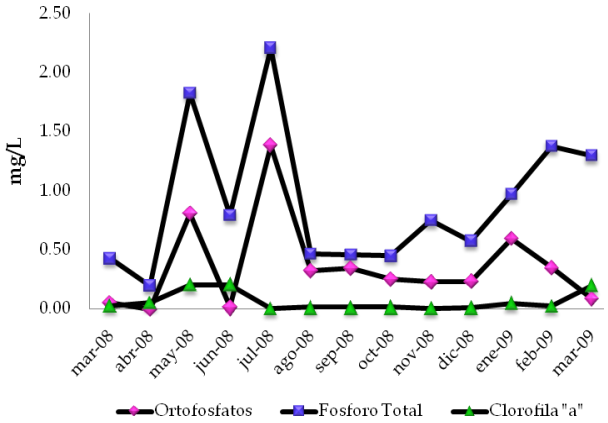

Figura 70: Variación mensual del fósforo total, ortofosfatos y Clorofila "a" en Plan 4

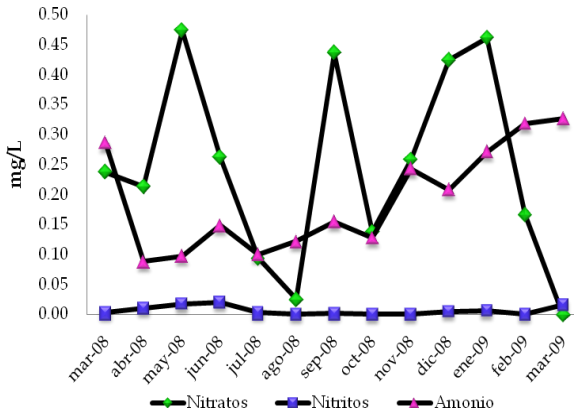

Figura 71: Variación mensual de los nitratos, nitritos y amonio en Plan 4

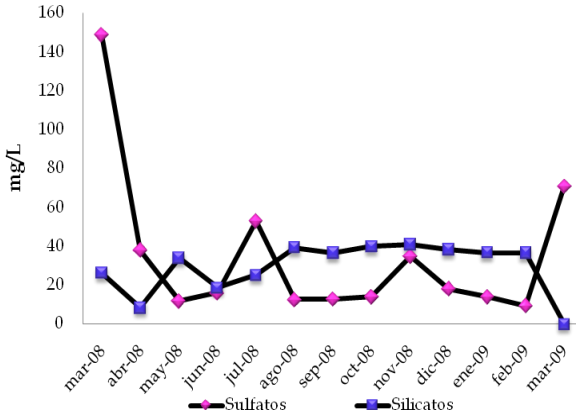

Figura 72: Variación mensual de los sulfatos y silicatos en Plan 4

Los silicatos presentaron sus valores mas altos en la temporada de lluvias. Este elemento en los sistemas por efecto del acarreo de material por el agua de lluvia.

7.4.3. Fitoplancton

En cuanto a la abundancia fue en la temporada de secas cálidas que se registró la mayor abundancia, la menor en temporada de lluvias, en tanto que en secas frías la abundancia presentó una especie de recuperación.

En cuanto a las divisiones la Chlorophyta fue la más abundante en las tres temporadas con un porcentaje de 82.3 en secas cálidas (Figura 74) 82.4, en lluvias (Figura 75) y de 81.2 en secas frías (Figura 76), Xanthophyta fue la segunda división en abundancia en secas con un porcentaje de 6.2 fue, el cuarto lugar en lluvias con 2.8 y tercer lugar en secas frías con 5.3%.

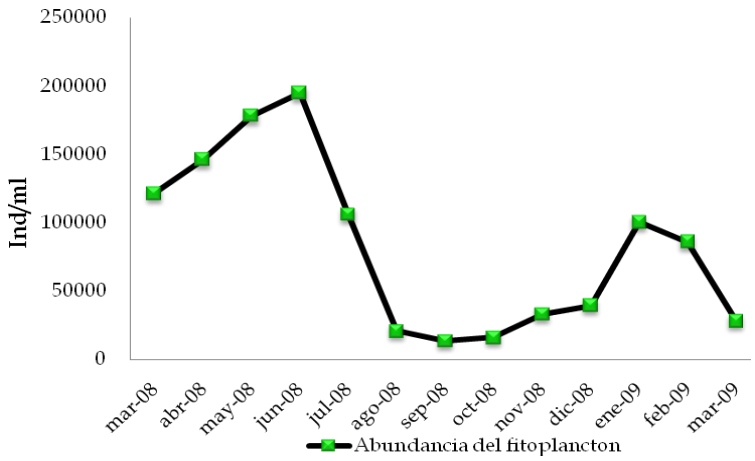

Figura 73: Variación mensual de la abundancia del fitoplancton en Plan 4

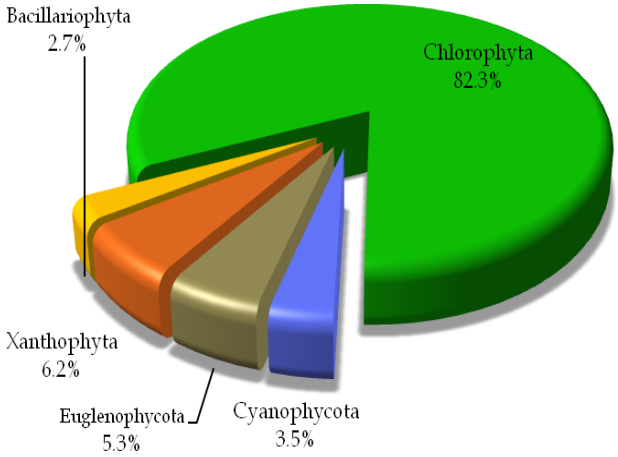

Figura 74: Porcentaje de las divisiones en temporada de secas cálidas de Plan 4

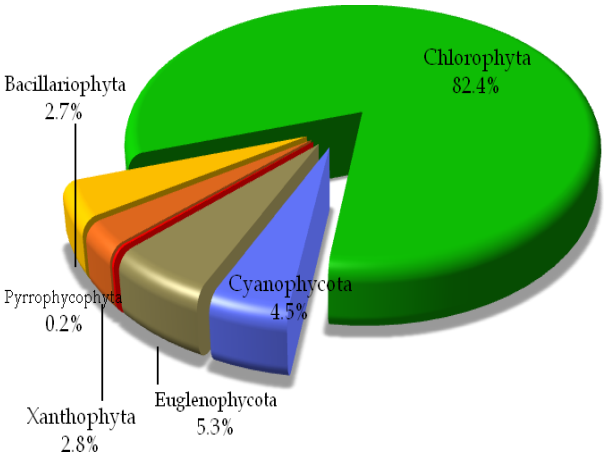

Figura 75: Porcentaje de las divisiones en temporada de lluvias de Plan 4

En cuanto a Euglenophycota durante las tres temporadas presento un 5.3% y se ubicó en el tercer lugar en las temporadas de secas y en segundo en la de lluvias, la Cyanophycota en secas cálidas representó el 3.5% teniendo el cuarto lugar en abundancia, en lluvias el 4.5 ubicándose en tercer lugar y en secas frías un 8.7 colocándose en segundo lugar en abundancia, en cuanto a la Bacillariophyta en las tres temporadas concentró el 2.7% y se ubica en quinto lugar en abundancia, por último la Pyrrophycophyta con un 0.2% en lluvias y secas frías ocupa el sexto lugar.

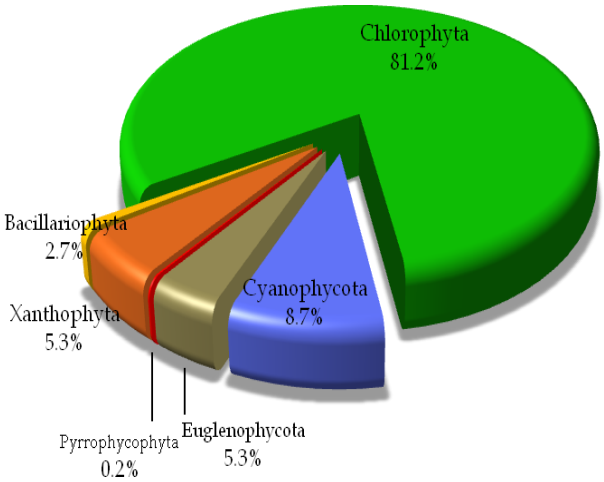

Figura 76: Porcentaje de las divisiones en temporada de secas frías de Plan 4

La diversidad (Figura 77) mas alta se ubicó en la temporada de lluvias, asi como la equitatividad (Figura 78).

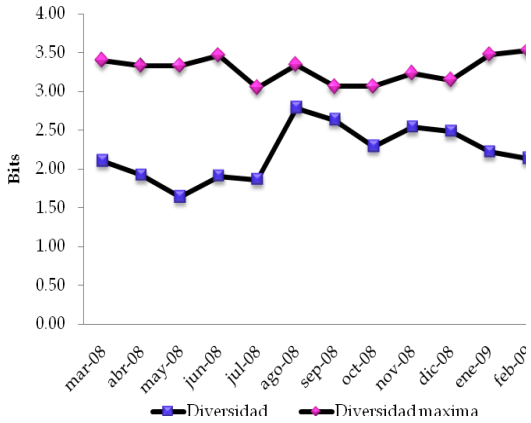

Figura 77: Variación mensual de la diversidad α en Plan

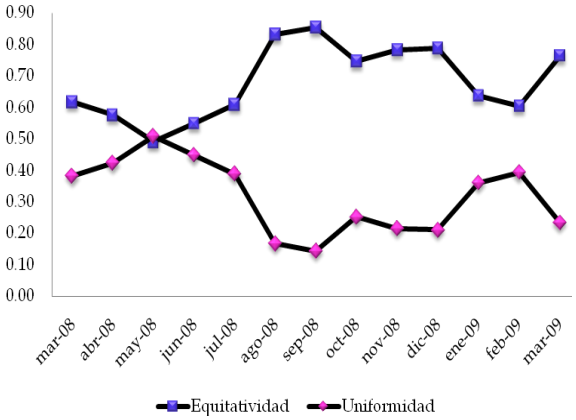

Figura 78: Variación mensual de la equitatividad en Plan 4

El diagrama de Olmstead-Tuckey (Figura 79) mostró que de un total de 112 especies registradas en este sistema, el 53% fueron especies raras y el 35% fueron especies dominantes, es decir los porcentajes mayores se encontraron en los extremos. Mientras que las ocasionales ocuparon el 9% y las constantes el 3%. Se anexa la Tabla 27, donde están las especies que comprenden cada clasificación, con su abundancia (A) y frecuencia de aparición (F %) en porcentaje.

Tabla 27: Jerarquizacion de las especies por dominancia para Plan 4

Raras	A	F %
Cyclotella sp.	249.3	7.7
Epithemia argus	249.3	7.7
Epithemia sp.	249.3	7.7
Gomphonema sp.	249.3	7.7
Cosmarium biretum	249.3	7.7
Cosmarium subcrenatum	249.3	7.7
Monoraphidium minutum	249.3	7.7
Scendesmus caudato- aculeolatus	249.3	7.7
Scenedesmus acutus	249.3	7.7
Scenedesmus baculiformi	249.3	7.7
Scenedesmus longus ellipticus	249.3	7.7
Scenedesmus obtusus	249.3	7.7
Scenedesmus smithi	249.3	7.7
Scnedesmus opoliensis	249.3	7.7
Tetraedron incus	249.3	7.7
Tetraedron sp.	249.3	7.7
Treubaria setigera	249.3	7.7
Xanthidium antilopaeum	249.3	7.7
Anabaena affinis	249.3	7.7
Anabaena solitaria	249.3	7.7
Anabaena sp.	249.3	7.7
Oscillatoria tenerrima	249.3	7.7
Euglena exilis	249.3	7.7
Euglena granulata	249.3	7.7
Euglena oxyuris	249.3	7.7
Phacus acuminatus	249.3	7.7
Phacus caudatus	249.3	7.7
Phacus orbicularis	249.3	7.7
Phacus pleuronectes	249.3	7.7
Trachelmonas manginii	249.3	7.7
Cymbella cistula var. maculata	498.6	7.7
Gomphonema angustatum	498.6	7.7
Nitzschia sp.	498.6	7.7
Cosmarium meneghinii	498.6	7.7
Crucugeniella pulchra	498.6	7.7
Oocystis apiculata	498.6	7.7
Chroococcus sp.	498.6	7.7
Euglena chlamydophora	498.6	7.7
Stephanodiscus sp.	498.6	15.4
Pediastrum simplex var simplex	498.6	15.4
Scenedesmus acuminatus	498.6	15.4
Strombomonas acuminatus	498.6	15.4
Peridinium inconspicuum	498.6	15.4
Cosmarium quinarium	747.9	7.7
Lepocinclis sp.	747.9	7.7
Ankistrodesmus fusiformis	747.9	15.4
Coelastrum sphaericum	747.9	15.4
Scenedesmus armatus	747.9	15.4
Selanastrum gracile	747.9	15.4
Anabaenopsis elenkenii	747.9	15.4
Staurastrum sp.	747.9	15.4
Scenedesmus javanensis	997.2	15.4
Cosmarium contractum	1246.5	7.7
Scenedesmus verrucosus	1246.5	15.4
Fragilaria capucina	1246.5	23.1
Nephrocytium limneticum	1246.5	23.1
Tetraedron regulare	1246.5	23.1
Tetraedron triangulare	1246.5	23.1
Chroococcus varius	1495.8	7.7
Eunotia sp.	1495.8	15.4
Crucigenia irregularis	2243.7	23.1
Microcystis aeruginosa	2742.3	23.1
Ocasionales	**A**	**F %**
Scenedesmus quadricauda	3240.9	23.1
Kirchneriella lunaris	4487.4	23.1
Cosmarium pseudopyramidatum	4986	7.7
Spirulina gleiteri	5235.3	7.7
Trachelomonas granulosa	5235.3	15.4
Ophiocytium sp.	12465	7.7
Cosmarium pseudoconnatum	27423	15.4
Cosmarium connatum	38392.2	15.4
Constantes	**A**	**F %**
Pediastrum duplex	1246.5	38.5
Cosmarium botrytis	1745.1	38.5
Euglena splendens	1745.1	38.5
Dominantes	**A**	**F %**
Monoraphidium arcuatum	1994.4	53.8
Navicula sp.	2742.3	38.5
Pediastrum simplex	2742.3	38.5
Melosira sp.	3240.9	53.8
Crucigenia quadrata	3240.9	53.8
Phacus pusillus	3490.2	38.5
Tetraedron caudatum	3490.2	53.8
Crucigenia rectangularis irregula	3988.8	38.5
Strombomonas sp.	3988.8	38.5
Anabaena spiroides	4736.7	30.8
Monoraphidium contortum	4986	38.5
Monoraphidium irregulare	4986	53.8
Merismopedia glauca	5235.3	30.8
Tetraedron minimum	5235.3	76.9
Euglena sp.	5484.6	38.5
Phacus sp1	5733.9	46.2
Microcystis flosaquae	6232.5	38.5
Phacus sp2	6232.5	46.2
Tetrastrum staurogeniaeforme	6481.8	46.2
Pediastrum tetras	6481.8	76.9
Microcystis pulverea incerta	7479	53.8
Scenedesmus falcatus	7479	84.6
Cosmarium cucumis	10221.3	38.5
Oocystis sp.	10719.9	30.8
Trachelomonas sp.	11717.1	38.5
Chroococcus dispersus	16204.5	84.6
Scenedesmus bicaudatus	17451	69.2
Merismopedia tenuissima	19196.1	61.5
Cosmarium sp.	20193.3	30.8
Scenedesmus communis	22437	84.6
Crucigenia tetrapedia	23932.8	76.9
Keratococcus bicaudatus	34902	53.8
Scenedesmus brasiliensis	40137.3	100.0
Goniochloris mutica	41383.8	100.0
Schroederia robusta	61826.4	46.2
Kirchneriella irregularis	65067.3	61.5
Ankistrodesmus falcatus	94983.3	100.0
Chlorococcum infusionum	279465.3	100.0
Kirchneriella obesa	396636.3	92.3

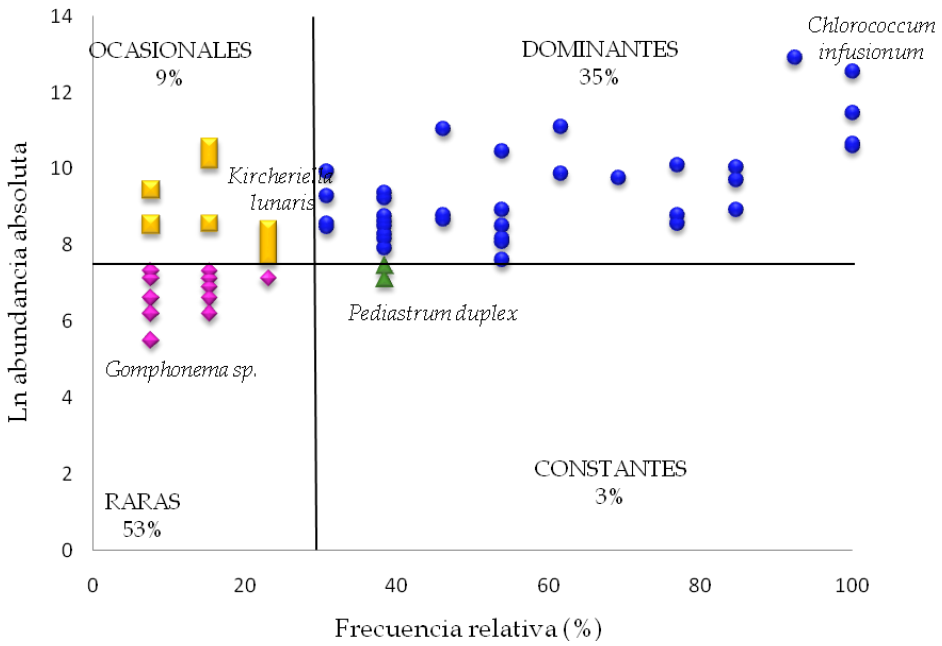

Figura 79: Diagrama de Olmstead-Tuckey para Plan 4

7.4.4. Índice de Estado Trófico

En base a la separación de los meses que se obtuvo a partir del dendograma (Figura 82) se calculó el índice de estado trófico de Carlson (IET) con los resultados que se presentan en la Tabla 28, este sistema permanente se clasificó como hipereutrófico a lo largo de todo el año.

Tabla 28: Índice del estado trófico para el Plan 4

Temporada	(IET) PT	(IET) DS	(IET) Chl	IET Promedio	Estado Trófico
Secas cálidas	102.38	91.68	78.87	93.62	Hipereutrófico
Lluvias	102.18	74.25	56.09	82.81	Hipereutrófico
Secas frías	102.53	83.19	61.05	83.70	Hipereutrófico

7.4.5. Análisis Estadístico

7.4.5.1. Comparación entre niveles de profundidad

En el caso de Plan 4 los parámetros que requirieron del empleo del método de Mann-Whitney fueron: silicatos (f=7.31525; p=0.0229756< 0.05), sulfatos (f=8.75749; p=0.0143674< 0.05), conductividad (f=21.8903; p=0.00114645< 0.05), ortofosfatos (f=0.253625; p=

0.0413323<0.05) y clorofila "a" (f=29.3324; p=0.000495044< 0.05).

Todos los parámetros evaluados para este Plan presentaron igualdad estadística entre los niveles, pues los resultados obtenidos fueron similares utilizando pruebas paramétrica (t-student) y no paramétrica (U de Mann-Whitney), excepto de nuevo el pH (t=5.67149; p=0.0000222378).

7.4.5.2. Comparación entre meses

Al comparar los parámetros evaluados para este sistema entre meses se aplicó la prueba no paramétrica Kruskal Wallis, pues al comparar las varianzas de cada uno de los parámetros el valor-p de las mismas fue mayor a 0.05 al igual que para Plan 1 y 3.

Los resultados del Kruskal Wallis fueron: profundidad máxima (H=19.0; p=0.0885285> 0.05), Transparencia (H=18.9856; p=0.0888772> 0.05), área (H=19.0; p=0.0885285> 0.05), temperatura ambiente (H=19.0; p=0.0885285> 0.05), temperatura de agua (H=17.5979; p=0.128457> 0.05), Oxígeno disuelto (H=8.73157; p=0.725671> 0.05), DBO (H=16.1; p=0.186699> 0.05), conductividad (H=16.9485; p= 0.151546> 0.05), pH (H=13.9105; p=0.306463> 0.05), TDS (H=18.2059; p=0.109579> 0.05), sólidos totales (H=18.3638; p=0.105082> 0.05), dureza total (H=18.5997; p=0.0986578> 0.05), dureza de calcio (H=18.9285; p=0.0902695> 0.05), alcalinidad total (H=17.9707; p=0.116584> 0.05), nitritos (H=17.7166; p=0.12457> 0.05), nitratos (H=17.3059; p=0.138449> 0.05), amonio (H=17.07; p=0.146984> 0.05), fósforo total (H=18.1; p= 0.112688> 0.05), ortofosfatos (H=18.01; p=0.115388> 0.05), silicatos (H=18.3695; p=0.104922> 0.05), sulfatos (H=17.1701; p=0.143312> 0.05), clorofila a (H=19.0; p=0.0885285> 0.05), abundancia (H=18.1857; p= 0.110167> 0.05) e índice de Shannon (H= 17.5143; p=0.131254> 0.05), de modo que no se encontró diferencia estadísticamente significativa entre los meses para ningún parámetro.

Sin embargo, al igual que en el caso de Plan 1 y 3 al observar el comportamiento de los datos gráficamente la diferencia entre los meses es evidente, por lo que se consideró que la robustez de esta prueba, no refleja el comportamiento de los parámetros.

7.4.5.3. Correlaciones

La Tabla 29 muestra los pares de variables que con la prueba de Pearson mostraron correlaciones significativas, los parámetros se encuentran ordenados de mayor a menor correlación, donde la profundidad máxima y el área son el par de variables cuya correlación fue, hay algunos pares con relación directa (positiva) y otros de manera inversa (negativa). En cuanto a la abundancia del fitoplancton la correlación más alta fue con la equitatividad y después con los SDT; la clorofila "a" con los nitritos y la temperatura ambientes en tanto que la equitatividad con los SDT

Tabla 29: Correlaciones de las variables físicas químicas y biológicas para el Plan 4

Variables	Valor-P	R	Variables	Valor-P	R
Z y Área	0.0000	0.9831	Z y Equitatividad	0.0131	0.6653
Temperatura y T del agua	0.0000	0.9595	Temperatura y Alcalinidad total	0.0139	0.6612
Nitritos y Clorofila “a”	0.0000	0.9471	Transparencia y SDT	0.0143	-0.6590
Abundancia y Equitatividad	0.0000	-0.9406	Transparencia y Equitatividad	0.0147	0.6568
SDT y Área	0.0000	-0.8973	Nitritos y Abundancia	0.0156	0.6525
T ambiente y Clorofila “a”	0.0003	0.8458	T ambiente y Área	0.0163	-0.6495
Z y SDT	0.0001	-0.8844	Temperatura y pH	0.0174	0.6444
Nitritos y Área	0.0003	-0.8410	T ambiente y DBO	0.0175	-0.6443
Conductividad y SDT	0.0003	0.8389	Z y T ambiente	0.0179	-0.6424
Nitritos y SDT	0.0004	0.8370	pH y Equitatividad	0.0187	-0.6392
Clorofila “a” y Área	0.0004	-0.8303	Nitritos y Temperatura	0.0193	0.6366
SDT y Abundancia	0.0008	0.8110	Silicatos y pH	0.0193	-0.6366
Dureza total y Dureza de calcio	0.0008	0.8100	Z y Conductividad	0.0197	-0.6351
SDT y Clorofila “a”	0.0010	0.8008	Nitritos y Silicatos	0.0197	-0.6351
Ortofosfatos y Fósforo total	0.0011	0.7980	Transparencia y pH	0.0198	-0.6346
Z y Clorofila “a”	0.0012	-0.7931	T del agua y SDT	0.0206	0.6317
Z y Transparencia	0.0013	0.7892	Nitritos y Conductividad	0.0209	0.6306
Nitritos y Z	0.0014	-0.7866	Silicatos y Área	0.0209	0.6302
SDT y Equitatividad	0.0020	-0.7717	Área y Equitatividad	0.0232	0.6262
SDT y pH	0.0023	0.7650	Temperatura y Clorofila “a”	0.0236	0.6208
Transparencia y Área	0.0032	0.7497	Nitritos y Transparencia	0.0247	-0.6170
Conductividad y pH	0.0034	0.7461	Fósforo total y DBO	0.0251	-0.6157
Conductividad y Abundancia	0.0038	0.7409	SDT y Alcalinidad total	0.0263	0.6116
Nitritos y T amb	0.0043	0.7335	T agua y Clorofila “a”	0.0272	0.6088
Z y pH	0.0053	-0.7220	Amonio y Oxígeno	0.0274	-0.6084
Temperatura y Conductividad	0.0055	0.7203	Nitritos y Alcalinidad total	0.0309	0.5979
Silicatos y Conductividad	0.0061	-0.7143	Temperatura y Área	0.0314	-0.5964
Alcalinidad total y Área	0.0075	-0.7018	Silicatos y SDT	0.0317	-0.5958
pH y Área	0.0075	-0.7016	pH y Abundancia	0.0328	0.5928
Oxígeno y Sólidos totales	0.0078	0.6991	Temperatura y Abundancia	0.0337	0.5902
T del agua y Alcalinidad total	0.0079	0.6989	T agua y Área	0.0342	-0.5889
Conductividad y Área	0.0082	-0.6963	Nitritos y T del agua	0.0363	0.5836
Z y Abundancia	0.0082	-0.6960	Nitratos y Dureza total	0.0389	-0.5772
Conductividad y Equitatividad	0.0083	-0.6957	Amonio y Precipitación	0.0393	-0.5762
Z y Alcalinidad total	0.0103	-0.6813	Silicatos y Dureza de calcio	0.0393	-0.5761
Transparencia y Abundancia	0.0108	-0.6784	pH y Alcalinidad total	0.0402	0.5740
Alcalinidad total y Clorofila “a”	0.0110	0.6772	Silicatos y T del agua	0.0410	-0.5722
Temperatura y SDT	0.0112	0.6759	T del agua y pH	0.0414	0.5714
Área y Abundancia	0.0119	-0.6717	Silicatos y Clorofila “a”	0.0443	-0.5649
Nitratos y Dureza de calcio	0.0123	-0.6697	Silicatos y Temperatura	0.0445	-0.5643
T del agua y Conductividad	0.0129	0.6665	T ambiente y SDT	0.0495	0.5539

7.4.5.4. Análisis Multivariado

El análisis de componentes principales (ACP) se empleó para determinar cuales fueron los parámetros que explican la mayor variabilidad en los datos de Plan 4, así como para reducir la dimensionalidad de las mismas, en este caso de 25 componentes originales con 6 es posible describir el 90.368% (Tabla 30) de la dinámica de Plan 4.

Tabla 30: Análisis de Componentes Principales para Plan 4

Componente Número	Eigenvalor	Porcentaje de Varianza	Porcentaje Acumulado	Componente Número	Eigenvalor	Porcentaje de Varianza	Porcentaje Acumulado
1	9.68799	38.752	38.752	14	4.90516E-16	0.000	100.000
2	3.90261	15.610	54.362	15	4.06633E-16	0.000	100.000
3	3.01603	12.064	66.427	16	2.31009E-16	0.000	100.000
4	2.75667	11.027	77.453	17	1.59227E-16	0.000	100.000
5	2.06113	8.245	85.698	18	7.25481E-17	0.000	100.000
6	**1.16763**	**4.671**	**90.368**	19	6.81396E-17	0.000	100.000
7	0.74441	2.978	93.346	20	0.0	0.000	100.000
8	0.539993	2.160	95.506	21	0.0	0.000	100.000
9	0.490829	1.963	97.469	22	0.0	0.000	100.000
10	0.290566	1.162	98.631	23	0.0	0.000	100.000
11	0.199575	0.798	99.430	24	0.0	0.000	100.000
12	0.142566	0.570	100.000	25	0.0	0.000	100.000
13	5.16479E-16	0.000	100.000				

En cuanto al peso de los componentes (Tabla 31) el primer componente que explica en un 38.752% la variabilidad de los datos lo componen los sólidos disueltos totales, el área, profundidad máxima, nitritos y clorofila "a". El segundo componente lo conforman el oxígeno disuelto, nitratos y la dureza, los cuales explican el 15.610%. El tercer componente que explica el 12.064%, está constituido por la precipitación media mensual en Tlayacapan, transparencia y el amonio. El cuarto componente explicando el 11.027% está formado por los ortofosfatos, fósforo total y alcalinidad total. El quinto componente explica el 8.245% y está compuesto por sulfatos, pH y la temperatura ambiente. Y por último el componente que explica el 4.671% está compuesto por los sólidos totales y el DBO. Por lo que se considera que estos 20 parámetros son los que explican el comportamiento del sistema.

Tabla 31: Tabla de Pesos de los Componentes de Plan 4

Variables	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4	Componente 5	Componente 6
Nitritos	**-0.284096**	0.00970727	-0.0112835	0.135382	0.180991	-0.121333
Nitratos	0.0337232	**0.284705**	0.250146	0.265112	0.275387	-0.0605353
Ortofosfatos	0.0651381	0.0159885	-0.164497	**0.455058**	-0.337192	0.130711
Silicatos	0.241906	0.0977624	0.0424083	0.158376	0.161297	0.138324
Sulfatos	-0.0803733	0.0297054	0.103853	-0.32799	**-0.394007**	0.259359
Amonio	0.000126497	-0.264947	**0.451712**	-0.129385	-0.0649678	0.158761
Fósforo total	-0.078808	-0.128042	-0.0358277	**0.439819**	-0.337795	0.179283
Z	**0.28812**	-0.0666861	-0.211501	-0.00586206	-0.102442	-0.0341376
Área	**0.29801**	-0.0537853	-0.160655	0.0201318	-0.127099	0.0394378
Precipitación	0.052123	-0.0585947	**-0.439318**	0.124909	0.143969	-0.150476
Temperatura	-0.247759	0.153088	-0.290828	-0.0276997	-0.0602028	0.0944583
T amb	-0.208623	-0.145223	0.00596966	0.196219	**0.379565**	0.252848
T agua	-0.238634	0.110471	-0.313458	-0.108983	0.0375695	0.157891
Transparencia	0.216121	-0.0433639	**-0.330883**	-0.153566	0.119797	0.131694
Conductividad	-0.252256	0.136507	-0.0778888	-0.0299485	-0.202119	-0.31668
SDT	**-0.301046**	0.0554747	0.0315008	0.058654	-0.0121991	-0.131928
pH	-0.256631	0.00444451	0.0624269	-0.078113	**-0.341623**	0.0653767
Oxígeno	0.0289991	**0.4477**	-0.111735	-0.0237788	-0.0558593	0.109904
DBO	0.106005	0.281934	-0.0489432	-0.312163	0.0362996	**-0.369328**
Sol tot	-0.0299383	0.377991	-0.0942228	-0.041515	0.0512099	**0.520157**
Dureza total	-0.137016	**-0.353001**	-0.174032	-0.143117	0.127425	0.0568686
Dureza de calcio	-0.148897	**-0.351271**	-0.261	-0.0509881	-0.0892084	-0.14193
Alc tot	-0.237847	0.0284741	-0.0272915	**-0.297819**	0.128536	0.207443
Clorofila "a"	**-0.283126**	-0.0722627	-0.0166804	0.121378	0.216436	0.0736175
Abundancia	-0.221015	0.231546	0.0477965	0.184423	-0.122311	-0.259709

En la Figura 80 la grafica de pesos de componentes, que está dividida en cuadrantes donde se observa que en la parte derecha se concentran los parámetros de carácter edáfico, las temperaturas y los parámetros biológicos así como los fósforos y ortofosfatos, mientras que en la parte izquierda los de carácter ambiental sin incluir las temperaturas, el resto de los nutrientes y el oxígeno y DBO.

La Figura 81 presenta los parámetros que definieron el comportamiento del sistema en los muestreos, donde se observa que los meses pertenecientes a la temporada de secas cálidas se concentraron en el cuadrante de la derecha por lo que se puede inferir que los parámetros que dominan el comportamiento del sistema en esta temporada fueron: abundancia del fitoplancton, clorofila "a" , los parámetros de carácter edáfico, pues en estos meses fue mayor la concentración debido a los efectos de evaporación a que estuvo sometido el sistema por las altas temperaturas y ausencia de precipitación.

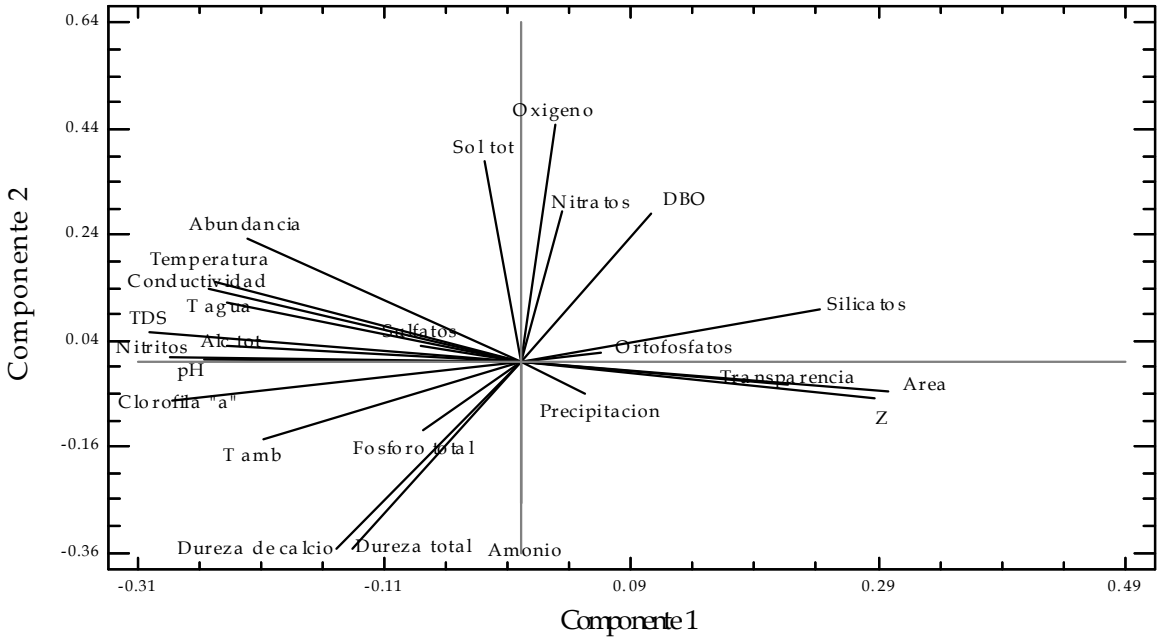

Figura 80: Representación grafica de los componentes para el Plan 4

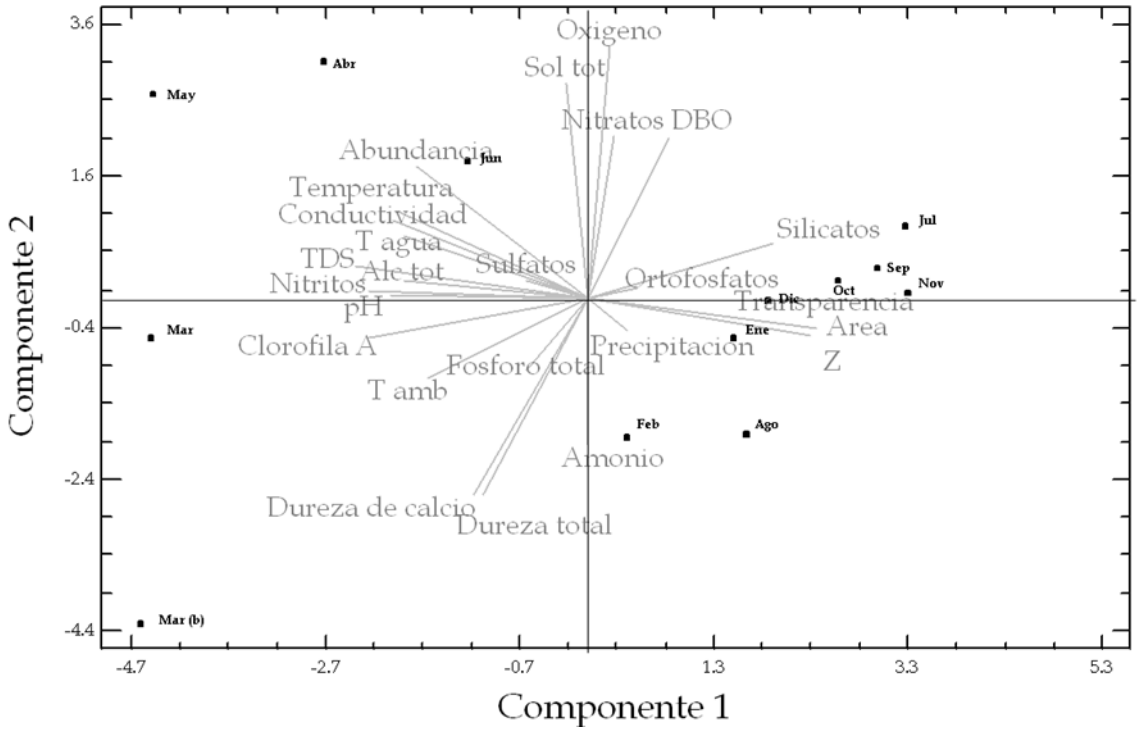

Figura 81: Comportamiento de las variables y los meses de monitoreo para Plan 4

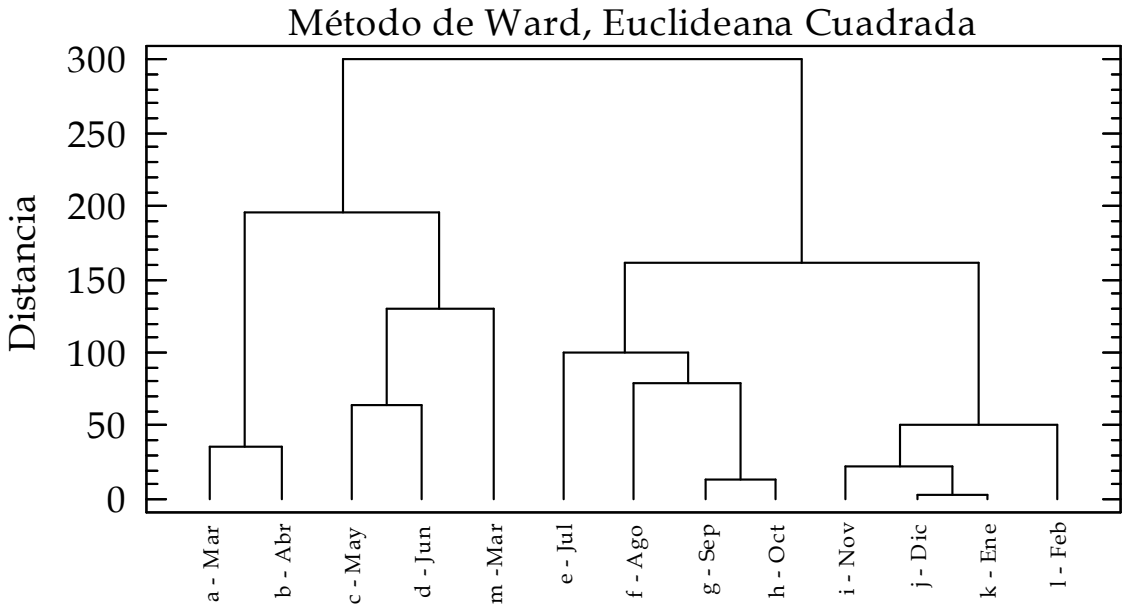

Figura 82: Dendograma que muestra la asociación de los meses de muestreo para Plan 4

Los cuadrantes de la izquierda concentran el resto de los meses que con el empleo del dendograma, en la Figura 82 se dividieron en dos temporadas más, la de lluvias, constituida por Julio, Agosto, Septiembre y Octubre y la de secas frías formado por Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero. Sin embargo mediante el grafico de componentes no se aprecia una diferenciación entre estas dos últimas temporadas pues se agruparon cerca de los influenciados por el área, profundidad máxima, transparencia, precipitación todos estos parámetros ambientales y los silicatos y el amonio.

7.5. LOS PLANES

7.5.1. Factores físico-químico-biológicos

Los Planes se encuentran en el municipio Tlayacapan en Morelos, México, donde la máxima incidencia de lluvias (Figura 83) va de Junio a Septiembre y de Febrero a Diciembre son los meses con menos precipitación.

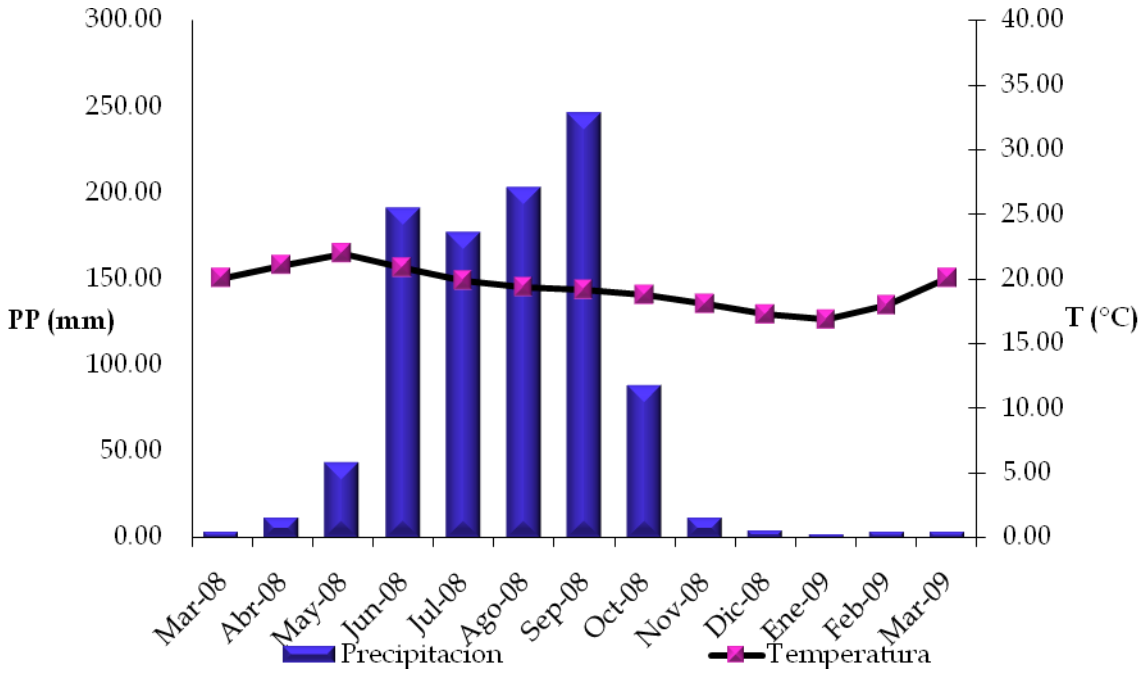

Figura 83.Climograma de Tlayacapan

La temperatura máxima (Figura 83) se registra en Abril y Mayo; la mínima se presenta en Diciembre y Enero (Anónimo, 1981; García 2004). Los muestreos en este estudio se realizan a principio de mes, por tanto en Junio aún cuando se trata de un mes de la temporada de lluvias este se ubica en temporada de secas cálidas y no en lluvias. Las secas van de Noviembre a Mayo; sin embargo, estos meses se pueden dividir en dos temporadas diferentes por el comportamiento del factor temperatura, que son secas cálidas que va de Marzo a Mayo y secas frías de Noviembre a Febrero.

La profundidad máxima (Figura 84) registrada la tuvo el Plan 2 en el mes de Agosto que fue de 5 m, para Plan 1 la mayor fue de casi 2.5 metros en Octubre y la mínima casi de cero, específicamente 30 cm en Marzo de 2009, como ya se había mencionado, este es un sistema temporal, que desaparece durante la temporada de secas cálidas; sin embargo, en la temporada de lluvias alcanza una considerable profundidad incluso superior a la alcanzada por el Plan 3 que alcanza los 1.92 metros en Septiembre y el Plan 4 hasta 1.60 metros en Julio y que son permanentes.

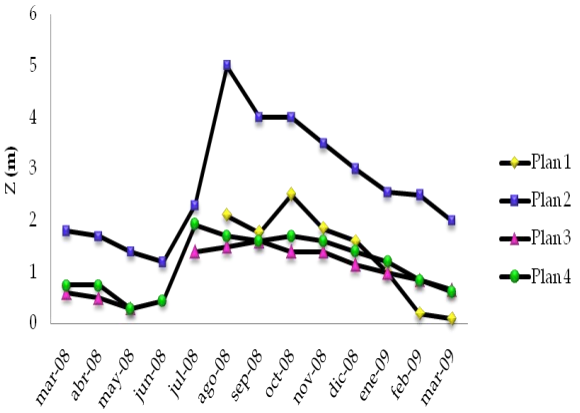

Figura 84. Profundidad máxima mensual de los Planes

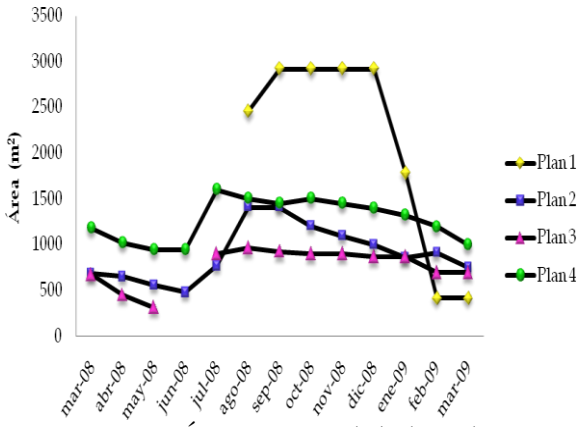

Figura 85: Área mensual de los Planes

Al respecto de la profundidad máxima (Figura 84) y la de precipitación (Figura 83) hubo gran similitud en sus comportamientos, así como la formación de dos grupos, uno comprendido por los Planes 1, 3 y 4 y el otro solo por el Plan 2; sin embargo, aún entre un sistema y otro no coinciden los meses de profundidades máximas, esto es apoyado por lo obtenido por Kruskal-Wallis (H=19.1197; p=0.0002) donde se encontró que hay diferencias significativas entre un sistema y otro.

En cuanto al área superficial de cada sistema, en la Figura 85 se observa que en los meses que permanecen en la temporada de secas cálidas la tendencia es a disminuir drásticamente, por la ausencia de lluvias, las temperaturas de esta época así como el uso al cual son sometidos estos sistemas, pero en cuanto comienza la temporada de lluvias el área de los sistemas aumenta. El más pequeño en área es el Plan 3, le sigue Plan 2, continua Plan 4 y por último el más grande es Plan 1, quizás es por esto mismo que este Plan al tener más superficie de contacto con el medio tiene mayor tasa de evaporación que el resto en relación a la profundidad que alcanza, aún cuando los Planes 3 y 4 sean más someros y que están más protegidos del viento; otro factor que afecta la permanencia de este sistema, es que sus aguas son empleadas para el riego al igual que el resto y para otras actividades deportivas, pero se encuentra en un sitio más accesible para los que utilizan el agua para este fin. Según el análisis estadístico con la prueba de Kruskal-Wallis (H=17.342; p=0.0006), hay diferencias estadísticamente significativas entre el área de los sistemas.

La transparencia de cada uno de los sistemas (Figura 86) al igual que el área en la temporada de secas cálidas disminuye, consecuencia de la concentración de los componentes biogénicos del sistema, debido a la tasa de evaporación a la que está sometido, así como a la depositación de materia orgánica por efecto del uso para abrevadero; sin embargo, no hay un aumento como se podría esperar con el comienzo de la temporada de lluvias pues las precipitaciones tienen efecto de arrastre de compuestos terrígenos a los sistemas lo que impide un aumento notorio de la transparencia, de hecho en el mes de Septiembre para todos los sistemas hay una marcada disminución de este

parámetro debida al incremento de la intensidad de lluvias. Kruskal-Wallis (H=11.9253; p=0.0076) determino diferencias significativas entre la transparencias de los Planes.

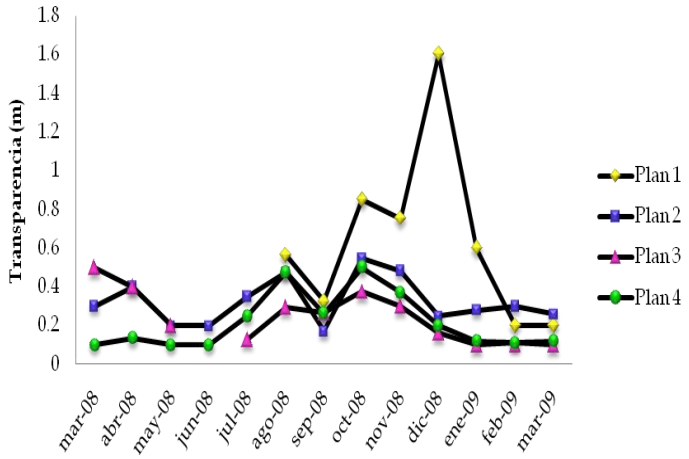

Figura 86. Variación de la transparencia mensual de los Planes

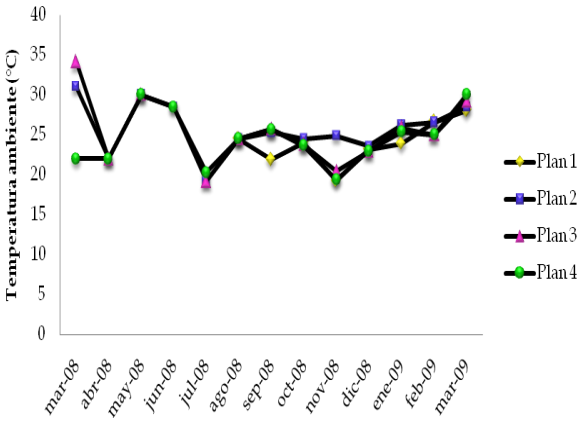

Figura 87: Temperatura ambiental mensual de los Planes

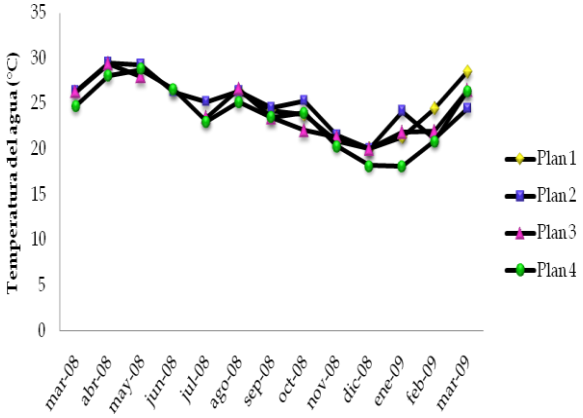

Figura 88. Comportamieneto mensual de la temperatura del agua para los Planes

Debido al tamaño de estos sistemas, se encuentran en circulación, lo que permite que las temperaturas de agua y ambiental no varíen demasiado una de la otra, además que está más expuesto al factor viento que se manifiesta durante el día; sin embargo, también se puede apreciar un comportamiento más regular en la temperatura del agua, ya que la ambiental varía más fácilmente con el viento y las condiciones ambientales prevalecientes durante el muestreo.

La Figura 87 muestra la temperatura ambiental; sin embargo, esta tiene gran variación, en cambio la temperatura del agua (Figura 88) es más homogénea con base en las propiedades específicas del agua. El promedio de la temperatura del agua en la temporada de secas cálidas fue de 27.3°C, en la temporada de lluvias la temperatura fue de 24.5°C y en la de secas frías la temperatura promedio fue de 21.1°C. En cuanto a la comparación entre sistemas se tiene que no se encuentran diferencias estadísticamente significativas

entre la temperatura ambiente (F= 0.54; p=0.6598) y temperatura de agua (F= 0.44; p=0.7260) de los Planes.

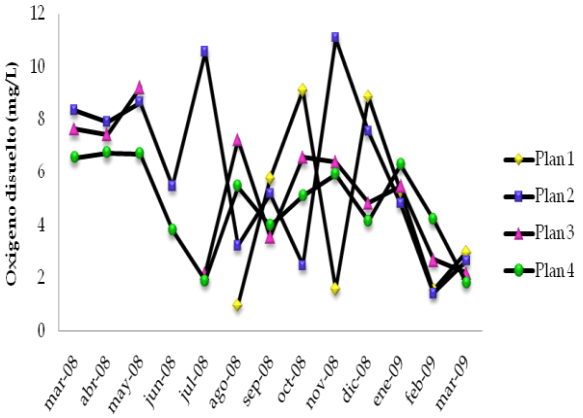

Figura 89. Variación mensual del oxígeno disuelto para los Planes

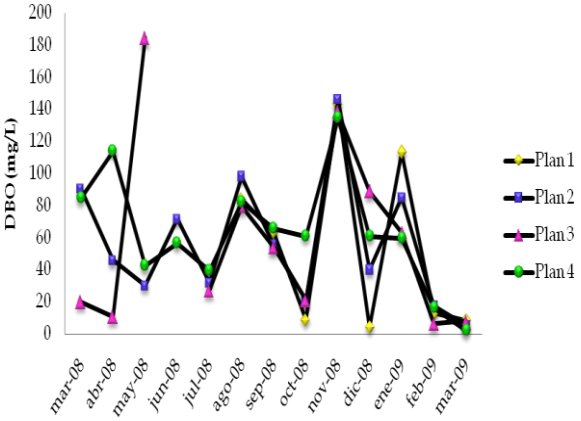

Figura 90. Comportamiento mensual de DBO para los Planes

El oxígeno disuelto (Figura 89) a lo largo de todo el año presentó una concentración variable, con valores que alcanzan los 11mg/L hasta cercanos a 1mg/L, sin embargo se considera que su concentración es adecuada. En cuanto al Plan 1 se registró un descenso de concentración en Noviembre, quizás debido a que la capa de vegetación presente (chichicastle) estaba más espesamente establecido, impidiendo la penetración de luz en el sistema. Aunque la transparencia es alta en este mes, el sistema se encuentra cubierto por la planta ya mencionada, lo que impide el libre acceso de la luz al sistema, en los otros meses la concentración es similar a la del resto de los sistemas. Según el análisis estadístico utilizado (ANDEVA), no hay diferencias estadísticamente significativas (F=0.81; p= 0.4973) entre el oxigeno disuelto registrado en los sistemas.

En el caso del DBO (Figura 90), se obtuvo el valor más alto en Mayo para el Plan 3 de cerca de 184.8 mg/L, en el resto de los meses el valor de DBO aumenta y disminuye a la par sin presentar un claro comportamiento aunque la tendencia general es aumentar durante la época de lluvias y secas frías; de acuerdo al ANDEVA (F=0.07; p=0.9781) no hay diferencias estadísticamente significativas entre el DBO mensual para los sistemas.

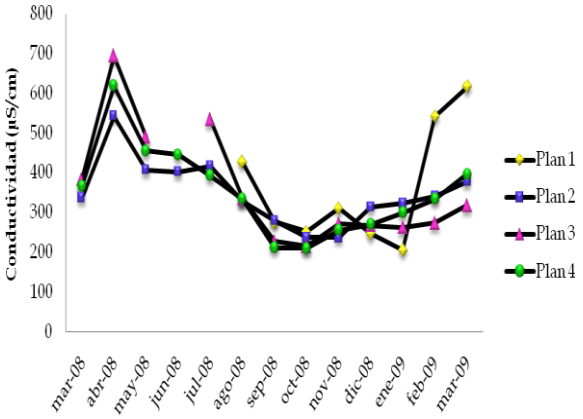

Figura 91. Conductividad mensual para los Planes

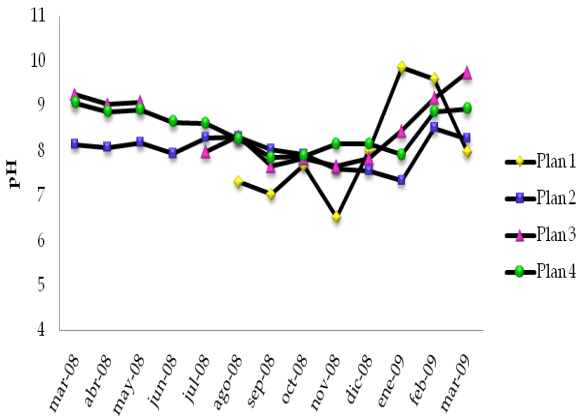

Figura 92. Variación mensual del pH para los Planes

En cuanto a la conductividad (Figura 91) en secas se muestra un máximo en Abril para todos los sistemas, durante lluvias hasta principios de secas frías en que se presenta un descenso igual para todos los Planes y en secas frías exhibe un incremento y la tendencia continúa hasta secas cálidas, ocasionado por la concentración de los sólidos, comportamiento que es compartido por los cuatro Planes por lo que no es de sorprender que con el ANDEVA (F=0.01; p=0.9979) no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los Planes.

El pH, (Figura 92) en todos los sistemas se mantuvo por encima del valor de pH neutro, excepto para el caso de Plan 1 que desde Septiembre a Noviembre se encuentra por debajo en pH 6 y en Diciembre alcanza valores de ligeramente alcalino (8 unidades), hasta casi llegar a 10 unidades en Enero y Febrero.

En la temporada de secas cálidas la concentración de los elementos pertenencientes al factor edáfico elevaron el pH, en tanto que durante lluvias el arrastre de los mismos matuvieron el pH en niveles altos con el consecuente incremento de la alcalinidad, para posteriormente entrar en un periodo de estabilizacion. Al aplicar la técnica de Kruskal-Wallis (H= 5.21481; p= 0.2148) no se obtuvo diferencia estadisticamente significativa entre ellos.

La alcalinidad, (Figura 93) presenta valores de 180 a 120 mg/L en la temporada de secas cálidas, debido a la concentración que se registra en los sistemas por efecto de la tasa de evaporación, así como de la infiltración; al comenzar la temporada de lluvias la dilución provocada por el incremento en el volumen del sistema, trae como consecuencia una disminución considerable de la alcalinidad hasta llegar casi a los 40 mg/L, posteriormente este valor se estabiliza alrededor de los 90 mg/L. Sin embargo, hay una disminución en Enero, para posteriormente aumentar gradualmente hasta Marzo, otra vez efecto del proceso de concentración. También en este caso, el ANDEVA (F=0.09; p=0.9672) determinó que no hay diferencia estadísticamente significativa entre los sistemas.

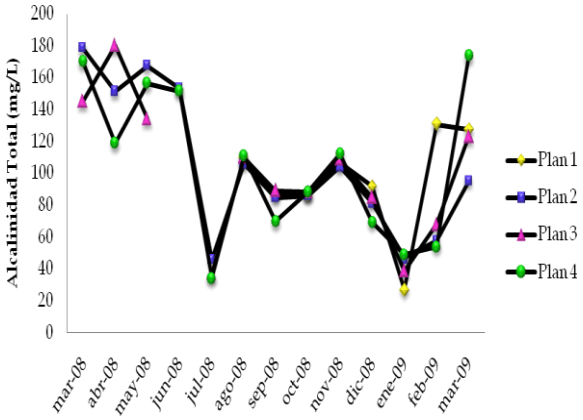

Figura 93. Comportamiento de la alcalinidad total para los Planes

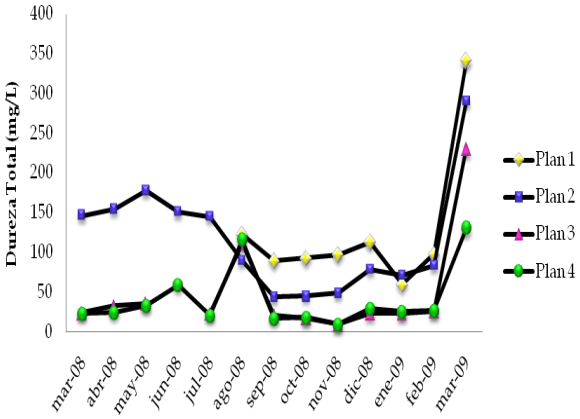

Figura 94. Variación de la dureza total de manera mensual para los Planes

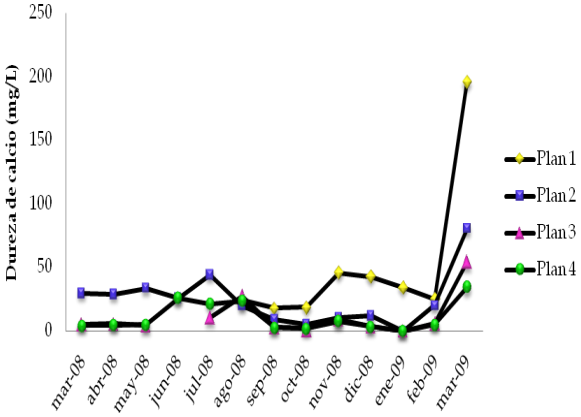

Figura 95. Variación temporal de la dureza de calcio para los Planes

En el caso de las durezas total y de calcio, (Figuras 94 y 95 respectivamente), al compararlas por sistema hubo diferencias estadísticamente significativas entres los sistemas para la dureza total (H=5.44; p= 0.0030) y la dureza de calcio (F= 3.98; p= 0.0139).

Todos los sistemas presentaron valores más o menos estables de Agosto a Febrero; sin embargo, en Marzo, ligado a la evaporación, la concentración de los constituyentes del agua, provocó un aumento en las durezas. En general, el comportamiento de este parámetro fue el de disminuir durante los meses de lluvias y de aumentar durante la etapa de concentración del sistema en los meses de Marzo a Junio que pertenecen a la temporada de secas cálidas, que mantienen valores alrededor de 150 mg/L en el caso de dureza total y de alrededor de 30 mg/L en el caso de la dureza de calcio.

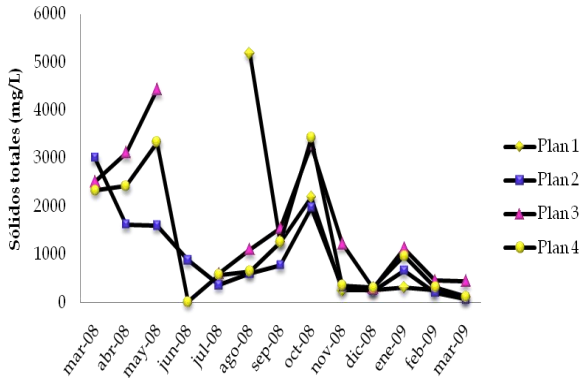

Figura 96. Comportaiento mensual de los sólidos totales para los Planes

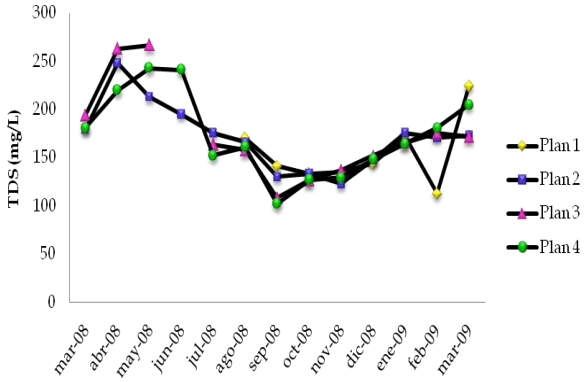

Figura 97. Comportamiento temporal de los SDT para los Planes

En el caso de los sólidos totales el Plan 1 por ser un sistema temporal tiene un comportamiento particular; (Figura 96) se observa el valor más alto en Agosto, esto debido a que si bien es temporada de lluvias y por tanto de dilución, hay un efecto de arrastre que se lleva a cabo trayendo como consecuencia que en suspensión haya mayor concentración de sólidos totales.

En el caso de los demás sistemas la concentracion de sólidos totales presenta su concentración maxima en Marzo de 2008 y va disminuyendo hasta finales del estudio, aunque en Octubre se observa un incremento para nuevamente disminuir. Es de apreciar que los Planes 3 y 4 presentan al igual que en el caso de Durezas el mismo comportamiento en cuanto a sus sólidos totales, ya que estos sistemas comparten el agua por escurrimiento con los otros sistemas acuáticos. Pese a estas variaciones en el comportamiento de los sólidos para cada sistema, con base en el ANDEVA ($F=0.70$; $p= 0.5576$) no hay diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas.

En cuanto a los sólidos disueltos totales (SDT), (Figura 97) de Marzo a Abril todos los sistemas aumentaron su concentración y decrecieron hasta el mes de Noviembre y para a partir de este mes los efectos de concentración tienden al incremento. Al aplicar la prueba de ANDEVA ($F=0.46$; $p= 0.7128$) para comparar los sistemas se obtuvo que no hay diferencias significativas entre estos.

Los nitratos (Figura 98) se mantuvieron casi constantes en los sistemas aunque con incrementos en Mayo, Septiembre y Enero de 2009, solo hacia el final del estudio se ven reducidos los valores en todos los Planes durante la época de concentración posiblemente por efecto de proceso fotosintético realizado por el fitoplancton así como por los procesos óxido reducción que se presentaron en los cuerpos de agua. Los valores fluctuaron entre 0 y 0.7 mg/L con promedio de 0.2 mg/L. Al comparar esto con la prueba ANDEVA ($F= 2.39$; $p=0.0826$) se determinó que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas.

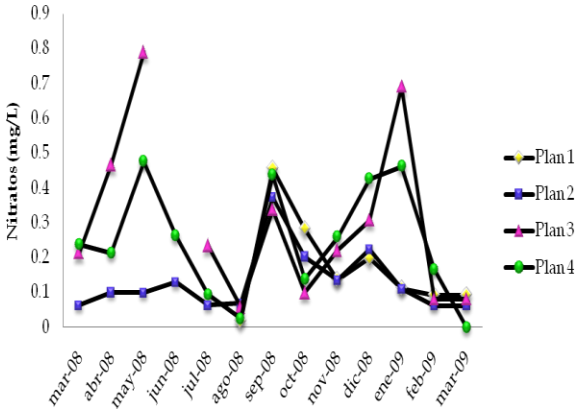

Figura 98: Variación de los nitratos de manera mensual para los Planes

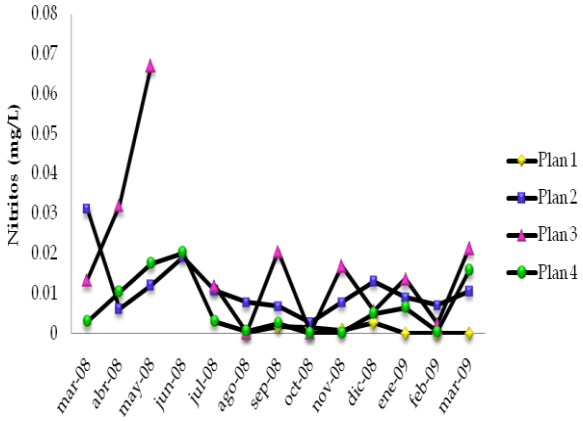

Figura 99. Variación mensual de los nitritos para los Planes

Los nitritos (Figura 99) para el Plan 2 mostraron en el mes de Marzo su maxima concentración de 0.03 mg/L, y posteriormente disminuyó hasta casi tener la misma concentracion que el Plan 4, mientras que de manera global los Planes registraron sus máximas concentraciones durante la temporada de secas (Marzo-Junio) para reducir sus niveles durante la época de lluvias. Al comparar esto con la prueba ANDEVA ($F=4.13$; $p=0.0118$) se determinó que hay diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas.

El amonio, (Figura 100) presentó una tendencia a aumentar a lo largo de todo el muestreo en los sistemas, el Plan 3 resgistró los valores más altos en temporada de secas cálidas, pero al comenzar las lluvias presenta la misma tendencia que el resto de los demás sistemas. El Plan 1 registró en Noviembre y Diciembre la concentracion notoriamente más alta, probablemente causado por aporte externo de aguas municipales de la comunidad aledaña, al igual que Plan 3 este tiende a volver a las concentraciones y tendencia que presentaron el resto de los Planes. Con la prueba ANDEVA ($F= 2.76$; $p=0.0542$) se determinó que no hay diferecias estadísticamente significativas entre los sistemas en la concentracion de amonio.

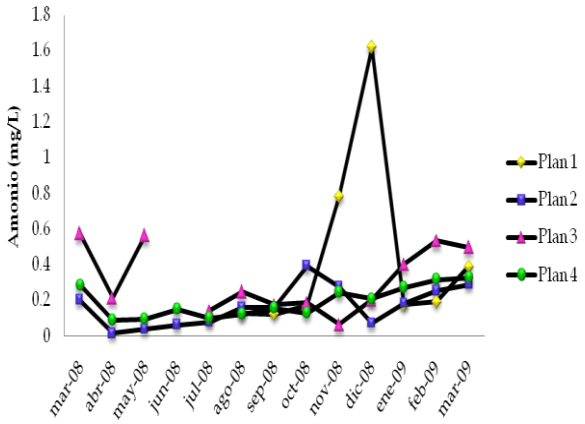

Figura 100. Comportamiento temporal del amonio para los Planes

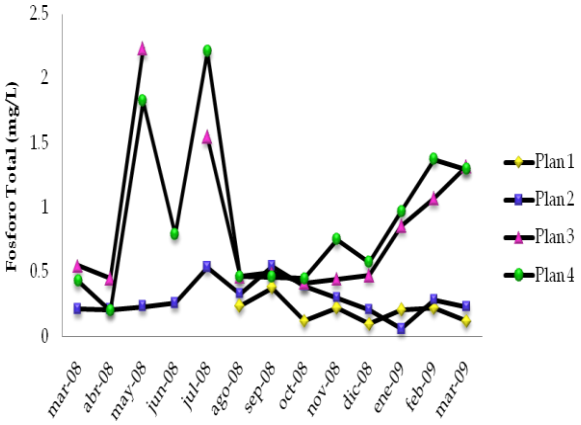

Figura 101: Variación mensual del fósforo total para los Planes

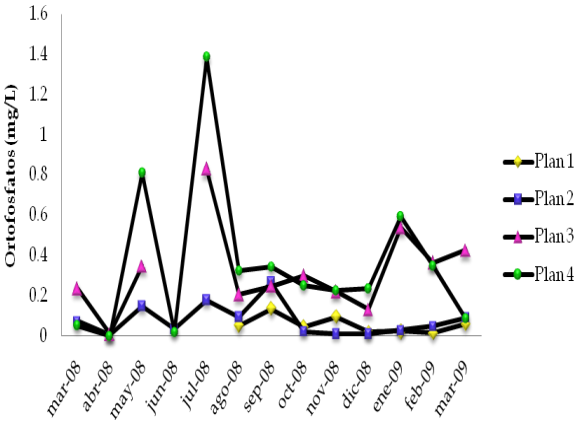

Figura 102. Comportamiento temporal de los ortofosfatos para los Planes

En el caso del fósforo total (Figura 101) los Planes 3 y 4 presentan concentraciones similares con pronunciados aumentos en Mayo y Julio, en tanto que el resto de los meses de la temporada de lluvias se mantienen en bajas concentraciones. Durante secas frías e inicio de cálidas el Plan 3 y 4 registraron un aumento gradual en ambos sistemas debido a que han cesado las lluvias y comienza la concentración de los elementos; sin embargo, los Planes 1 y 2 se mantienen cerca y por debajo de 1 mg/L a lo largo de todos los muestreos contrario al comportamiento de los otros sistemas. Al comparar los sistemas mediante la técnica de Kruskal-Wallis (H= 1.65216; p= 0.6476), no se registraron diferencias significativas entre estos.

Los ortofosfatos (Figura 102) al igual que el fósforo total, los Planes 1 y 2 mantienen concentraciones muy bajas a lo largo de todos los muestreos por debajo de los 0.2 mg/L en promedio, mientras que los Planes 3 y 4, presentan los mismo picos que el fósoforo total en Mayo y Julio y de Agosto a Diciembre, se mantienen por cerca de los 0.05mg/L, en Enero tienen un aumento y en los meses posteriores disminuye hasta casi los 0mg/L similar a los otros cuerpos de agua. En este caso sin embargo, al aplicar el ANDEVA (F= 5.09; p=0.0043) se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas.

Los silicatos (Figura 103) presentan aumento de Marzo a Agosto, a partir de este mes su concentración disminuye en los sistemas hacia el final del estudio; sin embargo, esto sucede en distintas formas, ya que el Plan 3 y 4 lo hacen de manera suave, en tanto que los Planes 1 y 2 tienen una disminucion más rápida. Es de notar que los meses en que alcanzó las mayores concentraciones pertenecen a la temporada de lluvias así que este incremento se asocia al arrastre de terrigenos a los sistemas provocado por la temporada de lluvias. No hay diferecias estadísticamente significativas entre los sistemas en cuanto a este parámetro según la técnica del ANDEVA (F=1.13; p=0.3467).

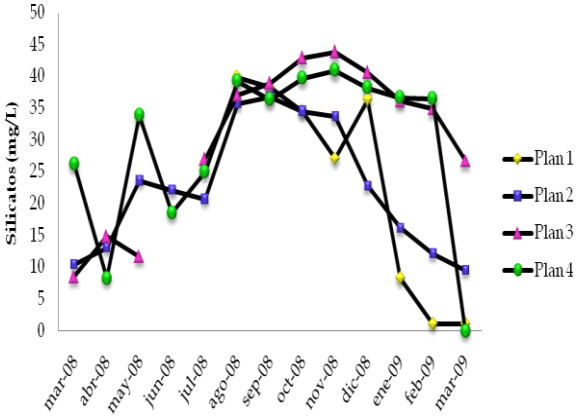

Figura 103. Variación temporal de los silicatos para los Planes

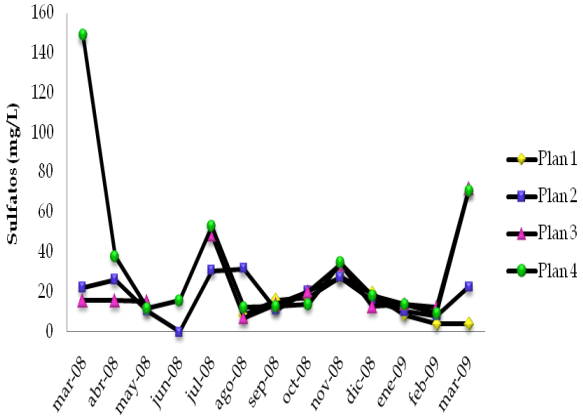

Figura 104. Variación mensual de los sulfatos para los Planes

Los sulfatos (Figura 104) tienen su registro más bajo en el mes de Junio, aumentaron posteriormente en Julio, durantela temporada lluvias y aumenta poco a poco hasta su punto más alto en Noviembre para posteriormente descender en secas cálidas a concentraciones por debajo de las que se encontraron en lluvias. Sin embargo, para Marzo de 2009 las concentraciones aumentan, excepto en Plan 1. Según ANDEVA (F=1.70; p=0.1825) no hay diferecias estadísticamente significativas entre los sistemas en cuanto a sus sulfatos.

La clorofila "a" (Figura 105) en la temporada de secas cálidas tiende a aumentar la concentración en el Plan 2 así como en el 3 y 4; sin embargo, a partir de temporada de lluvias su concetracion disminuye en los Planes 1, 3 y 4. Solo Plan 2 presentan valores altos en esta temporada y al comenzar la de secas frías, la concentración de la clorofila aumenta. Al aplicar la prueba de ANDEVA (F= 17.36; p=0.0000) se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas en cuanto a la clorofila "a".

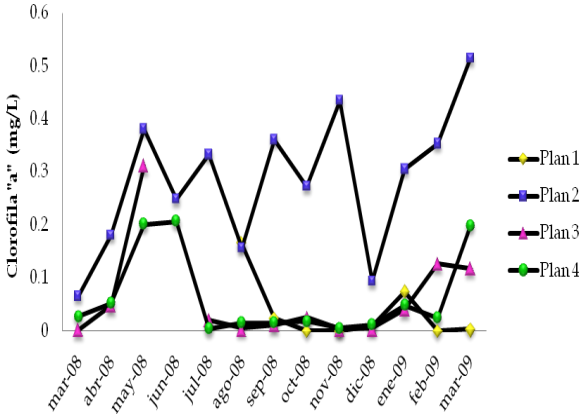

Figura 105. Comportamiento de la clorofila "a" para los Planes

7.5.2. Fitoplancton

La abundancia (Figura 106) aumento en las temporadas de secas, pues las más bajas se registraron justo en temporada de lluvias, excepto para Plan 1 que se trata de una caso especial, pues de Noviembre a Enero no se encontró en este sistema presencia de fitoplancton por el efecto de la planta acuática denominada chichicastle que cubría la superficie del sistema impidiendo la libre penetración de la luz solar. Al realizar la prueba Kruskal-Wallis (H= 10.5356; p=0.0145) se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas.

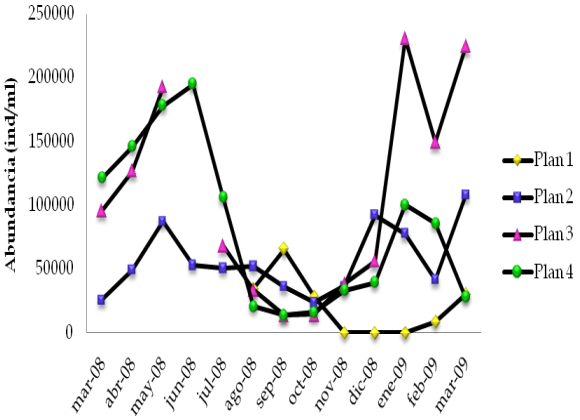

Figura 106. Variación de la abundancia mensual para los Planes

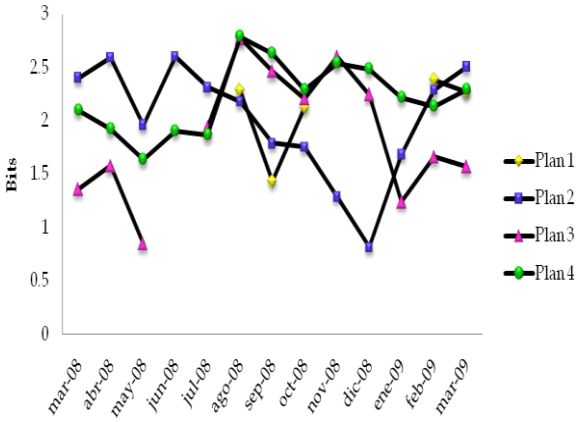

Figura 107. Variación temporal del índice de Shannon- Wiener para los Planes

El Plan 1 sólo presentó valores para calcular su índice en los meses de Agosto, Septiembre, Octubre, Febrero y Marzo como se muestra en la Figura 107. La diversidad se mantiene por encima de la media en los 5 meses, incluso en Septiembre. El comportamiento global mostró que la diversidad se mantuvo casi constante en la temporada de secas cálidas pero durante la época de lluvias la tendencia fue a disminuir en todos los sistemas, más en el Plan 2. Hacia el final del estudio este parámetro incrementó de manera notable por efecto de la época de concentración asociado a la tasa de evaporación en el sitio de estudio. Con base en el ANDEVA (H= 4.64364; p=0.1998) no hay diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas en cuanto a la diversidad con Shanon-Wiener.

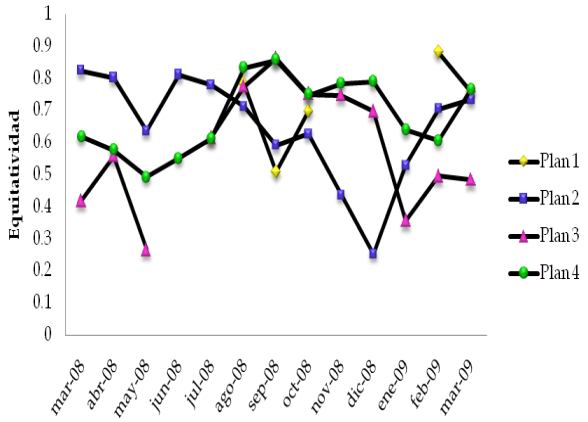

Figura 108. Equitatividad mensual para los Planes

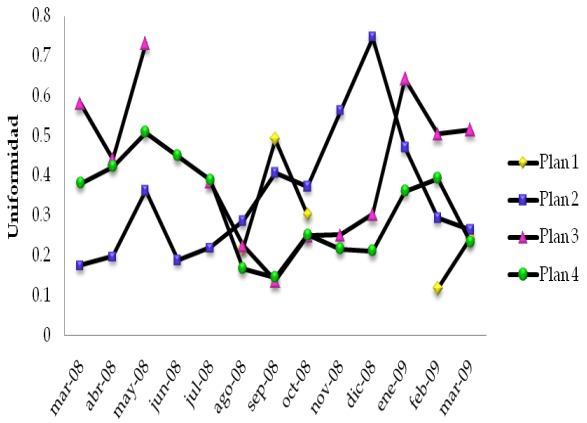

Figura 109. Comportamiento mensual de la uniformidad para los Planes

La equitatividad (Figura 108) siguió el mismo comportamiento que la diversidad, la cual tendió a disminuir en todos los sistemas durante la temporada de lluvias y secas cálidas, para iniciar el aumento hacia el final del estudio. El Plan 3 registró los menores valores de equitatividad seguido del Plan 2. El Plan 3 en la temporada de secas cálidas presenta valores por debajo del 0.5 y en Mayo de .268, que es el valor más bajo que se presenta para este Plan, es decir en este mes la abundancia estaba dominada por unas pocas especies, en tanto que en temporada de lluvias los porcentajes se sitúan entre el 0.6 y 0.9%, es decir en esta temporada las especies tenían menor equitatividad. Al comparar si hay diferencia entre la equitatividad para los sistemas, se obtuvo que según la técnica de Kruskal-Wallis (H= 2.42382; p=0.4892), no hay diferencias estadísticamente significativas.

La uniformidad (Figura 109) es un valor inverso a la equitatividad, este está dado por la dominancia de pocas especies sobre el resto, en lugar del equilibrio entre estos y por tanto los valores son inversos. Así, la mayor dominancia se registró durante la temporada de secas frías y la menor durante la época de lluvias, posiblemente por efecto del aporte de los terrígenos que afectaron los sistemas, principalmente el Plan 3 y 4. Al realizar la prueba Kruskal-Wallis (F=3.76; p=0.0177) se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas.

En la Tabla 32 se enlistan todas las especies de fitoplancton encontradas en los Planes ordenadas alfabéticamente en base a la división a la que pertenecen, estas divisiones a su vez ordenadas alfabéticamente y en cuanto a cada Plan se presenta una x en caso de presencia a lo largo del estudio.

En total se registraron 182 especies organizadas en la siguiente cantidad por división: la división Bacillariophyta mostró 35 especies, Chlorophyta 87 especies, Cyanophycota 20 especies, Euglenophycota 33 especies, Pyrrophycophyta 1 especie y Xantophyta 6 especies.

Tabla 32. Listado de las especies de fitoplancton registradas en los Planes

Divisiones	Especies	P 1	P 2	P 3	P 4	Total
Bacillariophyta	*Achnanthes minutissima Kützing 1833*			x		249
	Achnanthes ploenencis Hustedt 1930			x		249
	Aulacoseira sp. Thwaites		x	x		997
	Caloneis amphisbaena (Bory) Cleve			x		249
	Caloneis sp. P. T. Cleve			x		249
	Cyclotella sp. (Kütz.) de Brebisson			x	x	3241
	Cymbella cistula var. maculata (Kütz.) Van Heurck				x	499
	Epithemia argus (Ehrenb.) Kütz			x	x	499
	Epithemia sp. Kütz	x			x	499
	Eunotia sp. Ehrenberg	x			x	1745
	Fragilaria capucina Desmaziéres 1925		x		x	2742
	Fragilaria sp Lyngb			x		748
	Frustulia rhomboides (Ehrenb.) DeToni	x				249
	Gomphonema angustatum (Kütz.) Rabenh			x	x	997
	Gomphonema parvulum (Kütz.) Kütz.			x		249
	Gomphonema sp. Ehrenberg			x	x	1247
	Melosira sp.C. A. Agardh		x	x	x	15457
	Navicula affinis Ehrenb			x		499
	Navicula bacillum Ehrenb		x			249
	Navicula capitata Ehrenberg 1838		x			249
	Navicula cuspidata (Kützing) Kützing 1844		x			1745
	Navicula peregrina (Ehrenb.) Kütz.			x		249
	Navicula sp. Bory		x	x	x	12714
	Navicula variostriata Krasske			x		499
	Nitzschia brevissima Grunow In Van Heurck, 1881			x		249
	Nitzschia sp. Hass			x	x	1247
	Nitzschia vermicularis (Kütz.) Hantzsch		x			249
	Pinnularia sp Ehrenberg	x		x		748
	Rhopalodia sp. O. Müll.			x		499
	Stephanodiscus sp Ehrenberg 1846				x	499
	Synedra gaillonii (Bory) Ehrenb			x		249
Chlorophyta	*Ankistrodesmus falcatus (Corda) Ralfs*	x	x	x	x	124899
	Ankistrodesmus fusiformis Corda, 1838	x	x	x	x	7479
	Ankistrodesmus spiralis Turner Lemm		x			499
	Chlamydomonas sp. Ehrenberg, 1835		x			1496
	Chlorella luteoviridis Chodat, 1912			x		249
	Chlorococcum infusionum (Schrank) Meneghini	x	x	x	x	991715
	Closterium abruptum W. West			x		249

	Closterium leibleinii Kuetzing	x				249
	Coelastrum sphaericum Naegeli			x	x	997
	Cosmarium bioculatum Brebisson		x			249
	Cosmarium biretum De Brebisson				x	249
	Cosmarium botrytis Meneghini	x	x	x	x	6980
	Cosmarium connatum Brebisson		x	x	x	73294
	Cosmarium contractum Kirchner			x	x	6980
	Cosmarium cucumis Corda Ex Ralfs	x	x	x	x	16703
	Cosmarium meneghinii Brebisson ex Ralfs				x	499
	Cosmarium pseudoconnatum Nordstedt		x		x	27672
	Cosmarium pseudopyramidatum Lund.				x	4986
	Cosmarium quinarium Lundell				x	748
	Cosmarium ralfsii varmontanum			x		499
	Cosmarium sp. Ralfs, 1848		x	x	x	31163
	Cosmarium subcrenatum Hantz		x		x	997
	Cosmarium tinctum Ralfs		x			1745
	Crucigenia apiculata (Lemmermann) Schmidle	x	x			1496
	Crucigenia irregularis Wille				x	2244
	Crucigenia quadrata C. Morren	x	x	x	x	14210
	Crucigenia rectangularis irregularis Wille	x	x	x	x	30165
	Crucigenia tetrapedia (Kirch.) W. West and G. S. West	x	x	x	x	209911
	Crucugeniella pulchra (W. et G. S. West) Kom			x	x	748
	Euastrum insulare (Wittr.) Roy		x			249
	Keratococcus bicaudatus (A. Bhraun) J.B.Petersen 1928	x	x	x	x	46619
	Kirchneriella irregularis (G. M. Smith) Korshkov 1953	x	x	x	x	748399
	Kirchneriella aperta Teiling 1912			x		499
	Kirchneriella lunaris (Kirchner) Moebius	x	x	x	x	20941
	Kirchneriella obesa (W. West) Schmidle	x	x	x	x	619511
	Monoraphidium arcuatum (Korshikov) Hindák 1970	x	x	x	x	33406
	Monoraphidium contortum (Thurs.) Kom. -leg.	x	x	x	x	89748
	Monoraphidium griffithii (M. J. Berkeley) Komarkova-legn.		x			249
	Monoraphidium irregulare (G. M. Smith) Komárkova- Legnerová 1969	x	x	x	x	144843
	Monoraphidium minutum (Nägeli) Komárkova- Legnerová 1969				x	249
	Nephrocytium limneticum (Smith) Kuetzing	x	x	x	x	4986
	Netrium interruptum (Brebisson) Luetkem		x			249
	Oocystis apiculata West 1893				x	499
	Oocystis sp Naegeli Ex A. Braun, 1855	x	x	x	x	17950
	Pediastrum duplex Meyen	x	x	x	x	3490
	Pediastrum simplex Meyen Lemm		x	x	x	4986
	Pediastrum simplex var radians Meyen Lemm		x			499

	Pediastrum simplex var simplex Meyen Lemm				x	499
	Pediastrum tetras (Ehrenberg) Ralfs		x	x	x	10969
	Polyedriopsis spinulosa Schmidle, 1899		x			499
	Scendesmus caudato- aculeolatus Chodat 1926				x	249
	Scenedesmus abundans (Kirchn.) Chodat		x			249
	Scenedesmus acuminatus (Lagerheim) Chodat	x	x	x	x	1745
	Scenedesmus acutus Lagh. Chodat			x	x	997
	Scenedesmus armatus (Chodat) G. M. Smith			x	x	1745
	Scenedesmus baculiformis Chodat R. 1926		x	x	x	748
	Scenedesmus bicaudatus (Guglielmetti-printz)	x	x	x	x	33406
	Scenedesmus brasiliensis Bohlin	x	x	x	x	83017
	Scenedesmus communis E. H. Hegewald 1977	x	x	x	x	48364
	Scenedesmus denticulatus Lagerhiem		x	x		1247
	Scenedesmus falcatus Chodat		x	x	x	19695
	Scenedesmus intermedius var balatonicus Chodat		x			249
	Scenedesmus javanensis Chodat R. 1926		x	x	x	2992
	Scenedesmus longus ellipticus (West and West) G. M. Smith				x	249
	Scenedesmus oahuensis (Lemmermann) G. M. Smith			x		249
	Scenedesmus obtusus Meyen				x	249
	Scenedesmus obliquus (Turbin) Kützing	x	x	x		3740
	Scenedesmus perforatus Lemmermann E. 1903		x			249
	Scenedesmus planktonicus (Korshikov) Fott 1973			x		249
	Scenedesmus quadricauda (Turpin) Breb		x	x	x	12216
	Scenedesmus smithi Teiling, E. 1942				x	249
	Scenedesmus verrucosus Y. V. Roll 1925	x		x	x	3241
	Schroederia robusta Korshikov 1953	x	x	x	x	68558
	Scnedesmus opoliensis P. G. Richter 1897				x	249
	Selanastrum gracile Reinsch				x	748
	Staurastrum sp. Meyen Ex J. Ralfs, 1848		x	x		499
	Staurastrum spongiosum Brebisson		x			1496
	Staurodesmus incus (Brebisson) Teil.		x			249
	Tetraedron regulare Kuetzing		x	x	x	4737
	Tetraedron caudatum (Corda) Hansgirg		x	x	x	8975
	Tetraedron incus (Teiling) G. M. Smith		x		x	1496
	Tetraedron minimum (A. Br.) Hansg.	x	x	x	x	50359
	Tetraedron sp Kuetzing, 1845		x	x	x	2244
	Tetraedron triangulare Korschikov, O. A. 1953	x	x	x	x	6731
	Tetrastrum staurogeniaeforme (Schroeder) Lemm.		x	x	x	14958
	Treubaria setigera (W. Archer) G. M. Smith 1933				x	249
	Xanthidium antilopaeum var. Polymazum				x	249

Cyanophycota	*Anabaena affinis Lemmermann*				x	249
	Anabaena solitaria Klebahn 1895				x	249
	Anabaena spiroides Klebahn 1895	x	x	x	x	182737
	Anabaena sp. St. Vincent, 1886, Ex Bornet and Flah			x	x	499
	Anabaenopsis elenkenii Miller, 1923		x	x	x	36896
	Aphanocapsa sp. Nageli, 1849		x			748
	Chroococcus dispersus (Keis.) Lemmermann	x	x	x	x	58586
	Chroococcus minutus (Kuetzing) Naegeli	x	x	x		100468
	Chroococcus sp. Nageli, 1849	x	x		x	10221
	Chroococcus varius A. Brown		x		x	3740
	Merismopedia glauca (Ehr.) Naegeli		x	x	x	37894
	Merismopedia tenuissima Lemmermann		x	x	x	45373
	Microcystis aeruginosa (Kutzing) Lemmermann		x	x	x	18698
	Microcystis flosaquae (Wittr.) Kirchn	x	x	x	x	79028
	Microcystis pulverea incerta (Lemmernann) Crow	x	x	x	x	84513
	Nostoc coeruleum Lyngbya	x	x			3490
	Oscillatoria tenerrima Sámano Bishop				x	249
	Oscillatoria tenuis Agardh	x				499
	Oscillatoria sp. Vaucher Ex Gomont, 1893	x				997
	Spirulina gleiteri G. De Toni	x			x	5485
Euglenophycota	*Lepocinclis texta (Dujardin) Lemmerman*			x		499
	Euglena acus Ehrenberg			x		249
	Euglena chadefaudii Bourrelly			x		3241
	Euglena chlamydophora Mainx		x		x	748
	Euglena exilis Gojdics				x	249
	Euglena granulata (G. A. Klebs) F. Schmitz 1884		x	x	x	2992
	Euglena oxyuris fo maior / Euglena oxyuris Schmarda			x	x	748
	Euglena oxyuris Schmarda	x	x			1247
	Euglena sp. Ehrenberg 1838		x	x	x	10969
	Euglena spirogyra Ehrenberg 1838		x	x		997
	Euglena splendens Bs) Lemmermann		x	x	x	6980
	Euglena guntheri Gojdics		x	x		2742
	Lepocinclis playfairiana Deflandre 1932		x			499
	Lepocinclis sp. Perty 1852			x	x	997
	Phacus acuminatus A. Stokes 1885			x	x	499
	Phacus caudatus K. Hübner 1886				x	249
	Phacus orbicularis Hubner		x		x	997
	Phacus pleuronectes (O. F. Müller) Dujardin 1841	x	x	x	x	1994
	Phacus pusillus Lemmermann 1910		x	x	x	5235
	Phacus pyrum Ehrnb Stein	x				748

	Phacus sp1 Dujardin 1841	x	x	x	x	55095
	Phacus sp2 Dujardin 1841	x	x	x	x	12714
	Phacus sp3 Dujardin 1841	x	x			41135
	Phacus sp4 Dujardin 1841		x			249
	Phacus tortus (Klemmermann) Skvortsov 1928	x	x	x		2742
	Phacus triqueter (Ehrenberg) Dujardin 1841	x	x	x		997
	Strombomonas acuminatus (Scmarda) Deflandre 1930			x	x	1745
	Strombomonas sp Deflandre 1930		x	x	x	21191
	Strombonas costata Deflandre		x			249
	Trachelmonas manginii Deflandre 1926				x	249
	Trachelomonas granulosa Playfair			x	x	5485
	Trachelomonas hispida (Perty) Stein			x		499
	Trachelomonas hispida coronata Lemmermann			x		249
	Trachelomonas sp Ehrenberg 1833	x	x	x	x	69804
Pyrrophycophyta	*Peridinium inconspicuum Lemmermann 1899*		x	x	x	5734
Xantophyta	*Bumilleropsios petersiana Vischer at Pascher 1936*		x			249
	Centritactus belenophorus Lemmermann 1900		x			1496
	Goniochloris mutica (A.Braun) Fott 1960	x	x	x	x	110689
	Goniochloris sculpta Geitler 1928			x		499
	Ophiocytium sp. Naegeli, 1849				x	12465
	Tetradriella sp Pasher 1930	x	x	x		4487
	Total	51	122	115	114	

En la Tabla 33 se muestran las especies más frecuentes así como su abundancia en los sistemas las cuales representan a cada una de las divisiones.

Tabla 33. Abundancia y frecuencia de aparición de las especies en los Planes

División	Especie	Plan 1	Plan 2	Plan 3	Plan 4	Abundancia	Frecuencia
Bacillariophyta	*Melosira sp*		x	x	x	15457	77
	Navicula sp		x	x	x	12714	69
Chlorophyta	*Ankistrodesmus falcatus*	x	x	x	x	124899	100
	Chlorococcum infusionum	x	x	x	x	991715	100
	Crucigenia tetrapedia	x	x	x	x	209911	100
	Kirchneriella irregularis	x	x	x	x	748399	100
	Kirchneriella obesa	x	x	x	x	619511	100
	Monoraphidium irregulare	x	x	x	x	144843	100
Cyanophycota	*Anabaena spiroides*	x	x	x	x	182737	85
	Chroococcus dispersus	x	x	x	x	58586	100
	Microcystis flosaquae	x	x	x	x	79028	85
Euglenophycota	*Phacus sp*	x	x	x	x	55095	92
	Trachelomonas sp	x	x	x	x	69804	38
Pyrrophycophyta	*Peridinium inconspicuum*		x	x	x	5734	38
Xantophyta	*Goniochloris mutica*	x	x	x	x	110689	100

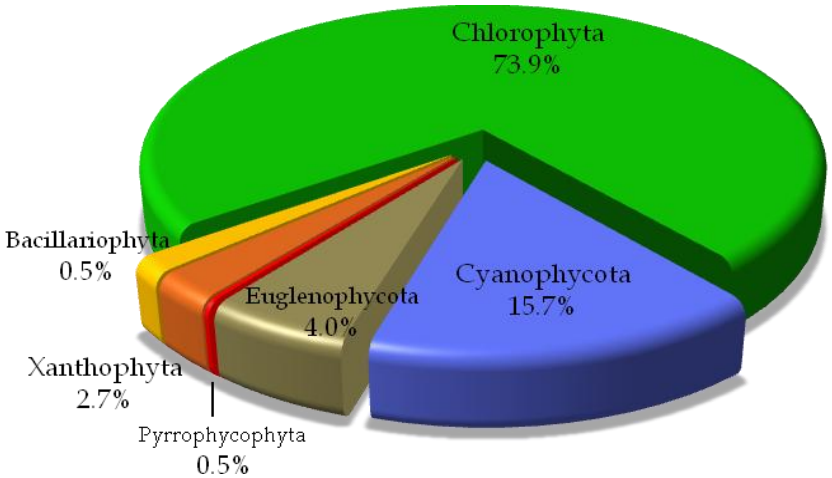

Figura 110. Composición por porcentaje de las divisiones para los Planes

La Figura 110 muestra el porcentaje general para todos los Planes en todos los muestreos, donde la división Chlorophyta fue la dominante con el 73.9%, le continuó la Cyanophycota con el 15.7%, la tercera en abundancia fue la división Euglenophycota con el 4%, Xanthophyta con el 2.7% ocupó el cuarto lugar y por último Bacillariophyta y Pyrrophycophyta con el 0.5 % cada una.

En la Tabla 34 se muestran los valores obtenidos al aplicar el índice de Jaccard para comparar la similitud que existe entre los Planes; los Planes 3 y 4 presentan el valor más alto y esto no es de sorprender, ya que en muchos otros parámetros se ha observado que estos sistemas mostraron gran similitud, considerando que en este índice los valores oscilan de 0 a 1 y existe entre ellos más del 50% de similitud, los que menos especies comparten son los Planes 1 y 4, el Plan 2 es intermedio para todos los Planes, mientras que el Plan 1 es el menos parecido al resto.

Tabla 34. Comparación del índice de Jaccard para los sistemas

Plan	Número de especies	Plan	Número de especies	Índice de Jaccard
1	54	2	105	0.383
1	54	3	111	0.320
1	54	4	114	0.305
2	105	3	111	0.469
2	105	4	114	0.444
3	111	4	114	0.510

7.5.3. Análisis Estadístico

7.5.3.1. Comparación entre sistemas

Se determinaron 24 parámetros para los cuatro sistemas y se realizó la prueba de Levene para determinar la homogeneidad de varianzas de los parámetros entre los cuatro sistemas, cuando no cumplieron este supuesto se requirió el uso de la prueba de Kruskal Wallis.

Al realizar la comparación entre sistemas los siguientes parámetros registraron diferencias estadísticamente significativas, con un nivel de significancia del 95%: profundidad máxima (H=19.1197; p=0.0002), transparencia (H=11.9253; p=0.0076), área (H=17.342; p=0.0006), dureza total (H=5.44; p= 0.0030), dureza de calcio (F= 3.98; p= 0.0139), ortofosfatos (F=15.8025; p=0.0012), fosforo total (F=25.9043; p=0.0000), nitritos (F=4.13; p=0.0118), clorofila "a" (F= 17.36; p=0.0000) y abundancia (H= 10.5356; p= 0.0145). En tanto que el resto de los parámetros no registraron diferencias estadísticamente significativas entre sistemas.

7.5.3.2. Correlaciones

Tabla 35: Valores de correlación para las variables analizadas

Variables	Valor-P	R	Variables	Valor-P	R
Temperatura y T del agua	0.0000	0.8734	T ambiente y T del agua	0.0056	0.4021
Dureza total y Dureza de calcio	0.0000	0.8578	Transparencia y Equitatividad	0.0057	-0.4016
Ortofosfatos y Fosforo total	0.0000	0.7928	Nitritos y Alcalinidad total	0.0067	0.3944
Conductividad y SDT	0.0000	0.7309	Fosforo total y pH	0.0070	0.3925
Transparencia y Oxigeno	0.0000	0.6934	Nitritos y T ambiente	0.0082	0.3853
Temperatura y Alcalinidad total	0.0000	0.6757	Nitritos y T del agua	0.0082	0.3853
T del agua y Alcalinidad total	0.0000	0.6687	Oxigeno y Abundancia	0.0085	-0.3834
T del agua y Conductividad	0.0000	0.6662	Z y Abundancia	0.0101	-0.3758
Transparencia y Área	0.0000	0.6598	Z y Clorofila “a”	0.0101	0.3754
T del agua y SDT	0.0000	0.6587	Silicatos y Precipitación	0.0164	0.3733
Temperatura y SDT	0.0000	0.6587	Área y Abundancia	0.0109	-0.3721
Temperatura y Conductividad	0.0000	0.6328	T agua y Área	0.0119	-0.3680
Silicatos y Conductividad	0.0000	-0.6301	Amonio y Oxigeno	0.0120	0.3676
Amonio y Transparencia	0.0000	0.6140	Nitratos y Dureza de calcio	0.0128	-0.3645
Amonio y Equitatividad	0.0000	-0.5975	Nitritos y Sólidos totales	0.0133	0.3624
Oxigeno y Área	0.0000	0.5879	T ambiente y pH	0.0140	0.3601
SDT y Abundancia	0.0000	0.5626	T ambiente y SDT	0.0149	0.3568
Nitritos y SDT	0.0001	0.5531	Nitratos y fosforo total	0.0151	0.3562
Silicatos y SDT	0.0001	-0.5421	Sólidos totales y Alcalinidad total	0.0162	0.3528
SDT y Alcalinidad total	0.0003	0.5099	Silicatos y Temperatura	0.0164	-0.3521
Nitritos y Abundancia	0.0004	0.5024	Temperatura y Área	0.0181	-0.3471
Nitritos y Temperatura	0.0005	0.4950	Silicatos y Alcalinidad total	0.0192	-0.3442
Transparencia y Abundancia	0.0005	-0.4947	Temperatura y T ambiente	0.0210	0.3395
Z y pH	0.0006	-0.4882	Nitritos y Conductividad	0.0210	0.3395
Nitritos y Nitratos	0.0010	0.4710	Área y Equitatividad	0.0217	-0.3378
pH y Área	0.0011	-0.4649	Temperatura y Abundancia	0.0219	0.3372
Conductividad y Alcalinidad total	0.0011	0.4646	Conductividad y Dureza de calcio	0.0226	0.3356
Nitritos y Área	0.0011	-0.4645	Z y Precipitación	0.0226	0.3355
Nitratos y Dureza total	0.0012	-0.4638	Precipitación y Equitatividad	0.0246	0.3310
Silicatos y T del agua	0.0015	-0.4541	Silicatos y Z	0.0251	0.3300
Z y SDT	0.0015	-0.4540	T ambiente y Clorofila “a”	0.0233	0.3340
pH y Abundancia	0.0016	0.4528	T ambiente y Dureza total	0.0266	0.3269
Silicatos y pH	0.0017	-0.4500	Amonio y Precipitación	0.0282	-0.3237
Silicatos y Dureza total	0.0017	-0.4498	Dureza total y Clorofila “a”	0.0290	0.3222
Nitratos y Abundancia	0.0022	0.4396	Nitritos y Silicatos	0.0321	-0.3166
Silicatos y Dureza de calcio	0.0022	-0.4396	DBO y Dureza total	0.0325	-0.3159
T ambiente y Alcalinidad total	0.0023	0.4391	Fosforo total y Z	0.0271	-0.3259
T del agua y Sólidos totales	0.0024	0.4373	Conductividad y abundancia	0.0339	0.3134
SDT y Área	0.0024	-0.4368	Z y Alcalinidad total	0.0347	-0.3121
Temperatura y Sólidos totales	0.0027	0.4318	Conductividad y pH	0.0363	0.3096
Conductividad y Área	0.0029	-0.4300	Z y Área	0.0396	0.3046
Silicatos y Área	0.0030	0.4277	Ortofosfatos y Dureza total	0.0418	-0.3014
T ambiente y Área	0.0039	-0.4171	Conductividad y Dureza total	0.0400	0.3039
Z y Conductividad	0.0040	-0.4163	Precipitación y pH	0.0409	-0.3026
SDT y pH	0.0041	0.4156	Ortofosfatos y Transparencia	0.0441	-0.2983
Nitritos y Fosforo total	0.0043	0.4129	Z y Transparencia	0.0451	0.2969
T del agua y Dureza total	0.0049	0.4081	Clorofila “a” y Área	0.0468	-0.2947
Silicatos y T ambiente	0.0050	-0.4072	Temperatura y Dureza total	0.0485	0.2925
Fosforo total y Transparencia	0.0053	-0.4048	Sólidos totales y Dureza de calcio	0.0494	-0.2915

La Tabla 35 muestra los pares de variables que con la prueba de Pearson mostraron correlaciones ordenados de mayor a menor intensidad, donde se tiene a la temperatura del agua y la temperatura media mensual del municipio, enseguida las durezas, que en todos los casos presentan una alta correlación y esta no es la excepción, posteriormente están los ortofosfatos y el fósforo total, estos pares de variables presentan una evidente alta correlación, por ejemplo la conductividad y el SDT es el par consecutivo, estas variables tienen una clara correlación pues los sólidos disueltos tienen gran influencia en el valor de la conductividad, la transparencia y el oxigeno son variables con gran correlación pues el aumento de la transparencia permite que los organismos autótrofos obtengan de la luz solar la energía y oxigenen el sistema, estos pares de variables son los más fáciles de explicar pues su correlación es más o menos alta.

Entre otros pares de variables a resaltar son los nitratos con fósforo total, nitritos con fósforo total, nitratos con nitritos, es decir para estos sistemas hubo correlación entre los nutrimentos, como era de esperarse. Los que menos correlación presentaron fueron temperatura y dureza total (R=0.29) y los sólidos totales y la dureza total pero con el comportamiento inverso (R=-0.29).

7.5.3.3. Análisis Multivariado

Al aplicar el análisis de componentes principales (ACP) (Tabla 36), de 25 variables originales que se tomaron en este caso se extrajeron 8 componentes que tuvieron eigenvalores mayores o iguales que 1.0. En conjunto ellos explican 80.72% de la variabilidad en los datos originales.

Tabla 36. Análisis de Componentes Principales para los Planes

Componente Número	Eigenvalor	Porcentaje de Varianza	Porcentaje Acumulado	Componente Número	Eigenvalor	Porcentaje de Varianza	Porcentaje Acumulado
1	6.3863	25.545	25.545	14	0.343132	1.373	94.297
2	3.76476	15.059	40.604	15	0.306193	1.225	95.522
3	2.34885	9.395	50.000	16	0.248939	0.996	96.518
4	2.28889	9.156	59.155	17	0.227325	0.909	97.427
5	1.69385	6.775	65.931	18	0.168845	0.675	98.102
6	1.45691	5.828	71.758	19	0.145423	0.582	98.684
7	1.16919	4.677	76.435	20	0.0881488	0.353	99.037
8	**1.07119**	**4.285**	**80.720**	21	0.0803263	0.321	99.358
9	0.834272	3.337	84.057	22	0.0668502	0.267	99.625
10	0.658631	2.635	86.691	23	0.04427	0.177	99.802
11	0.609462	2.438	89.129	24	0.0276885	0.111	99.913
12	0.498734	1.995	91.124	25	0.0217331	0.087	100.000
13	0.450079	1.800	92.925				

En la Tabla 37 se muestran los pesos de los componentes, el componente que explica en un 25.545% la variabilidad de los datos está compuesto por el SDT, la temperatura media

mensual del municipio, los sólidos disueltos totales y la temperatura del agua; el segundo componente que explica el 15.059% está compuesto por los nitratos, fósforo total y la dureza; en el tercer componente que explica el 9.395%, se ubican a la precipitación, el pH y los sólidos totales. Estos tres componentes en conjunto explican el 50%de la varianza total. Explicando el 9.156% están la transparencia y el oxígeno disuelto y el amonio; el componente cinco explica el 6.775% y está compuesto por la clorofila "a"; el sexto componente que explica el 5.828% está compuesto por la alcalinidad total; el séptimo componente explicando el 4.677% está compuesto por los sulfatos, la profundidad máxima y la clorofila "a" y por último el componente que explica el 4.285% está compuesto por la temperatura ambiente, el DBO y la conductividad. Por lo que se considera que estos parámetros considerados en cada componente, son los que explican el comportamiento del sistema.

Tabla 37. Pesos de las variables en cada uno de los componentes para los Planes

	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4	Componente 5	Componente 6	Componente 7	Componente 8
Nitritos	0.255232	0.141118	-0.135485	-0.193068	-0.259999	-0.158863	0.0987291	-0.147317
Nitratos	0.0357842	**0.315766**	-0.0697636	-0.289686	-0.157057	-0.171786	-0.185439	-0.252878
Ortofosfatos	0.0150377	0.346124	0.143333	0.0706282	**0.373714**	-0.26811	0.0386083	-0.0106159
Silicatos	-0.253039	0.225272	-0.172311	-0.0147516	0.10013	-0.0838872	0.0147798	0.141089
Sulfatos	0.0551844	0.0767469	0.111742	-0.0230973	0.216861	0.390785	**0.658129**	0.069401
Amonio	-0.0692627	-0.107246	0.278491	**-0.413425**	-0.0859071	-0.204856	0.239036	0.0800289
Fosforo total	0.141668	**0.360092**	0.149608	-0.0330071	0.208125	-0.244791	0.18124	-0.0255254
Z	-0.20607	-0.0765615	-0.288302	0.217476	-0.123073	-0.180402	**0.352419**	0.00197966
Área	-0.274678	-0.0642815	-0.088354	**-0.277717**	0.22406	-0.0731046	0.136806	-0.0497809
Precipitación	-0.0736463	0.0624588	**-0.38712**	0.154534	0.364347	-0.252574	-0.0638909	0.0522646
Temperatura	**0.310399**	-0.0350451	-0.271158	-0.0480708	0.26202	-0.0488169	0.120161	0.0498781
T amb	0.223773	-0.0809749	0.0298275	-0.0125678	-0.266148	-0.307492	-0.115853	**0.452703**
T agua	**0.303996**	-0.138616	-0.276311	-0.0241925	0.193563	-0.0152762	0.00263991	0.0924365
Transparencia	-0.204312	-0.237654	-0.0515282	**-0.390267**	0.0289416	-0.104784	0.12656	0.0861115
Conductividad	**0.295919**	-0.0907956	-0.0116614	-0.0277382	0.205498	0.140305	-0.13987	**-0.316275**
SDT	**0.333349**	-0.0259172	-0.0124722	-0.136654	-0.00937322	-0.0138004	-0.000359478	-0.209193
pH	0.223816	0.0833235	**0.310632**	-0.0382175	-0.00437719	0.082963	0.0475774	0.305527
Oxigeno	-0.127411	-0.182649	-0.000219219	**-0.432759**	0.118876	-0.150176	-0.0329755	-0.0900596
DBO	-0.0497692	0.141253	-0.262705	-0.0974094	-0.256015	0.245582	0.149874	**-0.418558**
Sol tot	0.111573	0.108874	**-0.369571**	-0.2815	0.0330093	0.0879777	-0.12211	0.259138
Dureza total	0.125816	**-0.398516**	0.0700474	0.113755	0.103022	-0.215665	0.0711179	-0.129808
Dureza de calcio	0.0930275	**-0.361089**	0.177551	0.054988	0.201044	-0.15992	-0.0391401	-0.291366
Alc total	0.250306	-0.15186	-0.19085	-0.164239	-0.0191387	**0.266797**	0.0752965	0.229041
Clorofila "a"	0.118928	-0.106708	-0.167458	0.231717	-0.32671	-0.343074	**0.378719**	-0.0574153
Abundancia	0.237211	0.246419	0.128968	-0.0620082	-0.056477	-0.153532	0.155494	-0.093624

Los componentes principales (Figura 111) que divide a los parámetros en cuadrantes de donde se puede definir:

En el cuadrante superior derecho se concentran los principales nutrientes, el fósforo total, ortofosfatos, nitritos, nitratos y sulfatos así como los sólidos totales, pH y la abundancia, por tanto este cuadrante está definiendo por el factor biológico. En el cuadrante inferior derecho están la dureza, la alcalinidad así como el SDT y conductividad que son factores

edáficos asociados a las épocas de dilución y concentración; así mismo, en este mismo cuadrante encontramos a las temperaturas ambiente, del agua y media mensual como elementos del factor climático relacionados con el elemento biótico (clorofila "a"). En el cuadrante superior izquierdo están la precipitación, el DBO y los silicatos. En el cuadrante inferior izquierdo se encuentran el área y la profundidad máxima (como factor morfométrico) asociado al oxígeno disuelto, la transparencia, y el amonio.

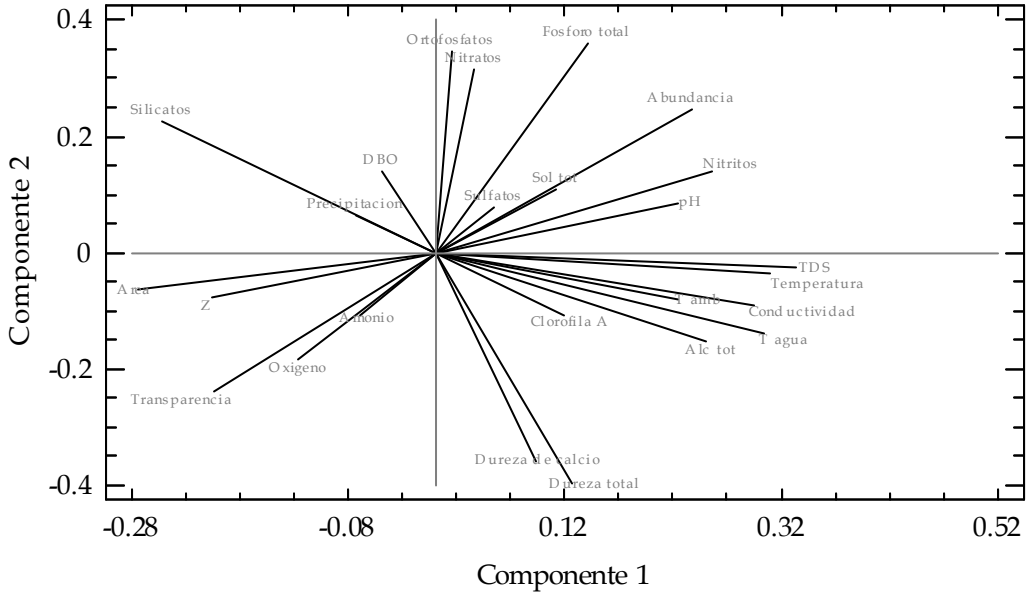

Figura 111. Relación entre variables y factores para los Planes

Los puntos que representan los muestreos y las variables en la Figura 112con apoyo de la Figura 113 obtenida a través de la prueba de conglomerados que nos delimita los grupos de muestreos con base en sus relaciones arroja los siguientes resultados.

Grupo 1: Temporada de lluvias, que cuenta con muestreos de los 4 meses que incluyen Agosto, Septiembre, Octubre, Noviembre y Diciembre, que se relacionan en la Figura 112 con las variables que representan el factor morfométrico (área, profundidad máxima) y las variables que afectan directamente: oxigeno, amonio, silicatos y transparencia.

Grupo 2: Temporada de secas frías, que incluye los meses de Noviembre, Diciembre Enero, Febrero principalmente, ubicando a estos muestreos en la Figura 112 tenemos que las variables que unen a estos en grupo son: silicatos, precipitación y DBO.

Grupo 3: Temporada de secas cálidas, cuenta con muestreos de los tres sistemas presentes en esta temporada a lo largo de Marzo, Abril, Mayo y Junio, ubicando a estos muestreos en la Figura 112 con las variables que forman parte del factor edáfico alcalinidad total, SDT, conductividad, pH, nitritos además de: las temperaturas, la clorofila "a", abundancia. Que es representado también por la asociación que se da al agrupar los diferentes muestreos por época de muestreo.

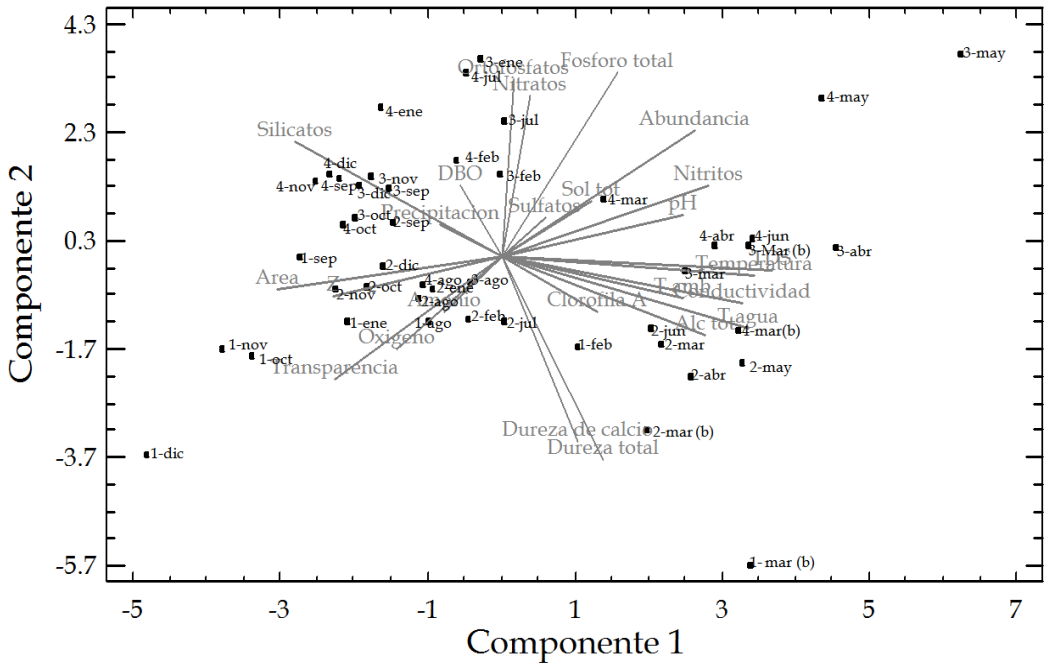

Figura 112: Comportamiento de las variables y los meses de monitoreo de los Planes

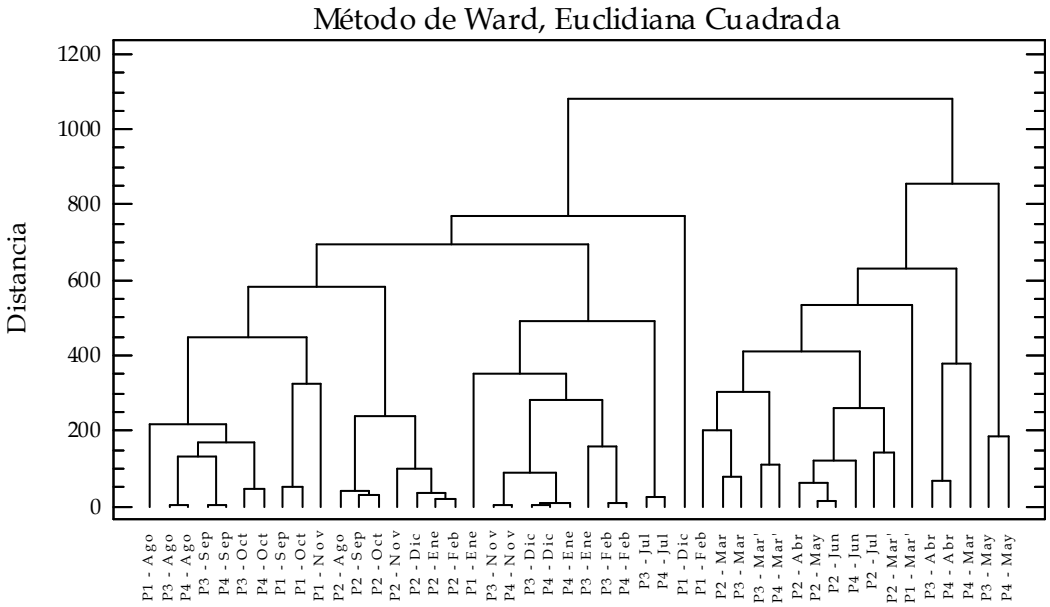

Figura 113. Dendograma de asociación para los Planes

8. DISCUSION

8.1. Morfometría

Los Planes son bordos que pueden clasificarse como microreservorios, por ser sistemas artificiales que ocupan un área muy pequeña de terreno, según Hernández-Avilés *et al.* (2002) y se les puede considerar embalses someros con profundidades máximas entre 1 y 5 metros (Hernández-Avilés *et al.*, 2007).

Con base en los valores de área y perímetro los cuatro sistemas presentan a lo largo de un año, temporadas de concentración por tasas de evaporación, uso doméstico y filtración de noviembre a junio y una temporada de dilución de julio a octubre por efecto de la temporada de lluvias. La temporada de concentración coincide con la temporada de secas por la ausencia de lluvias; sin embargo, con base en la temperatura y la tasa de evaporación esta temporada se divide a su vez en dos temporadas: la temporada de secas frías, de noviembre a febrero y la de secas cálidas que abarca de marzo a junio.

Se encontró relación positiva entre el área con la transparencia por efecto del aumento de agua causando dilución de sus componentes por aumento del área. Hernández-Avilés *et al.* (2002) mencionan que en la fase de dilución, la concentración de oxígeno incrementa por efecto de la lluvia y en la etapa de concentración se reduce por el aporte constante de materia orgánica, debido a los procesos de descomposición en la zona adyacente a los sedimentos, donde se incrementa de bióxido de carbono como producto final de la degradación y por último, los silicatos que aumentan su concentración a causa del arrastre.

Hay otros parámetros para los que se encontró relación inversa con el área, los cuales son: el pH, SDT y conductividad, estos tres de carácter edáfico, lo cual indica que el arrastre provocado por las lluvias no tiene tanto efecto en su incremento como lo tienen los efectos de concentración provocados por el aumento de la temperatura y la disminución de las precipitaciones. También se registró que la temperatura ambiente, del agua y media mensual en el municipio, tienen relación inversa con él área, pues como se acaba de mencionar el incremento de la temperatura así como la evaporación son factores muy importantes en la disminución del área de los sistemas así como el uso al que se destina el recurso; por el lado de los nutrimentos los nitritos son los únicos cuya relación con el área es inversa y en el caso de los parámetros biológicos, los tres que se sometieron a esta prueba, resultaron inversamente relacionados con el área, es decir al parecer cuanto más concentrado esta el sistema también hay más fitoplancton y este se encuentra equitativamente distribuido.

Hay registro del área de Plan 1 en mayo, pero debido a que la profundidad era mínima no se realizaron muestreos de este sistema hasta la época de lluvias y se clasificó como

temporal, otro punto a aclarar al respecto es que en julio, que es el comienzo de la época de lluvias el sistema había captado suficiente agua para ser muestreado, pero los muestreos se realizaron a partir del mes de Agosto. Presentó en septiembre su mayor área, que fue de 2921 m^2, en tanto que en un estudio previo realizado en estos sistemas por Ramírez (2008) fue de 3032 m^2, esta discrepancia quizás se deba a que las lluvias pudieron ser más intensas en los años de estudio por Ramírez (2008) o la explotación del recurso en el año de este estudio fue mayor.

El Plan 2 es un sistema permanente, tuvo su mayor área en septiembre con 1407 m^2, Ramírez (2008) registró un área máxima de 1066 m^2 y lo clasifica como el sistemas más profundo de un total de 7 sistemas que abarcó su estudio en el municipio, coincidiendo con la comparación aquí realizada con los sistemas estudiados, pues en efecto, es el más profundo de los cuatro Planes estudiados, por ser el más profundo en temporada de secas se tomaron dos muestras a distintas profundidades, mientras que en temporada de lluvias se tomaron muestras a tres profundidades. El resto de los Planes en secas, en el caso de los que estaban presentes, se tomó solo una muestra y en lluvias como máximo dos debido principalmente a la profundidad registrada en cada uno.

El Plan 3 en agosto tuvo máxima área con 967 m^2, fue en agosto y no en septiembre como en los otros dos Planes, esto se debio a que no tiene mayor capacidad y al alcanzar esa área el agua excedente escurre, aun que en septiembre hubiera más intensidad en las precipitaciones, Ramírez (2008) registró el área de 959 m^2 y lo clasifica como el más pequeño de los Planes, al igual que en este estudio. A pesar de su pequeño tamaño se trata de un sistema permanente, su área mínima es incluso menor a la que se registró en Plan 1; sin embargo, aún con un área menor si fue posible realizar los muestreos, aunque en el mes de junio no se tomaron muestras pues no había condiciones favorables.

En cuanto a las correlaciones con él área en este Plan se tiene relación positiva con la profundidad máxima, los silicatos y la equitatividad; con respecto a estas correlaciones las dos primeras ya se habían analizado en los otros Planes anteriores, la equitatividad se incluye por primera vez como una correlación positiva, pues en este Plan durante la temporada de secas hay una considerable dominancia de la especie *Kirchnerilla irregularis* lo cual cambia al comenzar la temporada de lluvias. Los parámetros que presentaron relación inversa con el área son la temperatura promedio del municipio y la temperatura del agua, ya que con el aumento de las temperaturas la evaporación es mayor, ocasionando una disminución en el área del sistema. Por otro lado, los parámetros de carácter edáfico como SDT, pH, la conductividad, alcalinidad total y sólidos totales incrementaron su concentración conforme disminuye el nivel del agua en el sistema. En cuanto a los nutrimentos los nitritos, ortofosfatos (fósforo reactivo disuelto) y el amonio incrementaron durante la época de estiaje ocasionado; por último, los parámetros biológicos como la clorofila "a" y la abundancia, disminuyó en la temporada de lluvias debido a que la población fitoplanctónica disminuyó considerablemente en relación con lo

obtenido en secas.

El Plan 4 en agosto también registró su máxima área con 1503 m^2 ya que el agua excedente de este sistema escurre a Plan 3, es por esto que estos sistemas se comportan de manera muy similar en la mayoría de los casos. Respecto al área Ramírez (2008) cita un valor de 1253.7 m^2 para este sistema.

En cuanto a las correlaciones con el área en el Plan 4, las mismas variables antes mencionadas en los otros sistemas presentaron correlación positiva con este sistema y los que registraron correlación inversa fueron SDT, alcalinidad total, pH, conductividad de carácter edáfico y que también han presentado esta correlación anteriormente la temperatura, la clorofila "a" y la abundancia.

8.2. Parámetros físicos, químicos y biológicos

Tebbutt (2002) menciona que para obtener una imagen completa de las características del embalse, es necesario realizar el análisis de la calidad del agua para determinar sus características físicas, químicas y biológicas, es por esto que se evaluaron 21 parámetros en cada sistema abarcando la dimensión abiótica que atiende las tres áreas: morfométrico, edáfico y climático (Rider, 1982, citado por Torres- Orozco, 2007) y la dimensión biótica.

Con base en las características térmicas estos sistemas se encuentran dentro de la clasificación de polimícticos cálidos (Lewis, 1983, citado por De la Lanza y García, 2002 y Arredondo 2007), por ser someros y encontrarse en latitudes tropicales, pues como ya se había mencionado De la Lanza y García (2002) mencionan que México se encuentra en una franja latitudinal del trópico al subtrópico. Para poder considerarlos como continuos o discontinuos, es necesario determinar si durante un periodo de 24 horas en diferentes épocas del año los sistemas se estratifican o no y así poder definir su estatus.

Al prestar atención en los parámetros que presentan diferencias entre los meses la mayoría coinciden con los que presentan algún tipo de correlación con el área. Con base en lo obtenido por el análisis de conglomerados se dividió el comportamiento de los sistemas en tres temporadas: de secas cálidas, que comprende los meses de Marzo, Abril, Mayo y Junio; temporada de lluvias que incluye los meses de Julio, Agosto, Septiembre y Octubre y, la temporada de secas frías en la que se consideraron los meses de Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero. Es de manera general, pues es el acomodo que se obtuvo de acuerdo al análisis de agrupamiento (Cluster) en el dendograma para los cuatro Planes juntos; sin embargo, en los dendogramas individuales este agrupamiento fue ligeramente distinto y con base en este agrupamiento se tomaron los meses para cada Plan para determinar el índice de estado trófico propuesto por Carlson (1977) y para sacar el promedio de los parámetros en cada temporada.

Con base en la división de las temporadas se tiene que Plan 1 en temporada de secas cálidas y lluvias se clasifica como hipereutrófico, en tanto que en secas frías como eutrófico. Ramírez (2008) lo clasifica como eutrófico en secas e hipereutrófico en lluvias; en tanto que los Planes 2, 3 y 4 son clasificados como hipereutróficos a lo largo de las tres temporadas, similar a lo reportado por Ramírez (2008). Hernández-Avilés *et al* (2002) mencionan que estos cuerpos de agua se tipifican como eutróficos en la época de dilución, pues presentan dilución de los materiales en solución y suspensión, decremento en la alcalinidad, dureza y conductividad, consecuencia de la época de lluvias e hipereutróficos en la de concentración, debida al incremento de los componentes, al reducirse el volumen por procesos de evaporación, uso del agua para riego y como abrevaderos, mientras que Arredondo (2007) menciona que estos sistemas mantienen una fuerte cantidad de sólidos disueltos en suspensión y tenderán a ser más productivos biológicamente, alcanzando niveles de eutrofia e hipereutrofia.

Rivera (2006) encontró que con base en el índice del estado trófico propuesto por Carlson (1977), el 88% de los sistemas que estudió en el estado de Morelos fueron clasificados como eutróficos con tendencias hipereutróficas, pues registra en temporada de lluvias que los sistemas son productivos y en la época de estiaje o secas, alta productividad, así como lo mencionado por Hernandez –Avilés (2007).

Chacón-Torres *et al* (2000) menciona que la hipereutroficación es un estado perturbado e inestable del ecosistema acuático, en el cual se desarrollan fluctuaciones extremas de la calidad del agua, produciendo altas tasas de productividad y baja diversidad de los florecimientos algales, pues como menciona Granados-Ramírez *et al*(2007) se considera de forma general que el estado trófico de cualquier ambiente acuático es un factor que puede causar cambios en la composición de especies tanto en sistemas temporales como en sistemas permanentes. Estos sistemas generan sustancias toxicas, producen gases y experimentan una reducción en el oxígeno que puede provocar la muerte masiva de peces.

Por lo tanto, los Planes se considera están influenciados por la estacionalidad climática, como lo menciona De la Lanza y García-Calderón (2002), ya que en México la mayoría de los embalses se presenta una marcada estacionalidad entre la época seca y la húmeda, en donde la sobreposición de actividades tiene diferente peso en las condiciones ambientales así como en los cambios en la columna de agua.

En el caso de los parámetros evaluados se determinó el promedio que estos presentaron en cada una de las temporadas obtenidas mediante el análisis de agrupamiento (conglomerados), a diferencia del trabajo de Ramírez (2008), toma en cuenta que los sistemas presentan dos distintas dinámicas dividiéndolo en temporada de secas y lluvias.

En cuanto a la profundidad máxima, el área y la transparencia, los cuatro sistemas registraron un aumento en la temporada de lluvias, una ligera disminución en secas frías y finalmente en secas cálidas los valores más bajos, excepto para la transparencia en el Plan

1, ya que presentó una transparencia total en la temporada de secas frías, en el resto la tendencia es la ya mencionada, este comportamiento se debe directamente al incremento en el volumen del agua, que ocasiona la dilución, comportamiento que concuerda con lo obtenido por Ramírez (2008). En la temporada de secas los valores fueron mucho menores que los de lluvias, estos son de gran importancia pues la reducción del volumen puede disminuir la profundidad de penetración de la luz debido a una mayor turbidez y por tanto de la producción primaria e incrementar la zona de descomposición como es mencionado por Hernández-Avilés *et al* (2002).

Guerrero (1991) asevera que uno de los factores que determina principalmente el comportamiento de este tipo de sistemas acuático es el edáfico, el cual se relaciona con los procesos de mineralización y acarreo de material alóctono a la cuenca, los cuales en su mayoría presentan los valores más altos en la temporada de secas cálidas, pues como menciona Díaz (2007) se tiene un alta evaporación del agua y por acción del viento, se genera una importante turbiedad por remoción de los sedimentos, disminuyen ligeramente en lluvias e incrementan gradualmente para la temporada de secas frías estos son, conductividad, alcalinidad total, sólidos totales y el SDT.
Según la ingeniería sanitaria (Contreras, 1994) se considera que de acuerdo a la dureza total, las concentraciones presentes en el Plan 2 en lluvias, Plan 3 en lluvias y secas frías y Plan 4 en las tres temporadas presentan aguas suaves, que se caracterizan por ser deficientes en calcio y magnesio; se consideran aguas moderadamente duras como es el caso de Plan 1 en lluvias y secas frías, Plan 2 en secas frías y Plan 3 en secas cálidas; aguas duras de 150mg/L a 300mg/L como es el caso de Plan 1 y 2 en secas cálidas. Parte de la interrelación que existe entre dureza total y alcalinidad total es que cuando la alcalinidad total del agua sobrepasa su dureza total; parte de los bicarbonatos y carbonatos está asociada con el sodio y el potasio, más que con el calcio o magnesio, el cual es el caso de nuestros sistemas. Por otro lado si la dureza total es mayor que la alcalinidad total, parte del calcio y el magnesio está asociada con otros aniones, más que con el bicarbonato y el carbonato (Contreras, 1994).

La gran mayoría de las muestras que se procesaron no presentaron alcalinidad a la fenolftaleína, debido a que solo presentan iones bicarbonatos medibles (Contreras, 1994).

La alcalinidad total alcanzó, en la temporada de secas su valor promedio más alto en Plan 4 alcanzando un valor de 154.09 mg/L, le sigue Plan 2 con 149.17 mg/L, Plan 3 con 145.73, por último el Plan 1 con 98.52, según Contreras (1994) los niveles de alcalinidad total para aguas naturales pueden ir de menos de 5 mg/L a más de 500 mg/L.

La conductividad por otra parte, dependerá de la concentración de sustancias ionizadas disueltas en el agua y de la temperatura a la que se realice el registro. En las aguas epicontinentales de México, varía desde 4.5 hasta 1 000 µs/cm y en zonas de elevada contaminación, algunas veces llega a exceder este valor. En acuicultura se puede utilizar

como un índice general de contaminación orgánica (Contreras, 1994). Por lo tanto, cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia, implica un cambio en la conductividad. Por ello, el valor es muy usado en análisis de aguas para obtener un estimado rápido del contenido de sólidos disueltos (Romero, 1999), en este caso los valores más altos, fueron detectados en el Plan 4 y el menor valor le correspondió al Plan 1. Ramírez (2008) reporta que la conductividad alcanzo cifras que doblan las de este estudio, principalmente en Plan 1.
En cuanto a la concentración de oxígeno disuelto, Hernández-Avilés *et al* (2002) señala que en la fase de dilución incrementa por efecto de la lluvia y en la etapa de concentración se reduce por el aporte constante de materia orgánica y la cantidad de los sólidos en suspensión, ya que cuando son excesivos reducen la penetración de la luz y por consiguiente limitan la fotosíntesis de las plantas (Guerrero, 1991) incrementándose la tasa de descomposición de la materia orgánica (Hernández y García ,2007) y ya que la fotosíntesis del plancton y los macrófitos constituye una fuente importante de oxígeno, la respiración y la descomposición de la materia orgánica puede consumir una fracción importante de dicho gas y llegar a agotarlo en el hipolimnion (González, 1988 y Hernández y García, 2007).

Así mismo, la concentración del oxígeno disuelto mostró variaciones estacionales resultado de las condiciones ambientales y biológicas, ya que en aguas dulces su concentración debe ser de 5.0 mg/L ó 3.5 mg/L (De la Lanza, 1990).

Uno de los ensayos más importantes para determinar la concentración de la materia orgánica de aguas es el ensayo de DBO a cinco días. Es una medida de la cantidad de oxigeno utilizada por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones aerobias, en un periodo de 5 días y a 20ºC. Este elemento es considerado como la clave para los ecosistemas acuáticos, ya que su disponibilidad por lo general regula la productividad primaria (Contreras, 1994) tomando en cuenta que la Norma Oficial Mexicana (NOM-001-SEMARNAT-1996) indica como LMP (límite máximo permisible) en promedio diario de 75 mg/L el DBO no rebaza este límite en ninguno de los sistemas.

Relativo a los nutrimentos Lara *et al* (1996) citan que la relación N:P es de 15:1, si la relación N:P disminuye, la escasez de nitrógeno puede limitar la producción primaria como es el caso de los Planes, pues la concentración de fosforo esta muy por encima de la de nitrógeno, dando una relación en promedio de 0.9:1. En estas condiciones las cianoficotas con heterocistos pueden obtener alguna ventaja para su crecimiento gracias a su capacidad para fijar el N_2 atmosférico. Romero (1999) menciona que la química del nitrógeno es compleja debido a los varios estados de valencia que puede asumir este elemento y al hecho de que los cambios en la valencia pueden ser afectados por organismos vivos. Lara *et al* (1996) señalan que el amonio y los nitritos son los primeros productos de la degradación orgánica efectuada por las bacterias. Las algas ingieren el

nitrógeno preferentemente como amonio, a pesar de que su concentración en aguas naturales es baja, en el caso de los Planes la concentración promedio fue de 0.28 mg/L, muy por debajo de los presentados por De la lanza (1990) que plantea que raramente excede a 10 mg/L y en forma frecuente es de 1 mg/L, pero el nitrato es más importante para su nutrición debido a su abundancia, ya que posterior a la oxidación de los nitritos por las nitrobacterias se forman los nitratos, que sirven como fertilizantes para las plantas (Romero, 1999). En este sentido De la lanza (1990) indica que los nitritos por ser una especie química intermedia, su concentración suele ser baja, menos de 0.2 mg/L, mientras que la concentración promedio de nitratos es cercana a la propuesta de 0.2225 mg/L. Sin embargo, según Lara *et al* (1996) el nitrógeno en forma de amoniaco puede ser nitrificado a nitratos y la nitrificación es más rápida a pH de 7 y 8 (Arredondo, 1998) que son los valores que prevalecen en los sistemas, ya que el pH promedio fue de 8.26 y es por esto quizás que el amonio se encuentra en tan bajas concentraciones.

Respecto al fósforo este puede limitar la productividad primaria de las aguas naturales (Barrera y Wong, 2007), ya que es ingerido por las células como ortofosfatos ó fósforo reactivo disuelto, pero es una forma lábil que precipita rápidamente formando fosfatos insolubles de calcio y de fierro dependiendo del pH del sistema. Arredondo (1998) señala que por lo general los lodos alcalinos o ácidos absorben más rápido el fósforo, que los ligeramente ácidos o neutros, como es el caso de los Planes, en promedio el fósforo fue de 0.7587 mg/L.

Lara *et al.* (1996) citan que el desmesurado aporte de sustancias contaminantes a los sistemas acuáticos, producto de la urbanización y el desarrollo industrial, ha elevado considerablemente los niveles de fósforo y originado una creciente eutrofización, que no siempre ha favorecido la producción biótica sino más bien el crecimiento de especies indeseables, provocando problemas de salud y deterioro del paisaje, ya que como advierte Romero (1999) la descarga de 1 g de fósforo en un lago, puede permitir la formación de más de 100 g de biomasa fitoplanctónica. Por lo tanto, el proceso de eutrofización es un elemento de gran interés, ya que López-López y Serna-Hernández (1999) mencionan que la eutrofización y azolve en los embalses artificiales se presentan con rapidez, por los múltiples usos al que son sometidos y al manejo inadecuado, de manera que su tiempo de vida útil varia de 10 a 100 años.

Según Hernández-Avilés *et al.* (2002), la concentración de nitrógeno y fósforo se puede elevar por el acarreo de materiales de la cuenca en el periodo de inundación y por la liberación de estos micronutrientes de la materia orgánica a lo largo del año. Guerrero (1991) menciona que los fertilizantes contienen fósforo y nitrógeno que al ser arrastrados a esteros y lagunas provocan un crecimiento desmedido de las especies acuáticas, alterando el equilibrio ecológico. Por otra parte, Ramírez (2008) cita a la temporada de lluvias como la temporada con mayor concentración de estos elementos, excepto el amonio que tiene su mayor concentración en secas, en los cuatro Planes, aún cuando sólo dividió la dinámica

de los sistemas en temporadas de lluvias y secas.

El ion sulfato es uno de los aniones más comunes en las aguas naturales; se encuentran en concentraciones que varían desde unos pocos hasta varios miles de mg/L. En los Planes su concentración promedio fue de 23.02 mg/L, según De la lanza (1990) en el caso de los sulfatos en agua dulce deben tener una concentración de 0.22 g/L, tomando esto en cuenta los Planes difieren por mucho esta concentración con una muy baja concentración de este componente. Con distintas concentraciones máximas en diferentes temporadas por sistema, Ramírez (2008) registra para los cuatro sistemas sus máximas concentraciones en secas.

La concentración promedio de Silicatos por otro lado, fue de 26.6 mg/L y su concentración más alta se sitúa en la temporada de lluvias para los Planes 1, 2 y 3, en tanto que en todos los casos la concentración más baja se ubica en la temporada de secas cálidas, es por esto que este elemento presenta una repetida correlación con los factores ambientales, pues su incremento está fuertemente vinculado a los arrastres que se realizan durante la temporada de lluvias.

En cuanto a las clorofilas el Plan 1 mantiene su concentración más alta a lo largo de todo el año, de hecho en la temporada de menor concentración mantiene una concentración muy por encima de la máxima de cualquier otro Plan. Ramírez (2008) menciona también que en temporada de lluvias se ubica la concentración más alta de clorofila en estos, lo cual coincide con lo obtenido en este estudio.

8.3. Fitoplancton

López-López y Serna-Hernández (1999) señalan que en latitudes tropicales, como es el caso del área de estudio, donde la luz y la temperatura son relativamente constantes, las variaciones estacionales del plancton dependen del efecto de las lluvias, la sequía e incluso de la mezcla. De acuerdo a Moreno (2003) es requisito indispensable que en las investigaciones hidrobiológicas se integre el estudio de las comunidades microalgales para determinar la calidad del agua y en este caso los organismos más representativos del fitoplancton en los bordos de climas cálidos fueron las clorofíceas, con los géneros *Monoraphidium, Selenastrum, Pediastrum, Coelastrum, Crucigenia* y *Scenedesmus*; siguiendo en orden descendente las bacilarioficeas, entre las que destacan *Navicula, Nitzschia* y *Melosira granulata*, tan característicos de los lagos productivos (Arredondo, 1990; Hernández-Avilés *et al*, 2002).

En el caso de Plan 1 en temporada de lluvias la división con mayor abundancia es Cyanophycota con 50.9%, lo cual coincide con la mayor concentración de fósforo, pues como ya se había mencionado esta división es favorecida por la baja concentración de

nitrógeno. Lara *et al* (1996) mencionan que algunas especies son capaces de fijar nitrógeno atmosférico dentro de células diferenciadas de pared muy gruesa, llamadas heterocistes, con lo cual regulan la proporción de N: P en la aguas, como se observa en temporada de secas frías donde la concentración de nitrógeno es la más alta para este sistema. Ramírez (2008) señala que en temporada de secas como lluvias la división Chlorophyta ocupó la máxima abundancia, seguida de Cyanophycota, en secas siguió Euglenophycota y Bacillariophyta, mientras que en lluvias estas dos últimas tuvieron la misma abundancia, su proporción es muy parecida a la determinada en este trabajo.

Por otro lado en la temporada de lluvias es Euglenophycota la segunda división más abundante, pues a diferencia de otros grupos algales, son unicelulares fotoauxotróficas; es decir, además de los nutrimentos inorgánicos y la luz necesaria para la fotosíntesis, requieren de por lo menos algún compuesto orgánico para crecer. Así mismo, gracias a su capacidad para asimilar el acetato y el alcohol como sustratos metabólicos, pueden sobrevivir como heterótrofas obligadas. Es por estas propiedades que en temporada de lluvias debido al aporte de materia orgánica abundante en estos sistemas y a que estos sistemas son ocupados como abrevaderos, esta división presenta este aumento. Cyanophycota es la tercera división en abundancia. También se registraron Bacillariophyta y Pyrrophycophyta, pero estas divisiones representan menos del 2%. Ramírez (2008) reporta solo 4 divisiones con el siguiente orden de mayor a menor abundancia: Chlorophyta, Cyanophycota, Euglenophycota y Bacillariophyta, esta última solo presente en temporada de secas, casi la misma proporción que la determinada en este trabajo; sin embargo, no se tienen registros de Xanthophyta que es una división de gran importancia en este sistema, pues crecen en aguas duras y enriquecidas con materiales húmicos (John *et al*, 2002) ni de Pyrrophycophyta que entre sus rasgos se puede mencionar la formación de mareas rojas, que algunas son bioluminicentes, producen toxinas y presentan características celulares y bioquímicas (Lara *et al*, 1996).

En el resto de los sistemas la división más frecuente en los sistemas fue Chlorophyta, le sigue la Cyanophycota, que son capaces de fotosintetizar a bajas intensidades de luz, son capaces de fijar nitrógeno, no crecen en ambientes ácidos a pH menor a 6 o con baja conductividad eléctrica (Lara *et al*, 1996). Todas estas restricciones a la presencia de Cyanophycotas, ayudan a entender la relación entre los factores bióticos y abióticos, pues como se vio anteriormente el pH en los sistemas es básico y la conductividad es moderada, enseguida la división Euglenophycota.

La división Xantophyta y Bacillariophyta existen en todos los hábitats, excepto en las zonas más calientes e hipersalinos. Dos factores en el caso de las diatomeas son esenciales en su supervivencia, la disponibilidad de silicio y la resistencia a sedimentarse (Lara *et al*, 1996) y la Pyrrophycophyta según Lara *et al* (1996) se le asocia con ambientes quietos y oligotróficos; sin embargo, en estos sistemas se encuentra en muy baja abundancia. Rivera (2006) estudio los sistemas acuáticos de la región norte-oriente del estado de Morelos y

registró a Chlorophyta como la división más abundante, Cyanophycota en segundo lugar y Euglenophycota y Bacillariophyta y Pyrrophycophyta en último, como se observa la proporción que Rivera (2006) maneja es parecida a la de este trabajo y se incluyó a la división Pyrrophycophyta, aunque Xanthophyta no es contemplada.

Para jerarquizar la dominancia de las especies se construyó el diagrama de Olmstead-Tuckey donde se divide a las especies en base a su abundancia y frecuencia en raras, ocasionales, constantes y dominantes. En los cuatro sistemas el grupo que englobó al mayor porcentaje de especies es el de especies raras, indicando esto, que las especies con pocos individuos y una baja frecuencia de aparición son la mayoría de las especies, pues como menciona Alcocer *et al* (2007) sobre los lagos de Chapultepec, que al ser las condiciones ambientales tan fluctuantes en el agua, se provoca que los grupos algales cambien con cierta rapidez, lo que resulta en un número elevado de fitoplancton, aun que dominen unas pocas.

En este estudio las especies más frecuentes dominantes fueron *Chlorococcum infusionum* y *Kirchneriella irregularis* las cuales además de ser las más dominantes pertenecen a la división Chlorophyta, mientras que las especies más abundantes registradas por Rivera (2006) fueron *Kirchneriella lunaris*; también hay representantes de las otras divisiones entre las especies más dominantes como son: *Chroococcus dispersus* y *Anabaena spiroides* de la división Cyanophycota; *Goniochloris mutica* de Xanthophyta; *Peridinium inconspicuum* en Pyrrophycophyta; *Phacus* sp y *Trachelomonas* sp de Euglenophycota y *Melosira* sp y *Navicula* sp en Bacillariophyta.

En cuanto al índice de diversidad beta, se empleó el índice de Jaccard en lugar del de Sorensen, pues éste según Rocha *et al* (2008) es una variante del coeficiente de Jaccard, que solamente difiere al proporcionar doble peso a las especies presentes en ambas muestras, por lo que los Planes 3 y 4 presentan el valor más alto, y esto no es de sorprender ya que en muchos otros parámetros se ha observado que estos sistemas muestran gran similitud, considerando que en este índice los valores van de 0 a 1 hay más del 50% de similitud entre estos sistemas, los que menos especies comparten son los Planes 1 y 4, el Plan 2 esta intermedio en similitud para todos los Planes, mientras que el Plan 1 es el menos parecido al resto.

El Análisis de Componentes Principales mostró que el comportamiento que se da en los sistemas "Los Planes" depende principalmente de la época del año, ya que las variables se agrupan entorno a la época de lluvias (dilución), en donde hay un incremento de los nutrimentos y la producción del sistema aumenta, dándoles la clasificación de hipereutróficos en esta época; mientras que en la época de secas (concentración) se nota la demanda por los nutrimentos y el aumento de los organismos productores (fitoplancton) clasificándose como sistemas eutróficos en esta época. El proceso de eutrofización esta

muy marcado en estos sistemas, particularmente para Los Planes este proceso es acelerado.

Con base en los resultados de la calidad del agua, estos sistemas presentan características físicas, químicas y biológicas típicas de los cuerpos de agua tropicales de esta zona en el Estado de Morelos. Los Planes son sistemas que están sujetos principalmente a condiciones naturales, están más a cargo del medio en el que se encuentran, siendo solamente el uso de abrevadero el que se les da y son aprovechados para la pesca recreativa, sin embargo la condición trófica que sostienen los sistemas tiene potencial para ser empleados para un cultivo y pesca más intensivos. Son sistemas con buena oxigenación, alcalinos, con aguas moderadamente duras, alta concentración, demanda de nutrimentos y buena abundancia fitoplancton.

9. CONCLUSIONES

- Se puede decir que la calidad que tienen estos cuerpos de agua es buena para el uso como abrevaderos que le da la población local, al no tener altas concentraciones fuera de los límites permisibles según las normas oficiales mexicanas (NOM-001-ECOL-1996 y Ley Federal de Derechos. Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2009).

- Se trata de sistemas someros que se encuentran dentro de la clasificación de Carlson (1977) como Hipereutróficos, excepto el Plan 1 en secas frías que se clasifica como eutrófico.

- Se identificaron un total de 180 especies de fitoplancton, con índice de diversidad promedio de 2.078 bits y equitatividad de promedio de 0.66.

- Los organismos fitoplanctónicos reportados con mayor abundancia fueron las clorofitas, una abundancia que estuvo sujeta de la misma forma a las condiciones del año, las otras cuatro divisiones (cianoficotas, euglenoficotas, bacilariofitas, pirroficofitas y xantofitas) estuvieron bien representadas en estos sistemas.

- Las especies más frecuentes dominantes fueron *Chlorococcum infusionum* y *Kirchneriella irregularis* las cuales además de ser las más dominantes pertenecen a la división Chlorophyta, mientras que las especies más abundantes registradas por Rivera (2006) fueron *Kirchneriella lunaris*; también hay representantes de las otras divisiones entre las especies más dominantes como son: *Chroococcus dispersus* y *Anabaena spiroides* de la división Cyanophycota; *Goniochloris mutica* de Xanthophyta; *Peridinium inconspicuum* en Pyrrophycophyta; *Phacus* sp y *Trachelomonas* sp de Euglenophycota y *Melosira* sp y *Navicula* sp en Bacillariophyta.

- En cuanto a la diversidad beta los Planes 3 y 4 presentan el valor más alto con un valor de 0.510, los que menos especies comparten son los Planes 1 y 4 con un valor de 0.305, en general el Plan 2 esta intermedio en similitud para todos los Planes, mientras que el Plan 1 es el que menos especies comparte con el resto.

- Con base en el análisis de agrupamiento (Cluster) se divididieron los sistemas en tres temporadas: secas cálidas, secas frías y lluvias.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Alcocer J., A. Lugo, G. Villaclara, Ma del R. Sánchez y M. Chávez. (2007). Los lagos de Chapúltepec, ciudad de México. 113-124. En De la Lanza E. G. (Comp), P. S. Hernández (Colab). Las aguas interiores de México: conceptos y casos. AGT editores, México, D. F.
- Anónimo. (1981). Síntesis Geográfica de Morelos. Secretaría de Programación y Presupuesto, INEGI, México. 110 p.
- APHA, AWWA, WPCF, (1992). Standard methods for the examination of water and wastewater. 18 ed., Greenberg A E, EUA, 1018 p.
- Arredondo, F.J.L. (1998). Calidad del agua en acuicultura, conceptos y aplicaciones. AGT editor, México. 222 p.
- Arredondo, F.J.L. (2007) Caracterización limnológica. 219-237. En Arredondo F. J. L., Z. G. Díaz, P.J.T. Ponce (Editores). Limnología de presas mexicanas: aspectos teóricos y prácticos, AGT editores y UAM, México, D. F.
- Barrera E. G., C. I. Wong. (2007) Eutrofización y calidad del agua. 610-633. En Arredondo F. J. L., Z. G. Díaz, P.J.T. Ponce (Editores). Limnología de presas mexicanas: aspectos teóricos y prácticos, AGT editores y UAM, México, D. F.
- Brower, J.E. y J.H. Zar (1977). Field and laboratory methods for general ecology. Wm. C. Brown Company Publishers, EUA, 194 p.
- Carlson, R.E. (1977). A trophic state index of lakes. Limnology and Oceanography http://www.aslo.org/lo/toc/vol_22/issue_2/0361.pdf. (Última revisión Abril, 2010).
- Carlson, R.E. y J. Simpson. (1996). A coordinator's guide to volunteer lake monitoring methods. North American Lake Management Society. 96 p. http://dipin.kent.edu/tsi.htm. Última revisión Septiembre de 2010.
- Cervantes, S.A. (1984). Manual de técnicas básicas para el análisis de ambientes acuáticos. ENEP Zaragoza, UNAM, México. 106 p.
- Comas, G.A. (1996). Los Chlorococcales dulceacuícolas de Cuba, Editorial J. Gramer, Berlin Stuttgart. 265 p.
- Contreras, E.F. (1994). Manual de técnicas hidrobiológicas. Ed. Trillas, México. 141 p.
- Chacón-Torres, A., C. Rosas-Monge y J. Alvarado-Díaz. (2000). The effects of hypereutrophication in a tropical Mexican lake. 89-101. En: Munawar, M., S.G. Lawrence, L.F. Munawar y D.F. Malley (Eds.). Aquatic ecosystems of Mexico: status and scope. Ecovision World Monograph Series. The Netherlands.
- De la Lanza, E.G. (2000). Bioindicadores: 17-32. En: De la Lanza E. G (Editor) Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (Bioindicadores). Plaza y Valdés Editor, México.
- De la Lanza, E.G. (1990). Algunos conceptos sobre hidrobiología y calidad del agua. 181- 199. En: De la Lanza E. G. Arredondo-Figueroa J. L. (editores). La acuicultura en México: de los conceptos a la producción. Instituto de Biología, UNAM. México, D.F.
- De la Lanza-Espino, G. y J.L. García-Calderón. (2002). Lagos y Presas de México. Centro de Ecología y Desarrollo y AGT Editor (2da Edición). 680 p.

- Diario Oficial de la Federación (2003). Norma Oficial Mexicana, NOM-001-SEMARNAT-1996, "Que establece los limites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales". México, D.F. 35 p.
- Díaz Z. G. (2007) Análisis de algunos estudios limnológicos realizados en cuerpos de agua mexicanos. 348-368. En Arredondo F. J. L., Z. G. Díaz, P.J.T. Ponce (Editores). Limnología de presas mexicanas: aspectos teóricos y prácticos, AGT editores y UAM, México, D. F.
- Dillard, G.E. (1989). Freshwater Algae of the Southeartern United States, Editorial J. Gramer, Berlin Stuttgart. 277 p.
- Dorantes, G.E. y M.M.B. Zavala. (2003). Estudio de la calidad de agua de tres cuerpos acuáticos en el estado de Morelos. Tesis de Licenciatura, FES Zaragoza, UNAM. 92 p.
- Franco, L., A.J.G. De La Cruz., G.A. Cruz, R.A. Rocha, S.N. Navarrete, G.M. Flores, E.M. Kato, S.C. Sánchez, L.G.A. Abarca, C.M.S. Bedia e I.A. Winfield. (1985). Manual de ecología. Ed. Trillas, México. 266 p.
- García-Rodríguez, J., F.I. Molina-Astudillo, H.C. Quiroz y R.A. Trejo. (2003). Especies del Fitoplancton presentes en el lago Tonatiahua, Morelos, México. Acta Universitaria, Universidad de Guanajuato, México, 13(002): 53-66.
- García, E. (2004). Modificaciones al Sistema de Clasificación de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. México. 96 p.
- Godínez, J.L. (2003). Algas: 47-73. En: De la Lanza, E. G. (Editor). Manual para la colecta, el manejo y las observaciones de campo para bioindicadores de calidad del agua. AGT Editores, México.
- González de I., A. (1988). El plancton en las aguas continentales, Escuela de Biología de la Facultad de Ciencias, Universidad de Caracas Venezuela, 130 p.
- González R.J.M. y G.A. López, (1997). Aspectos hidrobiológicos de la presa "Emiliano Zapata", Morelos, México. Tesis de Licenciatura, FES Zaragoza, UNAM. 81 p.
- Gómez M.J.L. (2002). Estudio limnológico-pesquero del lago Coatetelco, Morelos, México. Tesis de Doctor en Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM. 181 p.
- Gómez-Márquez, J.L., B. Peña-Mendoza, M.P. Rosas-Hernández, A. Ortiz-Rivera, R. A. Ramírez-Razo y J.L. Guzmán-Santiago. (2009). Inventario de los sistemas lénticos del estado de Morelos: 728-746. En: Galdámez, C.J., H.F. Guevara, L.P. Soto, J.M. López y M.G. Vázquez (compiladores). Agricultura sostenible Universidad Autónoma de Chiapas, Vol. 6. México, ISBN: 978-607-8003-17.
- Granados-Ramírez J. G., C. Álvarez- del Ángel, M. Martínez-Alaniz, M. Romero-Aguilar, L. M. Arteaga-Núñez y J. I. Zavala-Aragón. (2007). Variación poblacional de los rotíferos (clase: Monogononta) de tres cuerpos de agua de la subcuenca del ría Cuautla, Morelos, México (ciclo enero-diciembre 2003). Scientie naturae 9(2): 4-21.
- Guerrero, M. (1991). La ciencia desde México. SEP y FCE, vol. 2. México. 102 p.
- H. Ayuntamiento de Tlayacapan, (2005). Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Morelos, http: //www.elocal.gob.mx/work/templates/enciclo/morelos/Municipios/17026a.htm. (Última revisión marzo, 2008)
- Heinonen, P., G. Ziglio y A. Van der Beken. (2000). Hydrological and limnological

aspects of lake monitoring. Wiley & Sons, Inglaterra, 351 p.

- Hellaweil, J.M. (1986). Biological indicators of fresh water pollution and enviromental management. Elsevier Applied Science Publisher, Gran Bretaña. 546 p.
- Hernández-Avilés, J.S., S.M del C Galindo y P.J. Loera. (2002). Bordos o micorembalses: 599-618. En: De la Lanza E.G. y C.J.L. García (Editores). Lagos y presas de México. AGT Editor. México.
- Hernández-Avilés. J. S., C. J. L. García (2007) Diferencias limnológicas entre lagos y presas. 63-74. En Arredondo F. J. L., Z. G. Díaz, P.J.T. Ponce (Editores). Limnología de presas mexicanas: aspectos teóricos y prácticos, AGT editores y UAM, México, D. F.
- Hernández- Avilés J. S., J. L. García-Calderón, de S. Ma del C Galindo y P. J. Loera. Microembalses: una alternativa a la limnicultura (2007) 597-620. En De la Lanza E. G. (Comp), P. S. Hernández (Colab). Las aguas interiores de México: conceptos y casos. AGT editores, México, D. F.
- http://www.itis.gov/ (última revisión 15 de enero de 2010).
- John D.M., D.A. Whitton y A.J. Brook. (2002). The freshwater algal floral of the British Island, Cambridge University Press. 702 p.
- Krammer, K. y H. Lange-Bertalot. (1986). Bacillariophyceae. 1. Teil: Naviculaceae. En Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig, y D. Mollenhauer, editores. (Eds.). Süsswasserflora von Mitteleuropa, 2: 11–876. Gustav Fischer Verlag. Jena, Alemania.
- Krammer, K. y H. Lange-Bertalot. (1988). Bacillariophyceae. 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. En Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig, y D. Mollenhauer, editores. (Eds.). Süsswasserflora von Mitteleuropa, 2: 21–596. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart, Alemania.
- Krammer, K. y H. Lange-Bertalot. (1991a). Bacillariophyceae. 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. En Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig, y D. Mollenhauer, editores. (Eds.). Süsswasserflora von Mitteleuropa, 2: 31–576. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart, Alemania.
- Krammer, K. y H. Lange-Bertalot. (1991b). Bacillariophyceae. 4. Teil: Achnanthaceae. Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema. En Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig, y D. Mollenhauer, editores. (Eds.). Süsswasserflora von Mitteleuropa, 2: 41–437. Gustav Fisher Verlag. Stuttgart, Alemania.
- Lampert, W. y U. Sommer. (1997). Limnoecology. Oxford University Press, New York, EUA, 382 p.
- Lara V.M.A., R.J.L. Moreno y M.E.J. Amaro. (1996). Fitoplancton, conceptos básicos y técnicas de laboratorio, UAM Iztapala, México. 226 p.
- López-López, E. y J.A. Serna-Hernández. (1999). Variación estacional del zooplancton del embalse Ignacio Allende, Guanajuato, México y su relación con el fitoplancton y factores ambientales. Revista Biología Tropical 47(4): 643-657.
- Loreto, C., N. Rosales, J.Bermúdez, y E. Morales. (2003). Producción de pigmentos y proteínas de la cianobacteria *Anabaena* PCC 7120 en relación a la concentración de nitrógeno e irradiancia. Gayana Bot. 60 (2): 83-89.
- Margalef, R. (1983). Limnología, Ediciones Omega, España, 1010p.
- Marques, Dos S., Ma. J. (2004). Probabilidad y Estadística para Ciencias Químico

Biológicas. Facultad de Estudios Superiores de la UNAM, México, D.F. 626 p.

- Molina-Astudillo, F.I., H. Quiroz-Castelán, J. García-Rodríguez y M. Díaz-Vargas, (2005). Distribución vertical del plancton en un estanque rústico de producción piscícola en el municipio de Cuautla, Morelos, México, REDVET, 6(4): 1-18. http://www.veterinaria.org/revistas/redvet (Última revisión Octubre, 2008)
- Moreno, J.L. (2003). Fitoplancton: 13-40. En: De la Lanza, E.G. (Editor). Manual para la colecta, el manejo y las observaciones de campo para bioindicadores de calidad del agua, AGT editores, México
- Moreno C. E. (2001), Métodos para medir la biodiversidad, manuales y tesis. SEA, Vol. 1, CYCET, ORCYT. UNESCO Y SE, Zaragoza, España. 83 p.
- Norma Oficial Mexicana, NOM-001-SEMARNAT-1996, "Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales", Diario Oficial de la Federación (2003), 35 pp. México DF.
- Ortega M. M. (1984), Catálogo de algas continentales recientes de México, UNAM, México. 565 p.
- Ortiz, R. A. (2006). Estudio de los sistemas acuáticos (Lenticos) del estado de Morelos. Tesis de licenciatura, FES Zaragoza, UNAM, México, 152 p.
- Pacheco M. A., G. M. Galván, M. del P. H. Leal, J. G. O. Lugo, J. A. Gallina, R. R. Romeo, I. L. S. González, F. A. Moreno y M. E. A. Ontiveros (1982). Manual de técnicas de análisis fisicoquímicos para aguas. 5ª ed. SARH, México, 319 p.
- Pla, E. L (1986), Análisis multivariado: método de los componentes principales, monografía N. 27, Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, D.C. 94 p
- Quiroz, C. H., O. P. Solís, J. R. García, I. F. A. Molina y M. V. Díaz (2006). Variación de componentes fitoplanctónicos en un bordo temporal utilizado para la acuicultura extensiva en Norte del Estado de Guerrero, México, REDVET, 7(11): 1-25. http://www.veterinaria.org/revistas/redvet. (Última revisión 20 de mayo de 2009)
- Ramírez, R.R.A. (2008). Análisis del recurso acuático (sistemas lenticos) de Morelos en la parte norte-oriente. Tesis de licenciatura, FES Zaragoza, UNAM, México. 174 p.
- Ramos-Higuera, E., J. Alcocer, E. Ortega-Mayagoitia y A. Camacho. (2006) Nitrógeno: elemento limitante para el crecimiento fitoplanctónico en un lago oligotrófico tropical. Hidrobiológica, 18 (1 Suplemento): 105-113.
- Reid, G.K. y R.D. Wood (1976). Ecology of inland waters and estuaries. 2ª edición, Van Nostrand Company, EUA. 485 p.
- Rivera O. A. (2006). Estudio de los sistemas acuaticos (lenticos) del estado de Morelos, Tesis de licenciatura, FES Zaragoza, UNAM, México. 152p.
- Rocha R. A., Chávez L. R., Ramírez R. A. y Chazaro O. S. (2008). Comunidades: métodos de estudio. FES Iztacala, UNAM, México. 248 p.
- Romero R.J.A. (1999). Calidad del agua. 2a edición, Alfaomega, México. 273 p.
- Rosas H.M.P. (2009). Caracterización Física Química y Biológica de los sistemas acuáticos lenticos de la región sur-oriente del estado de Morelos, Tesis de licenciatura, FES Zaragoza, UNAM, México. 238 p.

- Rosen, B.H. (1995). Use of periphyton in the development of criteria: 209-215. En: Simon P. T. (Editor). Biological assesment and criteria. Lewis Publisher, EUA.
- Schöwerbel, J. (1975). Métodos de hidrobiología. H. Blume Ediciones, España. 262 p.
- Sokal R.R. y F.J. Rolfh. (1979). Biometría, principios y métodos estadísticos en la investigación biológica, H. Blume Ediciones, Madrid. 832 p.
- Tavera, R. y S. Castillo. (2000). An eutrophication-induced shift in the composition, frequency and abundance of phytoplankton in Lake Catemaco, Veracruz, México: 103-117. En: M. Munwar, S.G. Lawrence, I.F. Munawar y D.F. Malley (eds.). Aquatic Ecosystems of Mexico: Status and Scope. Ecovision World Monograph Series. The Netherlands.
- Tebbutt, T.H.Y. (2002). Fundamentos de control de Calidad del agua. Limusa Editores, México. 239 p.
- Torres- Orozco B. R. E. (2007) Batimetría y morfometría. 3-19. En Arredondo F. J. L., Z. G. Díaz, P.J.T. Ponce (Editores). Limnología de presas mexicanas: aspectos teóricos y prácticos, AGT editores y UAM, México, D. F.
- Trujillo, J.P. (2003). Biodiversidad acuática del río Amacuzac, Morelos, México, Informe final del Proyecto S150, 42 p. http://www.conabio.gob.mx. (Última revisión Abril, 2010)
- Valdez, C.F., J. J. Carmona y E.A.U. Cantoral. (1996). Algas de ambientes loticos en el estado de Morelos, México. Anales del Instituto de Biología, UNAM, 67(2): 227-282.
- Wetzel, R.G. (2001). Limnology. Rivers and Lakes. Editorial Omega, S. A. Barcelona España. 679 p.
- Zalocar, de D., Y.V. M Asselborn y L.S. Casco. (1998). Variaciones espaciales y temporales del fitoplancton en un lago subtropical de Argentina. Rev. Brasil. Biol. 58(3): 359-382.