



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA
FITOPLANCTÓNICA EN LA LAGUNA DE COYUCA DE BENÍTEZ,
GUERRERO, PERIODO 2016 – 2017

TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

PRESENTA:

MÉNDEZ RAMÍREZ EDUARDO

DIRECTOR:

BIÓLOGO RAÚL ARCOS RAMOS

LABORATORIO DE CONTAMINACIÓN ACUÁTICA

CIUDAD DE MÉXICO, 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

En principio quiero hacer un reconocimiento a mi amada casa de estudios, la Universidad Nacional Autónoma de México, por darme académica y personalmente excelentes enseñanzas, maravillosos momentos y amigos.

Expreso mi eterna gratitud a mi director de tesis el Maestro en Ciencias Raúl Arcos Ramos, por su enorme empeño puesto no solo en la dirección de mi proyecto de titulación, también por su compromiso al formarme como alumno de tan prestigiosa Universidad. Por hacer más de lo que demanda el deber y sobre todo por convertir una opción en una pasión.

De igual manera expreso mi agradecimiento hacia los miembros del jurado y lectores de este informe pues cada una de sus sugerencias, comentarios y correcciones y sobre todo su tiempo enriqueciendo este trabajo. Gracias Maestro en Ciencias Germán Calva Vásquez por sus enseñanzas y consejos, por inspirarme académicamente y personalmente, cada una de sus clases fueron en su totalidad inspiración y me dio una perspectiva más amplia de lo que es la Biología.

Maestro en Ciencias Eliseo Cantellano de Rosas agradezco su rápida y cuidadosa lectura de mi trabajo, sus notas me sirvieron para profundizar y mejorar diversos capítulos.

Maestra en Ciencias Rocío Espítia Licea, agradezco sus notas, comentarios y reflexiones, cada una de ellas enriqueció el proceso final de mi trabajo y lanzó nuevas perspectivas de la labor como Biólogo, de igual manera agradezco su tiempo y esfuerzo invertido en mi trabajo.

Al Doctor Isías Hazarmabeth Salgado le agradezco mucho su rápida y concisa revisión, su tiempo, consejos y ánimos para la conclusión de mi trabajo.

Quiero agradecer a mis compañeros de laboratorio de contaminación acuática por ser parte de mi proceso de formación y por el trabajo en equipo que realizamos para obtener siempre los mejores resultados, gracias Mario Enrique Sainz Moreno, Axel Cervantes y Rafael Villegas, por vivir muchas aventuras en nuestro tiempo juntos.

Finalmente quiero reconocer a las personas por las que todo esto cobra sentido y para quienes las palabras de agradecimiento simplemente no alcanzan a expresar todo lo que les debo.

Mamá, María Eugenia Ramírez Ibarra, gracias infinitas por todo tu amor, esfuerzo, dedicación y perseverancia. Me has enseñado todo lo mejor que hay en este mundo, a enfrentar mis miedos, superarme siempre y luchar por lo que más quiero. Eres sin duda alguna mi inspiración para seguir adelante con mis proyectos e ideales, proponerme metas nuevas y siempre ser el mejor. Tu coraje y determinación me han mostrado el camino a seguir y esta nueva etapa es un poco

con lo que puedo retribuirte una pequeña fracción de toda la felicidad y apoyo incondicional que me has dado.

Abuelita, María Ybarra Ramírez, gracias por todo tu apoyo, amor y comprensión a lo largo de toda mi vida, gracias por tus cuidados y consejos, sin duda alguna este logro también es tuyo ya que estuviste presente en toda mi formación y has sido mi impulso a ser siempre mejor, me has dado felicidad y ánimo en todo sentido para ser mejor cada día de mi vida.

Analuz González Martínez, amor de mi vida, gracias por todo tu apoyo, compañía y fortaleza cada día de mi vida. Por todos los momentos juntos, por hacerme sentir feliz, amado y apoyado, me has dado una perspectiva diferente de la vida, de que hay muchas cosas buenas y hermosas, gracias por estar a mi lado en este proceso del que formas parte y que es tuyo de igual manera. Hemos crecido y madurado juntos y espero podamos seguir haciéndolo.

Índice

Resumen	XII
Introducción	XIII
I. Marco teórico	1
IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS LAGUNARES COSTEROS	1
Características del agua.....	1
Normatividad.....	3
Contaminación acuática.....	3
Parámetros físicos del agua.....	4
Parámetros químicos del agua.....	5
Parámetros Biológicos.....	7
Factores/Parámetros determinantes/indicadores	8
Eutrofización.....	8
Productividad primaria.....	9
Fitoplancton	10
Clorofila-a y fotosíntesis.....	11
Nutrimentos.....	14
II. Antecedentes	15
III. Área de estudio	20
Hidrografía	21
USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN	21
IV. Problemática	24
V. Justificación	26
VI. Hipótesis	27
VII. Objetivo General	28
VIII. Objetivos particulares	28

IX. Método	29
Trabajo de campo	29
Fase de laboratorio	29
Trabajo de Gabinete	31
X. Diagrama metodológico	36
XI. Resultados y discusión	38
Variables físicas	38
Profundidad	38
Transparencia	41
Temperatura	44
Variables Químicas	48
Oxígeno Disuelto	48
Bióxido de Carbono O ₂	52
Potencial de Hidrógeno	55
Sólidos Totales Disueltos	58
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	63
Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	64
Conductividad	68
Amonio (NH ₄)	72
Nitratos (NO ₃ ⁻)	75
Nitritos (NO ₂ ⁻)	79
Fosfatos (PO ₄)	83
Clorofila	87
Productividad Primara	93
Comportamiento de Oxígeno Disuelto en veinticuatro horas	102

XII. Análisis Multivariado	112
Análisis de Componentes Principales (ACP)	112
Análisis de Correlación de Pearson	114
Análisis de Conglomerados	117
XIII. Conclusiones	118
XIV. Recomendaciones	119
XV. Bibliografía	120
XVI. Anexos	129
Anexo A	129
Técnica de extracción y cuantificación de Clorofila a	129
Cuantificación de Productividad Primaria (Método de la botella clara y oscura) ...	130
XVII. Anexo B	134
Matriz de Pearson	136

Índice de figuras

Figura 1. Localización de la Laguna de Coyuca de Benítez.....	22
Figura 2. Manglar conocido como “Mangle rojo”, ubicado en el punto de monitoreo del canal.....	23
Figura 3. Barra que divide mar abierto con la Laguna, en el cual se puede apreciar la presencia de actividades antropogénicas.....	23
Figura 4. Aprovechamiento de la Laguna, la pesca es una de las actividades más frecuentes.....	25
Figura 5. Actividades turísticas que afectan directamente la calidad del agua de la Laguna.....	25
Figura 6. La ganadería a lo largo de la Laguna, el pastoreo presenta una grave afectación sobre la vegetación.....	26

Figura 7. Asentamientos urbanosubicados a lo largo de la laguna, éste en particular se localiza muy cerca del canal en donde encontramos el manglar.....	26
Figura 8. Evaluación de concentración de Oxígeno Disuelto (marcha de veinticuatro hrs.).....	32
Figura 9. Obtención de curva patrón para la evaluación de DQO.....	32
Figura 10. Celdas para evaluación de DQO.....	33
Figura 11. Preparación de Celdas para evaluación de DQO.....	33
Figura 12. Evaluación de Oxígeno Disuelto, STD, Conductividad, Temperatura <i>in-situ</i>	34
Figura 13. Evaluación de Transparencia mediante Disco Secchi.....	34
Figura 14. Botella Van Dorn para obtención de muestras en fondo.....	35
Figura 15. Evaluación de Nutrimientos mediante Multifotómetro HANNA HI83200..	35
Figura 16. Multiparámetro Hanna HI9828 y Oxímetro Hanna HI 9196.....	36
Figura 17. Diagrama de cajas múltiples para la profundidad de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.....	38
Figura 18. Diagrama de cajas múltiples para la profundidad de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.....	39
Figura 19. Representación de área de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.....	39
Figura 20. Variación temporal de profundidad en cinco estaciones de monitoreo...	40
Figura 21. Diagrama de cajas múltiples para la transparencia de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.....	41
Figura 22. Diagrama de cajas múltiples para la transparencia de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.....	42
Figura 23. Variación temporal de transparencia en cinco estaciones de monitoreo.	43
Figura 24. Diagrama de cajas múltiples para la temperatura de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.....	44

Figura 25. Diagrama de cajas múltiples para la temperatura de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.....	45
Figura 26. Diagrama de cajas múltiples para la temperatura de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.....	45
Figura 27. Diagrama de cajas múltiples para la temperatura de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.....	46
Figura 28. Variación temporal de temperatura en superficie y fondo en cinco estaciones de monitoreo.....	47
Figura 29. Diagrama de cajas múltiples para el Oxígeno Disuelto de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.....	49
Figura 30. Grafica lineal de comportamiento del Oxígeno Disuelto por punto de monitoreo.....	49
Figura 31. Diagrama de cajas múltiples para el Oxígeno Disuelto de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.....	50
Figura 32. Variación temporal de Oxígeno Disuelto en superficie y fondo en cinco estaciones de monitoreo.....	51
Figura 33. Diagrama de cajas múltiples para el CO ₂ de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.....	53
Figura 34. Diagrama de cajas múltiples para el CO ₂ de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo fondo.....	53
Figura 35. Diagrama de cajas múltiples para el CO ₂ de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo superficie.....	54
Figura 36. Gráfica de líneas para el CO ₂ de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.....	54
Figura 37. Variación temporal de Bióxido de Carbono en superficie y fondo en tres estaciones de monitoreo.....	55
Figura 38. Diagrama de cajas múltiples para el pH de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.....	56
Figura 39. Gráfica de comportamiento lineal para el pH de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.....	56

Figura 40. Variación temporal de pH en superficie y fondo en cinco estaciones de monitoreo.....	57
Figura 41. Diagrama de cajas múltiples para STD de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.....	58
Figura 42. Diagrama de cajas múltiples para STD de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.....	59
Figura 43. Variación temporal de STD en superficie y fondo en cinco estaciones de monitoreo.....	60
Figura 44. Diagrama de cajas múltiples para DBO ⁵ de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.....	62
Figura 45. Diagrama de cajas múltiples para DBO ⁵ de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.....	62
Figura 46. Variación temporal de DBO ₅ en superficie y fondo en cinco estaciones de monitoreo.....	63
Figura 47. Diagrama de cajas múltiples para DQO de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.....	65
Figura 48. Escala de Clasificación de la calidad del agua, conforme a la DQO (CNA, 2005).....	65
Figura 49. Diagrama de cajas múltiples para DQO de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.....	66
Figura 50. Gráfica de barras, Cociente de degradabilidad DBO ₅ /DQO.....	66
Figura 51. Variación temporal de DQO en superficie y fondo en cinco estaciones de monitoreo.....	67
Figura 52. Diagrama de cajas múltiples para la conductividad de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.....	69
Figura 53. Gráfica de comportamiento lineal para el pH de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.....	69
Figura 54. Diagrama de cajas múltiples para la Conductividad de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.....	70
Figura 55. Variación temporal de Conductividad en superficie y fondo en cinco estaciones de monitoreo.....	71

Figura 56. Diagrama de cajas múltiples para la conductividad de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.....	72
Figura 57. Gráfica de comportamiento lineal para el Amonio de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.....	73
Figura 58. Diagrama de cajas múltiples para el Amonio de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.....	73
Figura 59. Variación temporal de Amonio en superficie y fondo en cinco estaciones de monitoreo.....	74
Figura 60. Diagrama de cajas múltiples para Nitratos de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.....	76
Figura 61. Gráfica de comportamiento lineal para Nitratos de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.....	76
Figura 62. Diagrama de cajas múltiples para Nitratos de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.....	77
Tabla 1. Relación de nutrimentos con el nivel trófico, tomada de Esteves (1998)..	77
Figura 63. Variación temporal de Nitratos en superficie y fondo en cinco estaciones de monitoreo.....	78
Figura 64. Diagrama de cajas múltiples para Nitritos de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.....	80
Figura 65. Gráfica de comportamiento lineal para Nitritos de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.....	80
Figura 66. Diagrama de cajas múltiples para Nitritos de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.....	81
Tabla 2. Relación de nutrimentos con el nivel trófico, tomada de Esteves (1998)..	81
Figura 67. Variación temporal de Nitritos en superficie y fondo en cinco estaciones de monitoreo.....	82
Figura 68. Diagrama de cajas múltiples para Fosfatos de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.....	84
Figura 69. Gráfica de comportamiento lineal para Fosfatos de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.....	84

Figura 70. Diagrama de cajas múltiples para Fosfatos de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.....	85
Figura 71. Variación temporal de Fosfatos en superficie y fondo en cinco estaciones de monitoreo.....	86
Figura 72. Diagrama de cajas múltiples para Clorofila de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.....	88
Figura 73. Diagrama de cajas múltiples para Clorofila de la Laguna de Coyuca de Benítez Superficie y Fondo.....	88
Figura 74. Gráfica de comportamiento lineal para Clorofila de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.....	89
Figura 75. Diagrama de cajas múltiples para Clorofila de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.....	90
Figura 76. Variación temporal de Clorofila en superficie y fondo en cinco estaciones de monitoreo.....	92
Figura 77. Diagrama de cajas múltiples para PN de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.....	93
Figura 78. Gráfica de comportamiento lineal para PN de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.....	94
Figura 79. Diagrama de cajas múltiples para PN de la Laguna de Coyuca de Benítez Superficie y Fondo.....	94
Figura 80. Gráfica de barras para PB, R y PN a dos niveles de profundidad en la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.....	95
Figura 81. Gráfica de barras para la comparación de PB, R y PN a dos niveles de profundidad en la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.....	96
Figura 82. Gráfica de comparación lineal para PN y Clorofila a en la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.....	96
Figura 83. Diagrama de cajas múltiples para PPN de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.....	97
Figura 84. Variación temporal de PPN en superficie y fondo en cinco estaciones de monitoreo.....	98

Figura 85. Gráfica de barras de PB a dos niveles de profundidad en la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo a lo largo del tiempo.....	99
Figura 86. Gráfica de barras de R a dos niveles de profundidad en la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo a lo largo del tiempo.....	100
Figura 87. Gráfica de barras de PN a dos niveles de profundidad en la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo a lo largo del tiempo.....	100
Tabla 4. Estado trófico basado en concentración de producción primaria.....	101
Figura 88. Diagrama de cajas múltiples para marcha de veinticuatro hrs. de O. D. en la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo, superficie.....	103
Figura 89. Diagrama de cajas múltiples para marcha de veinticuatro hrs. de O. D. en la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo, fondo.....	103
Figura 90. Diagrama de cajas múltiples para marcha de veinticuatro hrs. de O. D. en la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo, superficie y fondo.....	104
Tabla 5. Análisis de Componentes Principales.....	112
Tabla 6. Tabla de Pesos de los Componentes.....	113
Figura 91. Análisis de Componentes Principales.....	114
Figura 92. Análisis de Conglomerados.....	116
Tabla 7 Matriz de Pearson.....	134
Tabla 8. Matriz de Pearson Productividad.....	136

Resumen

Se evaluó la productividad primaria para establecer el índice trófico de la laguna, relacionado con la cuantificación de clorofila, así como catorce parámetros físicos y químicos en cinco puntos de monitoreo a dos niveles de profundidad durante un periodo de siete meses (Noviembre 2016 – agosto 2017); los datos fueron sometidos a un análisis estadístico mediante el programa Statgraphics Centurion XVI.I., donde se aplicaron pruebas no paramétricas univariadas de comparación de varias muestras, Prueba de Kruskal-Wallis y análisis multivariado mediante la Correlación de Pearson, así como un análisis de componentes principales (ACP) y análisis de conglomerados (AC) para establecer una posible relación.

Los resultados establecen que la Laguna de Coyuca de Benítez (Guerrero) es un sistema oligohalino, estratificado en los puntos del Embarcadero, Río y Centro, presenta una ligera alcalinidad con una tendencia a ser ligeramente ácido en puntos cercanos a la Barra donde la Laguna entra en contacto con el agua de mar, presenta una elevada carga orgánica, lo que aumenta significativamente la disponibilidad de nutrientes: amonio (0.513 mg/L^{-1}), fosfatos (1.68 mg/L^{-1}), nitritos (0.059 mg/L^{-1}) y nitratos (1.81 mg/L^{-1}), que junto a la temperatura ($28.89 \text{ }^\circ\text{C}$) producen condiciones ideales para la proliferación planctónica y así dar como resultado una alta Productividad (35.993 mg C m^3), nivel que cataloga de igual manera a la laguna como mesotrófica. El análisis multivariado estableció que los nutrientes, temperatura, transparencia, profundidad, concentración de clorofila y STD las variables más importantes, ya que describen el comportamiento del sistema debido a su relación directa con la materia orgánica, además de parámetros físicos y la Productividad.

Introducción

La base de la pirámide trófica en los ecosistemas acuáticos está dada principalmente por los productores primarios, los cuales están determinados en su desarrollo y proliferación por la luz, el CO₂ así como los nutrientes. Dichos nutrientes son sales inorgánicas y sus principales compuestos son: Fuentes de nitrógeno, fuentes de fósforo y fuentes de sílice. En estos sistemas acuáticos los productores primarios por excelencia son los organismos de fitoplancton, las macrofitas y las algas macroscópicas, siendo la fotosíntesis su principal mecanismo de producción. (Contreras, 1993).

Por lo que debido a su importancia, el fitoplancton juega un papel clave como base de dichas redes tróficas y como indicadores de la calidad del agua. El fitoplancton es una comunidad de organismos microscópicos fotosintéticos que viven suspendidos en la zona fótica de la columna de agua, algunas especies son heterotróficas por cortos periodos, e. g. dinoflagelados y euglenoideos (Oliva, 2014).

El presente trabajo se enfoca en una laguna costera, Según (Lankford, 1976), refiriéndose expresamente a cuencas de México, “laguna costera es una depresión en la zona costera, bajo el nivel de pleamar media superior (sigla MHHW en inglés), que tiene una conexión permanente o efímera con el mar, pero protegida de este por algún tipo de barra”. Tomando en cuenta el crecimiento poblacional y las actividades turísticas, comerciales, agropecuarias e industriales en el municipio de Coyuca de Benítez, generan grandes cantidades de aguas residuales que afectan la calidad del agua de la laguna (Torres, 1980).

La Laguna de Coyuca de Benítez Pertenece a un sistema costero que se comprende a tres cuerpos de agua: Laguna de Mitla, Laguna de Coyuca y El Zarzal, se ubica en las coordenadas de 16° 54' y 16° 58' de latitud norte y los 99° 57' y 100° 04' de longitud oeste, se encuentra en Pie de la Cuesta a 10 km al norte de Acapulco, presenta una extensión de 34 km² (Yáñez, 1978), una longitud y ancho promedios de 10.6 km y 2.78 km, respectivamente. Su profundidad media es de 2.5 m (Álvarez, 2013).

I. Marco teórico

Importancia de los sistemas lagunares costeros

México es un país privilegiado gracias a su posición geográfica ya que se encuentra a nivel mundial entre los países con mayor extensión de litorales marinos (cerca de 11, 122 km), contando con aproximadamente 125 lagunas costeras (INEGI, 2010). Las lagunas costeras son cuerpos de agua con un eje longitudinal que tienen comunicación con el mar en las zonas costeras que se caracterizan por ser relativamente someros debido a la entrada permanente o efímera de agua marina, que junto con los estuarios se encuentran entre los ecosistemas acuáticos más productivos del mundo, que cumplen funciones ambientales muy importantes como trampas de sedimentos, regulación de flujos de agua y fijación de carbono (Manchado y Castillo, 2009). Además es de interés la evaluación de las afecciones que lleguen a tener estos sistemas debido a la importancia en el desarrollo socioeconómico que tienen en el país por: a) su gran diversidad de ambientes ecológicos hábitats; b) las interacciones dinámicas entre los sistemas lagunares y de estuarios con la plataforma continental; c) su abundancia en los recursos pesqueros; d) la probabilidad de establecer áreas de protección de flora y fauna y e) el gran desarrollo industrial y urbano de estas regiones (Carbajal y Chavira, 1985). Ahora bien, gracias a los numerosos servicios ambientales que prestan las lagunas costera y estuarios, el hombre ha intervenido en gran medida a su explotación, derivando la contaminación de estos sistemas acuáticos (Tapia *et al.*, 2008), lo cual es generado principalmente por desechos provenientes de las actividades industriales, turísticas y comerciales, así como el uso de fertilizantes, cambio de uso del suelo, descarga de aguas residuales, desagües y desechos petroquímicos (Spetter *et al.*, 2013). Por lo tanto con la industrialización, la concentración urbana, el desarrollo económico, y el crecimiento demográfico el cual se ha visto aumentado significativamente en las últimas décadas, ha contribuido a lo que es el deterioro del medio ambiente y en particular la calidad del agua.

Características del agua

El agua es una molécula sencilla formada por átomos pequeños, dos de hidrogeno y uno de oxígeno, unidos por enlaces covalentes muy fuertes que hacen que ésta sea

muy estable, presenta una geometría angular, lo que hace de ella una molécula polar que puede unirse a otras muchas sustancias polares. Esta singular composición y estructura confiere el agua unas características físicas y químicas de gran trascendencia en sus funciones biológicas, sobre todo en las relacionadas con su capacidad solvente, de transporte, estructural y termorreguladora. Recordemos que las funciones de los sistemas biológicos pueden explicarse siempre en términos de procesos físicos y químicos (Askew, 1996).

Por tal motivo, el agua en esencia es vida en el Planeta Tierra y domina totalmente la composición química de todos los organismos. La ubicuidad de agua en la biota, como en el punto de apoyo del metabolismo bioquímico se basa en sus propiedades físicas y químicas únicas (Wetzel, 2001).

Su función termorreguladora está también relacionada con otra de sus características físicas que le confiere su efecto refrigerante: su alto calor de vaporización [a 25 °C es de 540 kcal/L], consecuencia de la atracción entre moléculas de agua adyacentes («fortaleza de los puentes de hidrógeno») que dan al agua líquida una gran cohesión interna. El agua, para evaporarse, absorbe más calor que ninguna otra sustancia (Martínez *et. al.*, 2007).

La interacción hidrofóbica es la responsable de diversos procesos biológicos importantes (Ball, 2008). En medios acuosos, la interacción con moléculas anfipáticas (o anfifílicas, aquellas con grupos polares y apolares, como los detergentes o las sales biliares) determina la formación de estructuras ordenadas. Este es el caso de las membranas celulares, formando bicapas lipídicas [las moléculas de carácter anfifílico que forman las membranas celulares son los fosfolípidos - doble capa fosfolipídica-]; de las micelas (importantes en la digestión intestinal de lípidos, mediada por las sales biliares) o de los liposomas. Todas ellas membranas, micelas y liposomas son estructuras muy estables mantenidas por las fuerzas hidrofóbicas de las cadenas hidrocarbonadas y las interacciones iónicas de las cabezas cargadas con el agua: el agua «arrincona» a las moléculas no polares, manteniéndolas juntas (Martínez *et. al.*, 2007). El efecto hidrofóbico del agua, consecuencia de su gran cohesión, resultó esencial para la formación y posterior evolución de las células (Sancho, 2007).

El agua también contribuye a la organización macro- molecular («bounded water»). El efecto hidrofóbico de muchos de los 20 aminoácidos que forman las proteínas contribuye al plegamiento rápido de las cadenas polipeptídicas y también a la agregación de las subunidades proteicas para formar la estructura cuaternaria tridimensional que es la forma activa. «Este prodigioso proceso está dirigido por el agua cuya alta cohesividad empuja a los aminoácidos hidrofóbicos de cada proteína a reunirse, forzando la compactación de la proteína» (Sancho, 2007). Se estima que la hidratación de las proteínas es de 1,4 a 4 g de agua por gramo de proteína, de manera

que, por ejemplo, el 81% del agua de los glóbulos rojos está encapsulada en la hemoglobina. Se ha observado que la mayoría de las células de los mamíferos tienen un rango de hidratación de 58-80% de agua, y la mayor parte de la misma está «secuestrada» por sus componentes macromoleculares (Fullertong, 2007). De igual manera, la estructura en doble hélice del ADN depende en buena medida del efecto hidrofóbico ejercido por el agua (Sancho, 2007). Sin agua para separar las repulsiones electrostáticas entre los grupos fosfato, la doble hélice no existiría (Ball, 2008).

Normatividad

Tomando en cuenta todo lo anterior con respecto a la importancia del agua, en consecuencia del grado de contaminación ya sea de origen antropogénico o natural, se evalúan las características del agua para determinar su calidad, tratamiento y su posible uso (CONAGUA, 2015). ***Para esto se evalúa la calidad del agua, refiriendo las condiciones físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por actividades antropogénicas*** (SEMARNAT, 2000). Para esto, la evaluación de la calidad del agua se realiza mediante una serie de análisis dirigidos a conocer cualitativa y cuantitativamente, las características

Contaminación acuática

La contaminación acuática se define como la introducción de agentes biológicos, químicos o físicos a un medio al que no pertenecen que conllevan a una modificación no deseable de la composición natural de éste medio (Peña, *et al.*, 2005). Las fuentes de contaminación pueden ser de origen natural o artificial:

Fuentes naturales: Estas se deben a la interacción entre el sistema acuático con el medio que lo rodea. Dependiendo de los terrenos que atraviesa el agua puede contener componentes de origen natural procedentes del contacto con la atmósfera y el suelo (Ej. Sales minerales, calcio, magnesio, hierro, etc.).

Fuentes artificiales: Producidas como consecuencia de las actividades humanas como el desarrollo industrial, el crecimiento demográfico y la descarga de aguas municipales e industriales sin previo tratamiento, así como el arrastre de numerosas sustancias provenientes de zonas de actividad agrícola y pecuaria.

Por otro lado Según (Kraemer, *et al.* 2001) los diferentes tipos contaminantes que afectan la calidad del agua pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Contaminantes orgánicos: se descomponen en el agua, en altas concentraciones disminuyen el oxígeno y producen la eutrofización, son vertidos por fuentes industriales y domésticas.
- Metales pesados: se originan principalmente alrededor de centros industriales y mineros, también pueden provenir de lixiviados.
- Nutrientes: el aumento de estos induce a la eutrofización, se originan de desechos humanos y animales, detergentes y escorrentía de fertilizantes agrícolas.
- Contaminación microbiológica: proviene de desechos domésticos no tratados, criaderos de animales (*e. coli*, protistas, amebas).
- Químicos traza y compuestos farmacéuticos: provienen de desechos hospitalarios, son sustancias peligrosas y han sido reconocidos como cancerígenos.
- Partículas suspendidas: se originan de prácticas agrícolas y del cambio en el uso de la tierra como deforestación y erosión.
- Desechos nucleares: incluye una gama de radio núcleos, utilizados en pruebas con fines pacíficos.
- Salinización: por la presencia y lavado de sales.
- Acidificación: originada por la deposición sulfúrica producida por la actividad industrial y emisiones urbanas.

Por lo anterior los parámetros del agua son características Físicas, Químicas y Biológicas que permiten detectar cuál es el grado de contaminación que presenta el agua (Aznar, 2000). Los más utilizados para determinar la calidad de este recurso, son los siguientes:

Parámetros físicos del agua

- **Transparencia:** Se refiere a la profundidad hasta la cual se puede ver un objeto a través del agua. La medida de este parámetro es de importancia es debido a que la luz permite que se lleve a cabo la actividad fotosintética, sin embargo a lo largo de la columna solo será capaz de acceder una pequeña porción de luz. El porcentaje de luz que penetra al sistema se ve determinada por la cantidad de materia orgánica e inorgánica en suspensión como: arcillas, sales, materia orgánica particulada y plancton entre otros (Arocena y Conde, 1999).
- **Color:** Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, etc., en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales. El color natural en el agua existe principalmente por efecto de

partículas coloidales cargadas negativamente; debido a esto, su remoción puede lograrse con ayuda de un coagulante de una sal de ion metálico trivalente como el Al^{+++} o el Fe^{+++} .

- **Temperatura:** La determinación de la temperatura es importante para diferentes procesos de tratamiento y análisis de laboratorio, puesto que, por ejemplo, el grado de saturación de OD, la actividad biológica y el valor de saturación con carbonato de calcio se relacionan con la temperatura. En estudios de polución de ríos, estudios limnológicos y en la identificación de la fuente de suministro en pozos, la temperatura es un dato necesario.
- **Sólidos:** Incluye toda la materia, excepto el agua contenida en los materiales líquidos. En ingeniería sanitaria es necesario medir la cantidad del material sólido contenido en una gran variedad de sustancias líquidas y semilíquidas que van desde aguas potables hasta aguas contaminadas, aguas residuales, residuos industriales y lodos producidos en los procesos de tratamiento.
Sólidos totales: Se definen como sólidos la materia que permanece como residuos después de evaporación y secado a $103^{\circ}C$. El valor de los sólidos totales incluye material disuelto y no disuelto (sólidos suspendidos).
Sólidos disueltos (o residuo filtrable): Son determinados directamente o por diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos.
Sólidos sedimentables: La denominación se aplica a los sólidos en suspensión que se sedimentarán, bajo condiciones tranquilas, por acción de la gravedad.
- **Conductividad:** La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica. La conductividad del agua depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. 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 de la conductividad es muy usado en análisis de aguas para obtener un estimativo rápido del contenido de sólidos disueltos.
- **Salinidad:** Cuando en el agua el constituyente principal es cloruro de sodio y la concentración es mayor de lo usual, se dice que el agua es salina. La salinidad se puede expresar como el número de gramos de sal por kilogramo de muestra (Romero, 1999).

Parámetros químicos del agua

- **pH:** La intensidad de acidez o alcalinidad de una muestra se mide en la escala de potencial Hidrógeno (pH), que en realidad mide la concentración de iones de hidrogeno presentes. Esta evaluación es de gran importancia debido a que valores altos o bajos son tóxicos para determinados organismos acuáticos (Arredondo, 1986), además también controla la actividad biológica y muchas

reacciones químicas (Tebbutt, 2002) y la solubilidad de algunos gases como es el caso de CO₂.

- Alcalinidad: Puede definirse como su capacidad para neutralizar ácidos, como su capacidad para reaccionar con iones hidrógeno, como su capacidad para aceptar protones o como la medida de su contenido total de sustancias alcalinas (OH⁻).
- Acidez: Puede definirse como su capacidad para neutralizar bases, como su capacidad para reaccionar con iones hidroxilo, como su capacidad para ceder protones o como la medida de su contenido total de sustancias ácidas (Romero, 1999).
- Potencial de Óxido-Reducción (POR): El potencial redox es una medida de la actividad de los electrones. Está relacionado con el pH y con el contenido de oxígeno. Es análogo al pH ya que el pH mide la actividad de protones y el potencial redox mide la de los electrones (Aznar, 2000).
- Demanda de oxígeno: Los componentes orgánicos por lo regular son inestables y pueden oxidarse biológica o químicamente para obtener productos finales estables, relativamente inertes, tales como CO₂, NO₃, H₂O. La indicación del contenido orgánico de un desecho se obtiene al medir la cantidad de oxígeno que se requiere para su estabilización (Tebbutt, 2002).

-Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): Mide la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos mientras descomponen la materia orgánica.

-Demanda Química de Oxígeno (DQO): La oxidación química que usa una mezcla hirviendo de dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado (Tebbutt, 2002).

- Oxígeno Disuelto (OD): El oxígeno disuelto en el agua es indispensable para la respiración de los organismos aeróbicos. La fuente principal de este gas en el agua es la atmósfera y su solubilidad depende de la temperatura. (González, 1988), su equilibrio en las capas superficiales se debe al intercambio con la atmósfera y a su difusión (Contreras, 1994).
- Bióxido de carbono: Este gas es uno de los principales constituyentes del metabolismo fotosintético del fitoplancton y macrofitas (Gómez *et al.*, 2014). Su concentración varía dependiendo de la hora el día en que realice la toma de muestras.
- Nutrientes: En el ambiente acuático están presentes en mayor o menor grado un grupo de compuestos que, en conjunto, reciben el nombre de nutrientes y de forma más adecuada nutrientes. Los nutrientes participan en la síntesis de la materia orgánica por los productores, los cuales básicamente son los iones de nitrógeno (NO₃⁻, NO₂⁻ y NH₄⁺) y fósforo (PO₄³⁻), necesario para la formación de proteínas, aminoácidos, nucleótidos, etc.; con la temperatura y la luz, son los

responsables abióticos de la productividad biológica en los sistemas acuáticos; razón por la cual, su evaluación son datos valiosos obtenidos con herramientas metodológicas de rutina en Hidrobiología (De la Lanza, 1990).

Parámetros Biológicos

Estos incluyen diversas especies microbiológicas patógenas al hombre así como virus y diversos invertebrados. Últimamente se utilizan los llamados “índices bióticos”, que se constituyen en función de la presencia de ciertas especies (generalmente taxones), y se comportan como indicadores de los niveles de contaminación, así como de las variaciones de la estructura de la comunidad biótica ocasionadas por la alteración del medio acuático (Ministerio de Medio Ambiente, 2000).

Factores/Parámetros determinantes/indicadores

Los parámetros químicos tienden a ser más específicos en su naturaleza que algunos de los parámetros físicos y por eso son más útiles e importantes para definir la calidad del agua, uno de estos parámetros es del pH el cual es una medida de la naturaleza ácida o alcalina de una solución acuosa, mide la concentración de iones hidrógeno y se define como $pH = \log (1/H^+)$ (Rigola, 1990). El bióxido de carbono es un gas relativamente soluble que se hidroliza formando iones bicarbonato y carbonato, en función del pH del agua, su concentración varía dependiendo de la hora del día en que se realice la toma de muestras. Otro gas no menos importante es el oxígeno, ya que el O_2 por su carácter oxidante juega un papel sustancial en la solubilización o precipitación de iones que presentan una forma insoluble (Rigola, 1990), su presencia es vital para todas las formas de vida superior ya que interviene en funciones como la respiración de los organismos y en muchas reacciones de óxido reducción (Wetzel, 2001), su concentración depende de la actividad fotosintética y de sus difusión con la atmósfera.

La alcalinidad es otro parámetro químico determinante del agua, se refiere a la presencia de sustancias hidrolizables en agua y que como producto de hidrólisis genera el ión hidroxilo (OH^-), como son las bases fuertes y los hidróxidos de los metales alcalinotérreos (Gómez *et al.*, 2014). La alcalinidad es útil en el agua natural y en las aguas residuales porque proporciona un amortiguamiento para resistir los cambios en el pH (Tebbutt, 2002). Por otro lado la dureza es la concentración de iones metálicos divalentes en el agua, esta variable generalmente se relaciona con la alcalinidad total, porque los aniones de la alcalinidad y los cationes de la dureza se derivan normalmente de carbonos de minerales (Arredondo, 1986).

Esta propiedad evita que el jabón haga espuma y produce incrustaciones en los sistemas de agua caliente. Es debido principalmente a los iones metálicos Ca^{++} y Mg^{++} aunque también son responsables Fe^{++} y Sr^{++} . Los metales normalmente están asociados con HCO_3^- , SO_4^- , Cl^- y NO_3^- . No representa riesgo para la salud, pero las desventajas económicas del agua dura incluyen un consumo excesivo de jabón y costos más altos de combustible. La dureza se expresa en términos de CaCO_3 y se divide en dos formas:

- a) Dureza de carbono – metales asociados con HCO_3^-
- b) Dureza de no carbono – metales asociados con SO_4^- , Cl^- , NO_3^- .

Si están presentes altas concentraciones de sales de Na y K, la dureza de no carbono puede ser negativa ya que tales pueden formar alcalinidad sin producir dureza (Tebbutt, 2002).

Para realizar evaluaciones de contaminación es muy importante realizar la determinación de demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), el primero mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida, para ello se utiliza una mezcla hirviendo de dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado (Tebbutt, 2002), mientras que el DBO, mide la cantidad de oxígeno que requiere los microorganismos mientras descomponen la materia orgánica (Tebbutt, 2012); normalmente la magnitud de los resultados obtenidos es $\text{DBO} < \text{DQO}$.

Eutrofización

Las áreas costeras son las zonas de mayor desarrollo en todo el planeta, estas son fuentes de muchos recursos valiosos, que permiten desarrollar pesquerías comerciales y recreacionales, extensas áreas de agua la natación y navegación, y uso del agua en procesos de enfriamiento y reducción de la concentración de contaminantes en los puntos de descarga de las aguas residuales domésticas e industriales (USEPA, 2004).

La eutrofización es el incremento de la tasa de producción de materia orgánica en un cuerpo de agua, asociado al sobre enriquecimiento de nutrientes (Nixon, 1995; CAI et. al., 2011). Los cambios climáticos afectaran la eutrofización de los estuarios y la zona costera, incrementado los flujos de nutrientes, las relaciones entre nutrientes, la producción fitoplanctónica, el desarrollo de algas tóxicas y nocivas, la reducción de la calidad del agua, pérdida de los hábitat y recursos naturales, y el recrudecimiento de la hipoxia (Justic, 2005; Rebalais et. al., 2009).

El manejo costero se beneficia con el conocimiento y la modelación de los procesos de eutrofización, a partir de parámetros ambientales como la temperatura, turbidez, fósforo total, nitrito, amonio, demanda bioquímica de oxígeno DBO, demanda química de oxígeno DQO, oxígeno disuelto y la clorofila "a", permiten predecir el nivel de florecimiento de algas (Melesse et. al., 2008; ASCLME, 2012).

Productividad primaria

La productividad primaria se define como el proceso por el cual el carbono inorgánico es convertido a carbono orgánico por medio de la fotosíntesis que realizan las plantas, las algas o el fitoplancton en el ambiente pelágico. Para llevar a cabo la fotosíntesis el fitoplancton utiliza la luz solar, el dióxido de carbono (CO₂), el agua, los nutrientes que conformarán la estructura de las células y elementos minerales esenciales. Es decir, a partir del CO₂ inorgánico, agua y la energía luminosa (E) se forma glucosa (C₆H₁₂O₆), como molécula inicial, para originar materia orgánica y además se libera oxígeno. Así, el fitoplancton puede iniciar la conformación de sus células. Sin embargo, además de los azúcares (como la glucosa), las células se estructuran con proteínas y lípidos. Para ello, se requiere la incorporación de varios elementos esenciales, tales como el nitrógeno (N) y el fósforo (P) además del silicio (Si) que forma el esqueleto de muchas especies del fitoplancton, principalmente de las diatomeas. Se suman además, algunos otros minerales llamados micronutrientes esenciales que se requieren en pequeña cantidad, tales como magnesio (Mg), cobre (Cu) y hierro (Fe). Todos en conjunto participan en el proceso de producción primaria y algunos de ellos varían su concentración dependiendo de su ubicación en el océano, causando diferencias notables en productividad a través del tiempo o según las localidades (Morales, 2010). Existen limitantes de la productividad primaria que debe tomarse en cuenta, como son:

- Luz: Es el principal limitante de la fotosíntesis; la luz se ve disminuída conforme desciende en la columna de agua. Pueden establecerse tres zonas: zona eufótica $P > R$; zona de compensación $P = R$; y zona afótica $R < P$. la entrada de luz restringe la fotosíntesis a la zona eufótica y es donde el proceso de la

productividad alcanza su mejor desarrollo. Sin embargo un exceso de luz se vuelve perjudicial; (Ryther, 1956) demostró que al aumentar la intensidad luminosa se llega a un punto en el cual existe una inhibición de la fotosíntesis; este umbral fue localizado hacia los 10000 lux, cantidad fácilmente rebasada en un día soleado, por lo que se infiere que la mayor fotosíntesis se realiza al amanecer y atardecer.

- Temperatura: La temperatura no se puede considerar como limitante, ya que el fitoplancton local está condicionado a las temperaturas del lugar; claro está que cualquier cambio en la temperatura normal del lugar tendrá efecto negativo sobre los organismos y sus procesos.

Es importante mencionar que según (Marra, 2002), la productividad primaria se estudia de acuerdo a la escala temporal en que ocurren los procesos fotosintéticos y el crecimiento del fitoplancton. Es así como a menor escala, estos experimentos se realizan, in situ o in vitro, con una duración de minutos-horas a horas-días dependiendo de los objetivos planteados. A mayor escala, las interrogantes se enfocan hacia la variabilidad estacional, intraestacional e interanual en la columna de agua (vertical) y horizontal (mesoescala). En el primer caso, las incertezas son fisiológicas, mientras que en el segundo son ecológicas (Montecino, 2001).

Existen pocas estimaciones de producción primaria y biomasa de fitoplancton (contenido de clorofila *a*) para las aguas costeras a lo largo de la región sur de México (Lara, 2005).

Fitoplancton

En cuanto al fitoplancton, su nombre proviene del griego $\phi\iota\tau\omicron\nu$ (phyton - planta) y $\pi\lambda\alpha\upsilon\kappa\tau\omicron\varsigma$ (planktos - errante), éste está compuesto por una amplia variedad de plantas microscópicas que pueden ser unicelulares, o bien formar colonias, agregaciones o cadenas. Los tamaños también oscilan entre un amplio rango, de: ***picoplancton*** (0.2-2 μm), ***nanoplancton*** (2-20 μm), ***microplancton*** (20-200 μm) y ***mesoplancton*** (200-2 000 μm), los principales grupos los conforman diatomeas y dinoflagelados como

Ceratium. Uno de los factores esenciales para el éxito del fitoplancton es la disponibilidad y distribución de la luz en la columna de agua. La luz varía ampliamente en el espacio y el tiempo. En el plano vertical está solo disponible para la fotosíntesis en la capa superior del océano, ya que una vez que la radiación solar la traspasa el agua de mar y sus constituyentes comienzan rápidamente a absorberla. A este proceso se le denomina extinción de la luz y depende en gran parte de la transparencia de la columna de agua (Morales, 2010).

La composición y abundancia del fitoplancton en lagos y embalses depende de los siguientes factores:

- Condiciones físicas e hidrológicas: luz, temperatura, turbulencia/estabilidad del agua, tiempo de residencia del agua y tasa de sedimentación del plancton.
- Composición química del agua; nutrientes y materia orgánica, mineralización (compuestos de proporcionalidad constante) y pH, oligoelementos, etc.
- Factores biológicos:
 - Depredación por parte de filtradores planctófagos (zooplancton y peces) y relaciones entre especies (efectos alelopáticos y toxicidad inducida por algunas especies).
 - Paratismo fúngico. Infecciones por parte de hongos y cromistas heterótrofos flagelados capaces de reducir densas poblaciones fitoplanctónicas (Vicente, 2005).

Por lo tanto el fitoplancton se ha usado ampliamente como indicador del estado trófico de las masas de agua y existe abundante bibliografía que incluye métodos de muestreo y análisis (Vicente, 2005).

Clorofila-a y fotosíntesis

La fotosíntesis es el único proceso fisiológico que asegura la renovación de oxígeno, la evidencia geológica indica que este proceso apareció en su forma oxigénica hace

aproximadamente 2600 millones de años en el grupo de las cianobacterias, que fueron capaces de utilizar la energía solar para transformarla en energía química, así conforme evolucionó la vida en la Tierra, también lo hizo la fotosíntesis, dando como resultado que otros grupos como las algas y plantas realizaran también la fotosíntesis e manera oxigénica (Moreira, 2000).

De tal manera que a la fotosíntesis se le define como el proceso por el cual las plantas, algas, cianobacterias y bacterias fotosintéticas anoxigénicas convierten la energía luminosa en energía química y es la base de todas las ramas tróficas en prácticamente todos los sistemas (González et. al., 2006). Siendo este un proceso de óxido-reducción.

En general la fotosíntesis tiene como resultado glucosa + oxígeno, esto a partir de moléculas inorgánicas de carbono (CO₂) como sustrato a reducir y el agua como dador de electrones, mediante el aprovechamiento de la energía lumínica que se almacena como energía química dentro de la molécula sintetizada (Alegría, 2016).

La reacción química del proceso de fotosíntesis es la siguiente:



En este caso para que se pueda aprovechar la energía lumínica para así integrarla a la ruta metabólica e la fotosíntesis es necesaria una molécula con la capacidad de absorber la energía de la luz y emitirla como energía química estable, dicha molécula es la clorofila. Todas las células fotosintéticas poseen un número de pigmentos asociados a sus membranas tilacoides. Sin embargo, cabe resaltar que estos no son los mismos en todos los organismos y se pueden separar en tres grandes grupos: clorofilas, carotenoides y ficobiliproteínas (Wetzel, 2001).

Las clorofilas son encontradas exclusivamente en organismos fotosintéticos oxigénicos (plantas, algas y cianobacterias), (Scheliep et. al., 2012).

Cabe resaltar que se conocen cinco tipos de clorofilas las cuales son nombradas a continuación de acuerdo a su descubrimiento clorofilas: *a*, *b*, *c*, *d* y *f*, esta última reportada en el año 2010 (Chen et. al., 2010). Sin embargo la clorofila *a* es la más

abundante de todas las clorofilas; esta se encuentra en toda la actividad fotosintética conocida de los eucariotas y todas las cianobacterias.

La clorofila *a* tiene un rol especial en el uso de energía en virtud de la posición del centro de reacción dentro del aparato de trasducción de luz de organismos fotosintéticos oxigénicos, esta habilidad le permite reducir la energía; así la clorofila *a* ha sido clave en la línea de tiempo de la evolución (Scheliep *et al.*, 2012).

Es por lo anterior que se debe considerar como un factor muy relevante a la clorofila *a*, ya que para (Gregor y Marsálek, 2004), la concentración de clorofila *a* se utiliza para estimar en forma indirecta la biomasa de las comunidades fitoplanctónicas, debido a que es el principal pigmento fotosintético presente en las algas (Rivera *et al.* 2005). A su vez la clorofila *a* también es un indicador del grado de contaminación de los ecosistemas acuáticos y un importante índice del estado fisiológico del fitoplancton (Pinto *et al.*, 2001).

De tal manera que la limitación de la penetración de la luz por la turbidez en ambientes ricos en nutrientes es uno de los factores que más se cita como un mecanismo regulador de la producción fitoplanctónica (Sandoval-Rojo, 1988). La resuspensión de los sedimentos por la marea y los aportes de éstos por los ríos son factores importantes que modifican la concentración de materiales en suspensión y, por lo tanto, la profundidad de la zona fótica en la columna de agua. La formación y acumulación de la biomasa fotosintética en ambientes estuarinos, depende no solo de la productividad del fitoplancton, sino también de otros factores como la herbivoría por parte del zooplancton y la exportación, resuspensión y deposición de sedimentos (Morales, 2010).

Debido a esto, haciendo énfasis a lo citado por (Sandoval-Rojo, 1988) se debe retomar la importancia de la relación entre los factores físicos y químicos del agua, como en el caso de la turbidez, que interfiere la penetración de la luz, y así como la importancia de los factores sociales y culturales, que afectan directamente el equilibrio o el ritmo que presentaría normalmente el fitoplancton. Para ello se deben retomar estudios previos acerca de productividad y comportamiento fitoplanctónico y de métodos de evaluación de los mismos.

Nutrimentos

Otros factores importantes son los Nutrimentos, ya que la principal reserva de nitrógeno, en el caso del océano, la construyen los nitratos; éstos y el amonio pueden ser asimilados tanto en la luz como en la oscuridad, mientras que los nitritos lo son tan sólo en la luz (Harvey, 1955 citado por Contreras, 1994). Es también uno de los dos nutrientes más importantes (el otro es el fósforo) para el crecimiento de algas y plantas acuáticas. El nitrógeno inorgánico puede existir en estado libre como un gas [N₂], o como nitrato [NO₃-], nitrito [NO₂-], o amoniaco [NH₃+]. El nitrógeno orgánico se encuentra en las proteínas y es continuamente reciclado por plantas y animales (Chapman y Kimstach, 1992).

Las principales rutas de ingreso de nitrógeno a las masas de agua son las aguas residuales de la industria y los municipios, tanques sépticos, descargas de corrales de engorda de ganado, residuos animales (incluyendo aves y peces) y descargas presentes en el agua rápidamente convierten los nitritos [NO₂-] en nitratos [NO₃-]. En ecosistemas costeros, todo parece indicar que las concentraciones normales para nitratos más nitritos es de <0.01 a 5.0 µg-at/L. El nitrógeno es considerado como limitante en muchos ecosistemas costeros, debido a que la relación N:P es usualmente baja (en promedio de 6) (Contreras 2002; Abarca, 2007)

En el otro extremo, se encuentran las aguas o sistemas distróficos o hipereutróficos, en donde la generación continua y masiva de biomasa, principalmente fitoplanctónica, auspicia serios problemas en los flujos energéticos. El problema de la eutrofización (correctamente dicho, eutrofización) se ha estudiado en todo el mundo, sobretodo porque representa una amenaza constante y en los últimos años se ha acelerado debido a los aumentos de la población y los asentamientos humanos en las costas. De las conclusiones más relevantes a que se ha llegado es la que asocia la actividad humana a los incrementos de la eutrofización, ocasionados por la carencia de control en el vertimiento de desechos. Para contrarrestar lo anterior, varios países han tomado serias medidas en el control de la calidad del agua que es vertida, tanto en el océano como en los ecosistemas costeros, por lo que es necesario implementar políticas regionales para lograr beneficios comunes (Contreras, 1996).

II. Antecedentes

El origen de las lagunas costeras pueden ser sumergencias o emergencias marinas (entre otras causas) en las costas, creando zonas aisladas de poca profundidad, de acuerdo al origen de la depresión y las características de la barrera.

El origen de las lagunas costeras, es a través de una serie de eventos secuenciales de variación histórica del nivel del mar, los cuales son considerados como el agente principal del origen de las lagunas costeras:

- I- Estabilización del nivel de la línea de costa en el Pleistoceno (hace 80,000 años), a aproximadamente 5 a 8 metros sobre el actual, formándose un arrecife, cantil o bordo elevado de depósitos de playa que aún existe actualmente rodeando algunas lagunas costeras y bahías.
- II- Descenso del nivel del mar en el Holoceno (hace 18,000 años) por la glaciación de Wisconsin (transgresión Flandriana), a razón de un metro cada 100 años, y hasta 130 metros bajo el actual, durante el cual los procesos terrestres y atmosféricos erosionaron valles y cañones formando deltas y planicies costeras.
- III- Rápido ascenso (regresión) del nivel del mar a fines del Holoceno (hasta hace 5000 años atrás de hoy), hasta 3 o 4 metros bajo el actual nivel, durante el cual el agua de mar inunda las planicies y los valles previamente excavados por los ríos y glaciares descendentes. La turbulencia litoral y el oleaje retrabajan los sedimentos costeros, cubren con una capa de arena la plataforma, y forman playas en la línea de costa.
- IV- Desaceleración de la regresión anterior (desde hace 5,000 años atrás hasta hoy), en que el nivel del mar sube lentamente (2 milímetros cada año). Los nuevos ríos que ocupan las partes altas de los antiguos valles, transportan sedimentos, forman deltas progresivos en la costa y construyen barras en las bocas de las lagunas costeras.

Las lagunas costeras son por ende fenómenos de origen geológico reciente y de vida corta, estando en permanente alteración por erosión y depósito de sedimentos y por fluctuaciones del nivel del mar de carácter eustático (debidos a cambios del volumen de agua del océano) e isostáticos (debidos a cambios del nivel de la tierra). Además,

las descargas de los ríos afluentes y los rangos de las mareas están variando permanentemente, por lo que las lagunas costeras nunca logran alcanzar un estado de equilibrio definitivo. Son sistemas complejos de vida efímera, en permanente interacción y modificación, y fácilmente afectables por acciones externas (**Nota de los editores, 1983**).

La clasificación de estos sistemas está dada por dos grupos:

- I. Discretas: 1) Geomorfológica Estuarina 2) Geomorfológica Mixta (para México) 3) Según Estructura Salina 4) Según Parámetro de Estratificación.
- II. Continua: 5) Según diagrama de Estratificación-Circulación.

Discretas

- Geomorfológica Estuarina: Según Pritchard (1967) de acuerdo a su origen y formación, profundidad máxima, forma de la sección transversal, razón ancho/profundidad, geometría del canal central, tipo de sedimentos, latitud, y volumen de descarga del río. Los separa en 4 clases: I- Estuarios de valle de río inundado; II- Fiordos; III- Estuarios con formación de barra de arena en la boca; y IV- Estuarios tectónicos y Otros.
- Geomorfológica Mixta (para México): Lankford (1976) clasifica las 123 mayores lagunas costeras de México según un criterio geomorfológico basado en el origen y formación de la depresión y las características de la barra. Estos 2 hechos están controlados por los siguientes agentes causales:

a) Controles geológicos y fisiográficos: variaciones históricas del nivel del mar, perfil o relieve costero, vertientes, valles, ríos y desagües terrestres.

b) Condiciones climáticas: precipitaciones, principalmente.

c) Condiciones oceanográficas de la costa: dimensiones de la plataforma continental, energía del oleaje, energía de la marea y sus corrientes predominantes.

- Según Estructura Salina: Pritchard (1955 y 1967) clasifica los estuarios en las siguientes clases:
 - A.- Verticalmente estratificado (o de 2 capas, o de cuña de sal).
 - A-1.- Fiordo.
 - B.- Parcialmente mezclado.
 - C.- Verticalmente homogéneo, con estratificación lateral.
 - D.- Verticalmente homogéneo, sin estratificación lateral (o bien mezclado, o totalmente homogéneo).
 -

- Según Parámetro de Estratificación: Esta clasificación se basa en la definición del parámetro de estratificación G/J, en que G es la cantidad de energía perdida por la ola de marea por efecto de la fricción y J es la cantidad de energía de la ola de marea usada en mezclar la columna vertical de agua; y se clasifica las lagunas costeras según su valor en las siguientes categorías:
 - G/J menor que 20: verticalmente estratificada.
 - G/J aproximadamente 50: parcialmente mezclada.
 - G/J mayor que 150 bien mezclada

Ahora bien, el Estado de Guerrero queda comprendido dentro de la provincia geológica de la Sierra Madre del Sur la cual es producto de un levantamiento continental causado, según la teoría de la Tectónica de placas, por una coalición de la placa Americana con la placa de Cocos, formando como resultado la Sierra Madre del Sur. En esta sierra predominan las rocas ígneas, metamórficas y en último término las sedimentarias, con diferencias geomorfológicas dependiendo de la porción de la Sierra de que se trate (Ramírez, 1988).

La laguna también está caracterizada por la Barrera de Gilbert Beaumont. La cual se caracteriza por barreras arenosas externas, ocasionalmente múltiples; escurrimiento ausente o muy localizado; forma y batimetría modificadas por la acción de las mareas, oleajes tormentosos, arena traída por viento y presencia de corrientes locales que tienden a segmentar las lagunas; energía relativamente baja, excepto en los canales y durante condiciones de tormenta; salinidad variable, según las zonas climáticas (Dávila, 1987).

En 1986 Delgadillo hizo una evaluación de la materia orgánica particulada en la laguna de Coyuca de Benítez, Gro. Durante el ciclo otoño 1983 - verano 1984 y su relación con Percepción remota.

Los registros de M.O.P. (Materia orgánica particulada) y C.O.P. (Carbono orgánico particulado), 16.0 mg/l y 1.5 mg/l promedio anual respectivamente, **fueron altos en comparación con los obtenidos en otros sistemas similares y sin embargo se considera que la laguna de Coyuca es un sistema de producción moderada.** Se trató de establecer diferentes fuentes de producción M.O.P., de las cuales la que presentó mayor importancia para este sistema fue la vegetación de manglar y la ubicada en la marisma, cuya mayor abundancia se manifestó principalmente en la zona noroccidental de la laguna.

La baja relación M.O.P./C.O.P. (el 8.8% de la M.O.P. estuvo representada por C.O.P.), puede significar que aparentemente los detritus refractarios constituyen la parte más importante de la M.O.P. en el sistema y/o que el oxidante utilizado no fue lo suficientemente fuerte para oxidar el material orgánico evaluado.

En 1988 Klimek evaluó la hidroquímica, productividad e interacción del agua de mar en tres lagunas costeras tropicales en el sur de México. Se discute la hidroquímica básica, productividad e interacción del agua de mar de tres lagunas costeras tropicales seleccionadas Chautengo, Coyuca y Nuxco. Las lagunas fueron escogidas con base en su morfología, geomorfología e hidrología por ser diferentes una de otra; los parámetros que fueron medidos incluyen la temperatura, salinidad, transparencia, alcalinidad total, pH, oxígeno disuelto silicatos fosfatos inorgánicos, fósforo total, fósforo total disuelto, nitratos, nitritos, amonio y los mayores cationes Na, K, Ca y Mg. Además ensayos de biomasa fueron practicados vía pigmentos combinados con determinaciones de carbono orgánico particulado, nitrógeno protéico y fósforo particulado y las relaciones de esos datos con la cantidad de detritus.

La producción primaria fue estimada en Coyuca y Chautengo por curva diurna y el cambio del oxígeno disuelto en botellas claras y oscuras y a partir de los datos de clorofila, incidencia de la radiación solar y mediciones de tasas de asimilación. Mediciones in situ y laboratorio de Eh, pH y actividad de sulfuros en agua y sedimento fueron usados para definir diferentes niveles de descomposición de la materia orgánica y caracterizar los sedimentos en diferentes áreas de la laguna.

El pulso de alta producción ocurre uno o dos meses después de que empieza la estación de lluvias, utilizando el insumo de nutrientes de los ríos. En el **caso de la laguna de Chautengo durante el período de alta producción es usado el 70% del fósforo total, el 100% de los silicatos y el 70% del nitrógeno traído por los ríos. Mediciones experimentales de captación y reciclamiento de micronutrientes** por sedimentos sugieren que estos procesos juegan un papel importante. Esto se originó por los datos de la laguna de Coyuca que sugiere que la difusión y advección de nutrientes que se lleva a cabo en el hipolimnion anóxico mantiene la alta productividad a través del año.

Modelos estequiométricos de producción de carbono fueron aplicados usando las cantidades de nutrientes y se encontró similitud con las mediciones de biomasa dentro del límites razonables de error, con los valores de fósforo total y nitrógeno inorgánico total del reciclamiento de aguas anaeróbicas hacia el epilimnio de Coyuca; para la laguna somera de Chautengo sólo los valores de fósforo producidos razonablemente en concordancia. Todas las lagunas actúan como trampas de nutrientes en la medida que el fósforo y nitrógeno algal se incorporen dentro de los sedimentos.

Finalmente algunas consideraciones útiles con diferencias a las posibilidades de implementar pesquerías y acuicultura a través de un manejo ecológico se derivaron a partir de la investigación. (Drijver, 1985).

En 1986 López Caracterizo la hidrología para evaluar la calidad de la laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero, durante el ciclo anual otoño de 1983 - verano de 1984 y la aplicación de técnicas de recepción remota.

Se efectuó un estudio de la calidad del agua de la Laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero, durante el ciclo anual (otoño 1983 - verano de 1984), como parte integral de la investigación hidrobiológica y su aplicación Percepción Remota, realizada en el Laboratorio Interdisciplinario de la Facultad de Ciencias y el Instituto de Biología de la U.N.A.M.

El aspecto que más ha sido abordado es el de la hidrobiología y la productividad primaria. La "Laguna de Coyuca de Benítez" es considerada como perteneciente a un sistema costero que comprende a tres cuerpos de agua: "Mitla", "Chautengo" y "Coyuca". Este sistema costero se encuentra dentro de una provincia denominada "Balsas Sudpacifiquense".

Se estima que los estudios futuros deberían enfocarse más hacia la acuicultura de especies nativas, así como al estudio del aprovechamiento de recursos vegetales para obtención de materia orgánica y fertilizantes, ya que ésta podría ser aprovechada para generar energía de múltiples usos mediante la instalación de biodigestores, con ello se mejorarían y se elevarían las condiciones económicas, políticas, sociales y de salud, coadyuvando a mejorar las condiciones de vida de las poblaciones circundantes.

El pastoreo dentro del área ha representado una gran afectación a la misma por la cercanía con la laguna y con efectos negativos sobre la vegetación natural. La quema inducida en los meses de estiaje es una práctica habitual en la zona que, cuando queda fuera de control, afecta de manera negativa el componente biológico de la zona

Lo anterior se ve reflejado deteriorando la salud de las personas que viven cerca dado que se alimentan de peces que viven en la laguna, al igual que genera problemas en la salud por los contaminantes que se vierten a la laguna; siendo afectadas de igual forma la salud de la laguna y las personas.

III. Área de estudio

La Laguna de Coyuca de Benítez se localiza en las costas del Pacífico mexicano, en el estado de Guerrero al noroeste de Acapulco (Región Hidrológica No.19), entre los 16° 54' y 16° 58' de latitud norte y los 99° 57' y 100° 04' de longitud oeste, presenta una extensión 4,200 ha, una longitud y ancho de 10.6 km y 2.78 km, respectivamente (Álvarez & Torres, 2013). Para esto la laguna, es un cuerpo de agua somero de volumen variable, según la época de secas (noviembre – mayo) y de lluvias (junio – octubre), por lo que su régimen biestacional modifica la densidad del sistema acuático, como con incremento de materia orgánica particulada originando un fondo predominantemente fangoso, de características topográficas y superficiales muy irregulares (Delgadillo, 1986). Además la laguna se abre al mar a través de un canal meándrico, lo cual le proporciona una dimensión especial. (Gómez, 2001). En el centro de la laguna se encuentra una falla geológica que tiene una profundidad de más de 20 metros (Silva, 2013). En el caso de su suelo se clasifica como chernozem o negros y los estepa praire o pradera con descalcificación. Los primeros son considerados aptos para la agricultura; mientras que los segundos son propicios para la explotación ganadera y forestal (POGEG, 2015).

En el caso de la población, el II Censo 2005 informa que el municipio está integrado por 139 localidades, en las que residen 69 064 habitantes; su población es predominantemente joven, ya que el 46.3% es menor de 20 años (POGEG, 2015). La vegetación de la Laguna de Coyuca de Benítez está representada en esta planicie costera es característica de regiones cálido- húmedas; en el borde de la laguna se encuentra principalmente manglar (Monreal, 1991).

Hidrografía

Este municipio cuenta con 2 tipos de corrientes de agua: las perennes (Agua Zarca, Chiquito, Cordoncillo, Coyuca, De Las Huertas, Del Pato, El Aguacate, El Aguacoscla, El Camarón, El Coapinolar, El Conchero, El Eden, Grande, Huapanguilo, La Hamaca, La Hierba Santa, La Lima, La Prieta, La Sabana, Las Ánimas, Las Compuertas, Moyoapa, Nanciapa, Salado, Santa Gertrudis, Verde y Zacualpan) y las intermitentes (Blanco, De Las Humedades, Del Pato, El Pozquelite, El Salto, El Vacilón, El Zapote, Grande, Huertas Viejas, Infiernillo, La Coscolina, La Costa Rica). Por último los cuerpos de agua que pertenecen a el municipio es la Laguna de Mitla, Laguna de Coyuca y el Zarzal (INEGI, 2010).

USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN

El suelo tiene vocación para la agricultura (26.55%), pecuario (50.42%) y otro 0.41% es destinado para zonas urbanas Este municipio cuenta con vegetación de selva (34.68%), bosque (33.76%) y pastizal (0.58%) (INEGI, 2010).

El manglar (Figura 2) es una comunidad densa, dominada principalmente por un grupo de especies arbóreas cuya altura es de 3 a 5 m, pudiendo alcanzar hasta los 30 metros; donde se encuentran especies como *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle* *Conocarpus erectus*, mangle salado *Avicennia germinans*. También se registran especies de matorral como *Mimosa pigra*, *Solanum elaeagnifolium*, *Rauwolfia hirsuta* y de plantas flotantes se encuentran *Salvia spp.* y *Marsilea spp.* Finalmente se presenta vegetación de dunas costeras a lo largo de la zona costera. Las diversas especies que conforman esta comunidad que se desarrolla directamente sobre las dunas costeras de arena, especialmente en la Barra de Coyuca. (POET, 2009).

El clima de la región es cálido subhúmedo con una temperatura media anual de 29°C y una precipitación total anual entre 15 – 235mm (García, 1988). La laguna en su porción occidental recibe las contribuciones del río Coyuca que tiene una descarga anual de $975.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ del agua al año que proviene de las montañas (Guzmán *et al.*, 1986) y que es la fuente de mayor aporte a la laguna , en la parte sur – oriental recibe también aportes del Río Conchero cuya reducida aportación se ve limitada en la época de lluvias (Fonseca & Lozada, 1993) que dan cantidades importantes de sedimentos y materia orgánica principalmente en la temporada de lluvias (Aguirre, 2001).

Desde hace varias décadas la barrera de arena que separa la laguna del mar (Figura 3), se abre frente a la desembocadura del Río Coyuca durante dos períodos al año por un canal de aproximadamente 10 m, aunque generalmente su apertura es inducida; este fenómeno tiene lugar cuando la laguna alcanza los máximos niveles, lo que sucede entre agosto – septiembre y entre noviembre – diciembre, pero la influencia marina en el canal adyacente a la boca de la laguna es escasa lo que determina condiciones oligohalinas en el área interna de la desembocadura (Román *et al.*, 2007).

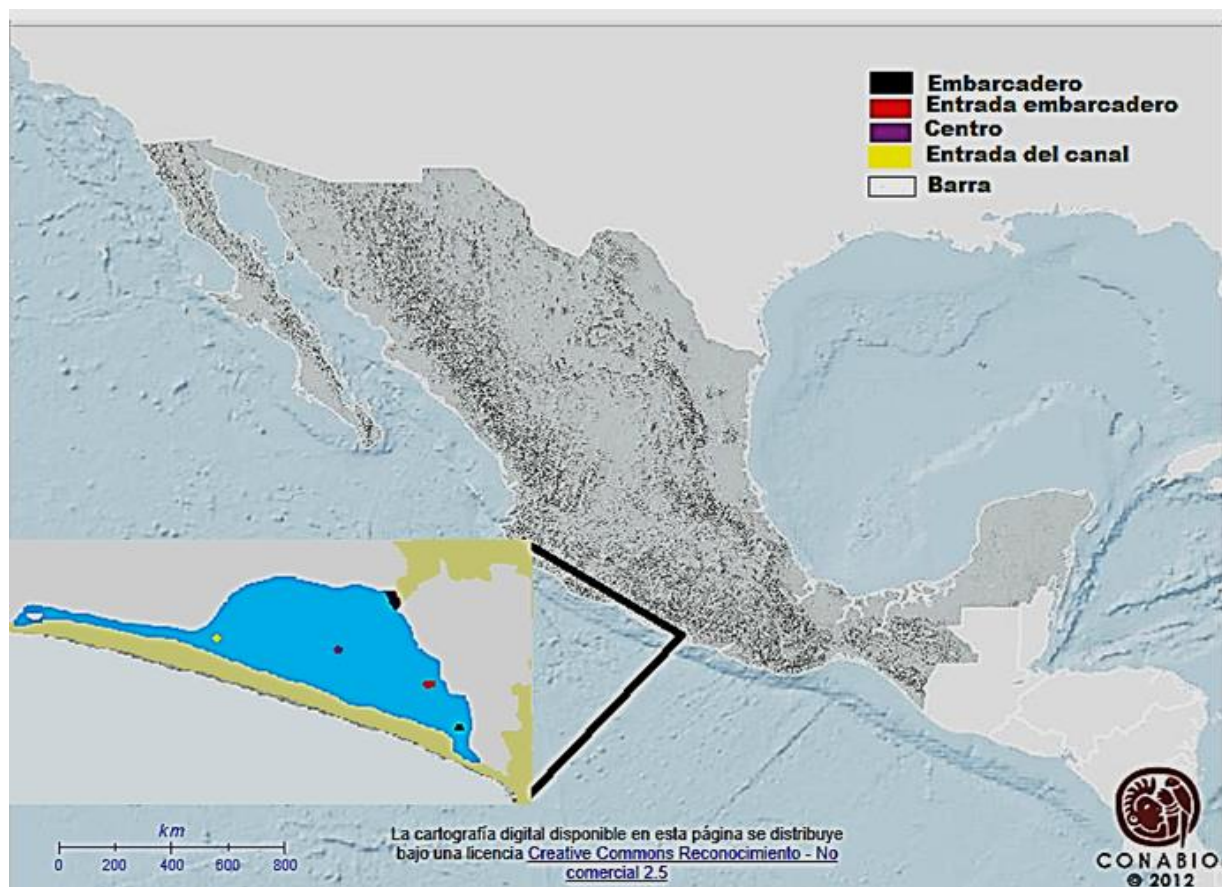


Figura 1. Localización de la Laguna de Coyuca de Benítez $16^{\circ} 54'$ y $16^{\circ} 58'$ latitud Norte y $99^{\circ} 57'$ y $100^{\circ} 04'$ de longitud oeste, con los cinco puntos de monitoreo.

Mapa obtenido de CONABIO, portal de información 2012.



Figura 2. Manglar conocido como “Mangle rojo”, ubicado en el punto de monitoreo del canal.



Figura 3. Barra que divide mar abierto con la Laguna, en el cual se puede apreciar la presencia de actividades antropogénicas.

IV. Problemática

La Laguna de Coyuca de Benítez es un ecosistema que gracias a su gran variabilidad ambiental y su alta productividad biológica ha provocado que sea intensamente aprovechada por el hombre (Figura 4), traduciéndose esto en un proceso de deterioro, como la contaminación puntual o difusa, y a la alteración de los flujos de intercambio de agua dulce y marina por la apertura constante de la boca con el mar (Tapia *et al.*, 2008). Adicionando a esto, el crecimiento poblacional y las actividades turísticas, comerciales, agropecuarias e industriales que se llevan a cabo en el municipio, genera grandes cantidades de aguas residuales que afectan la calidad del agua de la laguna (Figura 5), (Torres, 1980).

De igual manera, se ha reportado que la calidad del agua en La Laguna de Coyuca de Benítez, es moderadamente contaminada y que los sitios; El Zarzal, el predio Puente La Loma, El Embarcadero y la Zona turística de la Laguna presentan el mayor grado de contaminación (INAPESCA 2004).

Basándonos en lo anterior, debido a que las lagunas costeras son cuerpos receptores de escurrimientos (usualmente contaminados por detergentes, fertilizantes y desechos orgánicos) provenientes de la cuenca, y tomando en cuenta la alta cantidad de actividades antropogénicas que se llevan a cabo en el área aledaña a la laguna, tales como ganadería (Figura 6), agricultura, originan afectaciones que han existido a lo largo de la historia, así como a la integración de la vida diaria entre la laguna y los habitantes a la circunferencia de la misma.

Por ello las consecuencias ambientales de todo este proceso derivan en afectaciones a la estructura y función de los ecosistemas acuáticos y terrestres, un alto consumo de oxígeno disuelto por descomposición de la materia orgánica, desarrollo de plagas y enfermedades, el florecimiento inducido y excesivo de vegetación acuática y la presencia de sistemas lénticos que dificultan el intercambio gaseoso y propician contaminación de aguas, lodos y suelos.

De manera general, la flora y fauna nativas han sido afectadas por el deterioro del ambiente y la introducción de especies exóticas; ambos factores influyen en ciclos naturales de reproducción-regeneración de las poblaciones, así como en la estructura y funcionamiento de las comunidades.

El pastoreo dentro del área ha representado una gran afectación a la misma por la cercanía con la laguna y con efectos negativos sobre la vegetación natural. La quema inducida en los meses de estiaje es una práctica habitual en la zona que, cuando queda fuera de control, afecta de manera negativa el componente biológico de la zona

Lo anterior se ve reflejado en el deterioro a la salud de las personas que viven cerca, ya que se alimentan de peces que viven en la laguna, al igual que genera problemas en la salud por los contaminantes que se vierten a la laguna; siendo afectadas de igual forma la salud de la laguna y las personas.



Figura 4. Aprovechamiento de la Laguna, la pesca es una de las actividades más frecuentes.



Figura 5. Actividades turísticas que afectan directamente la calidad del agua de la Laguna.



Figura 6. La ganadería a lo largo de la Laguna, el pastoreo presenta una grave afectación sobre la vegetación.



Figura 7. Asentamientos urbanos ubicados a lo largo de la laguna, éste en particular se localiza muy cerca del canal en donde encontramos el manglar.

V. Justificación

Las lagunas costeras son consideradas sistemas con una alta concentración de nutrientes y por lo tanto los niveles productivos suelen ser altos en este tipo de cuerpos de agua, por ello es importante conocer los niveles de producción en este sistema, puesto que se pretende conocer qué nivel de eutrofización existe en este tipo de aguas estuarinas, el cual tiende a incrementarse con el desarrollo costero, modificando la calidad del agua y las funciones del ecosistema y por ello el equilibrio del sistema tiende a inclinarse por el lado de una alta productividad y una baja

degradación y aprovechamiento de nutrientes. Al aumentar la concentración de nutrientes se favorece la frecuencia y la dinámica de los florecimientos algales, lo que a su vez incrementa la producción planctónica, consecuentemente, se propicia la extensión y la severidad de la hipoxia en la columna de agua como de la oxidación de la materia orgánica, de esta forma se ve afectado el nivel fótico del sistema y por lo tanto el equilibrio de los nutrientes no puede permanecer estable y a largo plazo el sistema puede llegar a un punto de eutrofia en el que se verán afectadas tanto las actividades pesqueras y turísticas, como la calidad de vida de la gente que vive en la zona.

La importancia del estudio radica en el conocimiento de la laguna de Coyuca siendo esta un sistema lagunar costero, dicho sistemas por su alta productividad tiende a un carácter eutrófico, combinando el hecho que dentro de la misma actualmente hay fuentes de contaminación tanto agrícola, ganadera y también como de desechos urbanos, por ello es importante un seguimiento periódico de las condiciones del sistema, para poder ser consciente del nivel de productividad existente en el sistema y por ello poder anticipar o conocer si el sistema está o se aproxima a un nivel eutrófico, teniendo en cuenta esto, en el estudio se identificará el nivel de productividad existente en el sistema y se conocerá el grado de afectación de las actividades pesqueras y turísticas así como la calidad de vida de los habitantes de la zona, anticipar o conocer si el sistema se encuentra o se aproxima a un nivel eutrófico, teniendo en cuenta esto se pretende comparar con estudios realizados en 1986, 2001 y en 2012 con el fin de conocer el potencial de eutrofización que se ha dado hasta la actualidad y así conocer a qué ritmo el sistema ha aumentado su sistema trófico por las actividades realizadas en la laguna.

VI. Hipótesis

Tomando en cuenta que las condiciones cambian conforme a la estación que exista en la laguna se pretende observar que en el periodo entre verano y otoño existirá una mayor abundancia de fitoplancton y por ello al ser la época con mayor intensidad en los cambios y fluctuaciones en la masa de agua debido a la mezcla de agua de mar existirá una mayor productividad, el fitoplancton se encontrara en una dinámica más constante.

A causa de las actividades antropológicas que se realizan en las orillas de la laguna se pretende encontrar una mayor productividad en zonas donde exista una mayor interacción con las personas que viven ahí, por actividades ganaderas, agrícolas, turismo y por la descarga de desechos de los habitantes de la zona aledaña y también observar conforme a estudios ya realizados que la productividad a lo largo

de los años desde 1986 ha aumentado, así como la concentración de clorofila-a ha aumentado por el crecimiento demográfico en zonas con más actividad antropológica y por ello al hacer una comparación con el estudio realizado por Pérez en 1986 sabremos a qué ritmo el nivel ha aumentado .

VII. Objetivo General

Evaluar la productividad primaria fitoplanctónica a dos diferentes niveles de profundidad en puntos específicos a lo largo de la Laguna.

VIII. Objetivos particulares

- Evaluar los parámetros físicos y químicos en campo: profundidad, temperatura, DQO, DBO, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y pH.
- Realizar la evaluación macronutricional del sistema a dos diferentes niveles de la columna de agua (NH_4^+ , NO_3 , NO_2 y P totales).
- Establecer la relación entre la productividad primaria y la clorofila *a*.
- Determinar el estado trófico de la laguna a partir de la clorofila *a*, nutrientes y productividad primaria

IX. Método

La metodología se dividió en tres fases: fase de campo, fase de laboratorio y fase de gabinete. Los muestreos se realizaron mensualmente durante 7 meses de noviembre del 2016 hasta agosto del 2017. Para esto se seleccionarán cinco puntos a lo largo de la Laguna, los cuales se determinaron por el alto impacto de actividades antropogénicas.

Trabajo de campo

La colecta de muestras de agua se realizó con ayuda de una lancha con motor fuera de borda y un receptor GPS marca Garmin modelo Plus IV con datum WGS84, las muestras para los análisis en laboratorio se tomarán en cinco puntos de monitoreo: Embarcadero, Entrada de Embarcadero, Centro, Entrada de Barra y Barra, ya que cada uno de ellos tienen un impacto directo con las actividades antropogénicas, las muestras se tomarán a nivel de superficie en forma manual y fondo con una botella Van Dorn, colocando las muestras en frascos de polietileno con capacidad de 1 litro, se determinaron los siguientes parámetros en campo:

Parámetro	Técnica	Bibliografía
Profundidad y transparencia	Disco de Secchi	(Gómez, 2011)
Temperatura, ph, conductividad Eléctrica, salinidad y STD.	Multiparamétrico HANNA HI9828	Manual de Instrucciones HI9828 Multiparametro
Oxígeno Disuelto	Medidor de Oxígeno Disuelto HI9146	Manual de Instrucciones Medidor de Oxígeno HI9146
Nitratos y Nitritos	Multifotómetro HANNA HI83200	Manual de Instrucciones Multifotómetro HANNA HI83200
pH	Multiparámetro Hanna HI9828	Manual de Instrucciones HI9828 Multiparametro
Conductividad	Multiparámetro Hanna HI9828	Manual de Instrucciones HI9828 Multiparametro
Oxígeno disuelto	Multiparámetro Hanna HI9828	Manual de Instrucciones HI9828 Multiparametro

Salinidad	Multiparámetro HI9828	Hanna	Manual de Instrucciones HI9828 Multiparametro
Potencial Óxido-Reducción	Multiparámetro HI9828	Hanna	Manual de Instrucciones HI9828 Multiparametro

A su vez se tomaron muestras de agua con ayuda de la botella Van Dorn para poder evaluar posteriormente los parámetros químicos en laboratorio, así como para analizar la productividad primaria fitoplanctónica y de clorofila a.

Fase de laboratorio

En laboratorio se realizarán las siguientes técnicas para la evaluación de parámetros químicos:

Parámetros químicos	Método	Bibliografía
Demanda Química de Oxígeno	Reflujo Cerrado, colorimétrico	(APHA, 1996)
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Técnica DBO ₅	(APHA, 1996)
Sólidos totales y disueltos	-Sólidos totales secados a 103-105 °C -Sólidos totales disueltos secados a 180 °C	(APHA, 1996)
Amonio, Fosfatos	Multifotómetro Hanna HI83200	Manual de Instrucciones Multifotómetro HANNA HI83200

La cuantificación de la clorofila-a ésta basada en la técnica descrita en el Manual de Técnicas Analíticas Para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos y Contaminantes Marinos (método de Lorenzen):

Realizando primeramente la filtración en condiciones de poca luz y en el menor tiempo posible posterior a la extracción para así evitar la foto-oxidación de la clorofila. El filtro que contiene la clorofila concentrada se depositó en un tubo de ensayo y se agregaron 5 ml de acetona al 90%, con el macerador de tejidos se

desintegró el filtro de fibra de vidrio y se adicionaron 5 ml más de acetona al 90% para completar 10 ml de extracto, dichos tubos se mantuvieron en completa oscuridad durante 24 hrs. a una temperatura de 4°C para así asegurar la extracción de la clorofila, posteriormente el extracto se centrifugó a 3000 rpm por 20 minutos para eliminar las impurezas. Se realizó una lectura de blanco con acetona al 90%. Finalmente se realizó la lectura de las muestras a diferentes longitudes de onda y se realizaron las ecuaciones para determinar la concentración de clorofila *a*.

Parámetro	Técnica	Bibliografía
Cuantificación de clorofila "a"	Método de Lorenzen	(Rivera, 2005)

La producción primaria se evaluó mediante el método de evolución de oxígeno en botella clara y oscura in situ propuesto por Gaarder y Gran en 1927.

Mediante la utilización de botellas colocadas a las mismas profundidades donde se realizó el muestreo de clorofila *a*, evaluando al inicio de la incubación la cantidad de O₂, posteriormente las muestras fueron suspendidas en una cuerda, para así mantener las condiciones naturales, extrayendo en el periodo de tiempo establecido y analizando nuevamente la cantidad de O₂ con el oxímetro HI9146, para finalmente realizar las ecuaciones correspondientes.

Parámetro	Técnica	Bibliografía
Productividad primaria	Método por Gaarder y Gran (botella clara y oscura)	(Gutierrez, <i>et al.</i> 2006)

Trabajo de Gabinete

Se establecerá el comportamiento espacial y temporal de todas las variables por medio del programa Excel. Se realizará un análisis estadístico multivariado para establecer su comportamiento de las medias y las medianas utilizando el programa estadístico Statgraphics Centurion 5.2, XVI.



Figura 8. Evaluación de concentración de Oxígeno Disuelto (marcha de veinticuatro hrs.).



Figura 9. Obtención de curva patrón para la evaluación de DQO.

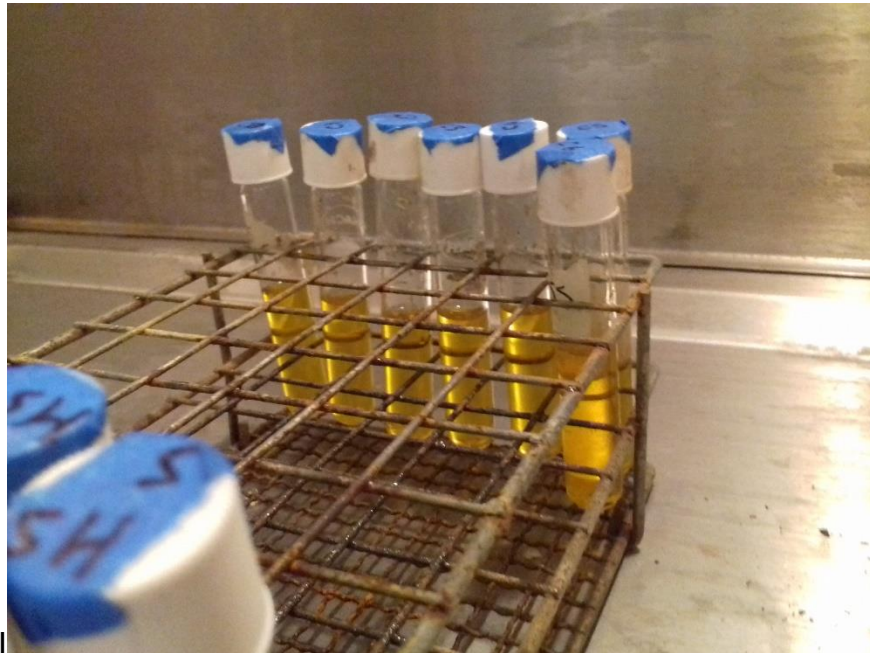


Figura 10. Celdas para evaluación de DQO.



Figura 11. Preparación de Celdas para evaluación de DQO



Figura 12. Evaluación de Oxígeno Disuelto, STD, Conductividad, Temperatura *in-situ*.

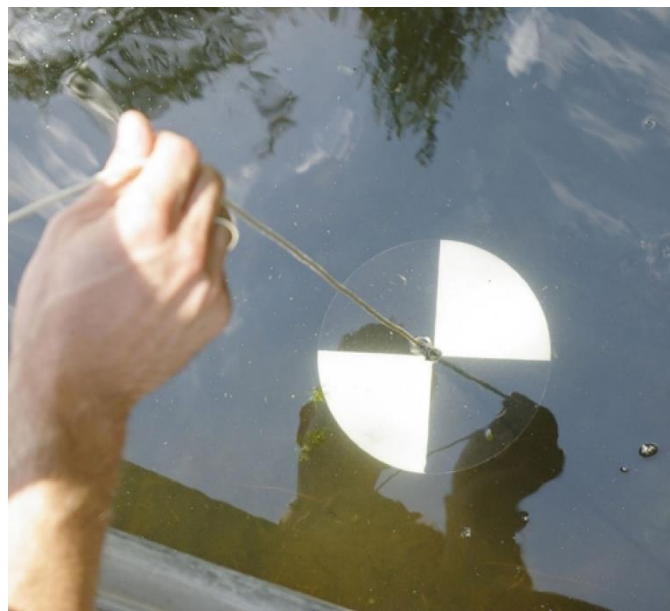


Figura 13. Evaluación de Transparencia mediante Disco Secchi



Figura 14. Botella Van Dorn para obtención de muestras en fondo.

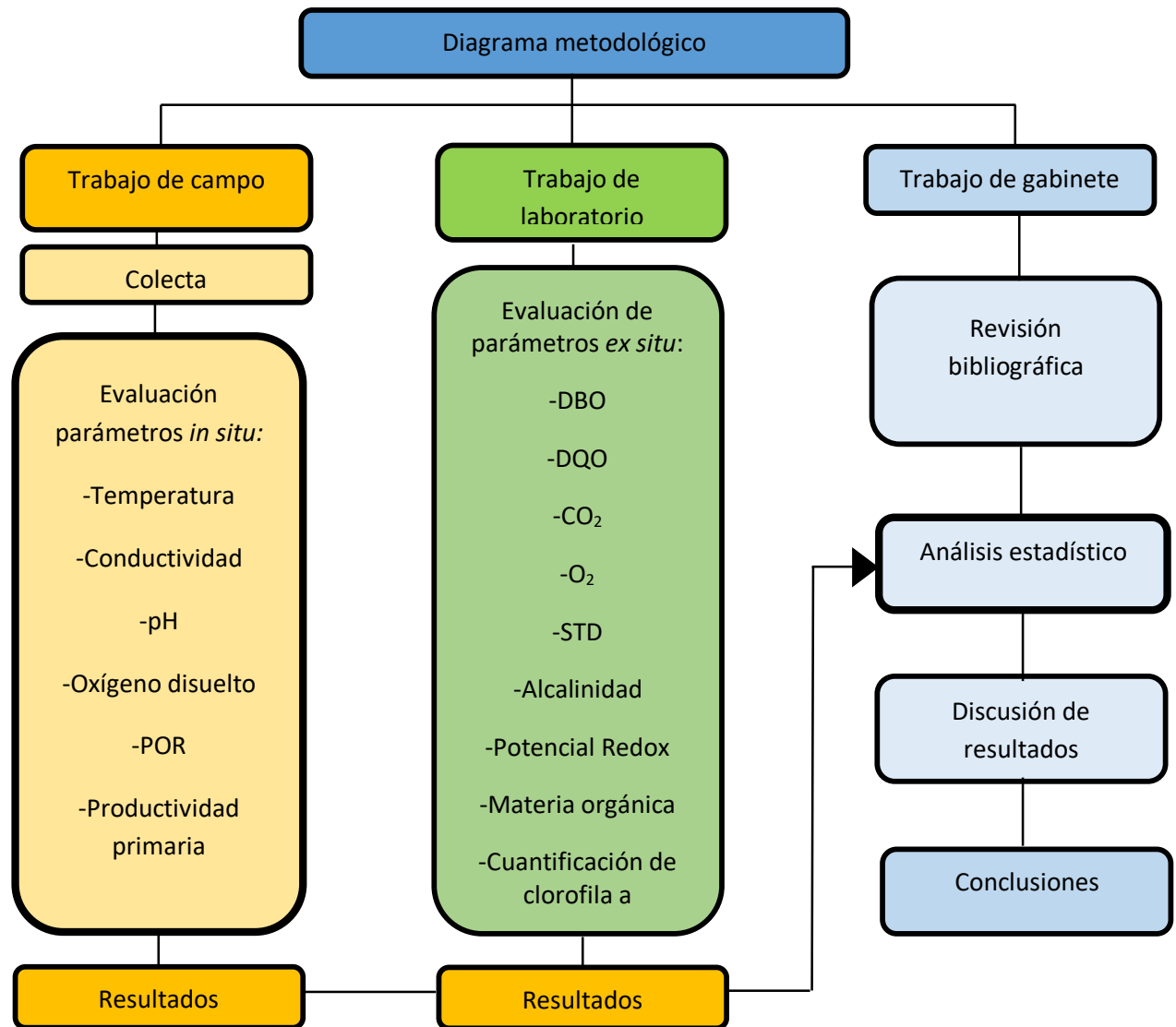


Figura 15. Evaluación de Nutrientes mediante Multifotómetro HANNA HI83200



Figura 16. Multiparámetro Hanna HI9828 y Oxímetro Hanna HI 9196.

X. Diagrama metodológico



XI. Resultados y discusión

VARIABLES FÍSICAS

Profundidad

La profundidad media de la laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo fue de 3.11 m, presenta un comportamiento heterogéneo ($P=0.000220162$; $P<0.05$ KW), la comparación de medianas muestra una diferencia significativa (figura 17), esto es debido a la morfología variada de la Laguna, según (Cruz, 2013), la profundidad es mayor conforme ésta se aproxima a la zona noreste de la misma, el punto de muestreo más cercano a dicha zona es el Centro, siendo justamente éste el punto que presentó un mayor nivel (9.6 m). La razón de esto es que en el centro de la Laguna se encuentra una falla geológica que tiene una profundidad de más de 20 metros (Silva, 2013). El punto con menor profundidad fue la Barra, el cual se ve directamente afectado el canal meándrico por la apertura y cierre constante de la Barra de Coyuca de Benítez en la temporada de lluvias el cual se da de manera natural y en ocasiones por la intervención de los pobladores (POET-Coyuca Benítez, 2009). La profundidad presentó un comportamiento homogéneo de manera temporal ($P=0.0378103$; $P<0.05$ KW), (Figura 18), con un promedio de 3.26 m, teniendo una mínima de 2.75 m y una máxima de 3.84 m (Figura 19), dichos niveles están directamente relacionados con el comportamiento hidrológico de la Laguna el cual establece que la época de secas empieza desde el mes de octubre y la de lluvias empieza en mayo, para el último caso en el 2017 la temporada de lluvias se presentó antes, acompañado del fenómeno de “el niño” el cual provocó que la laguna alcanzara un nivel máximo para los meses de abril y mayo, por tal razón los pobladores realizaron la apertura de la Barra durante veinte días, por lo que el nivel disminuyó considerablemente en el mes de agosto.

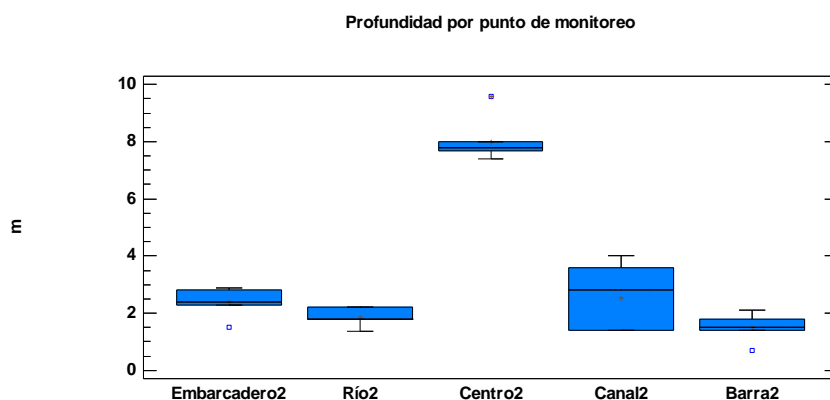


Figura 17. Diagrama de cajas múltiples para la profundidad de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.

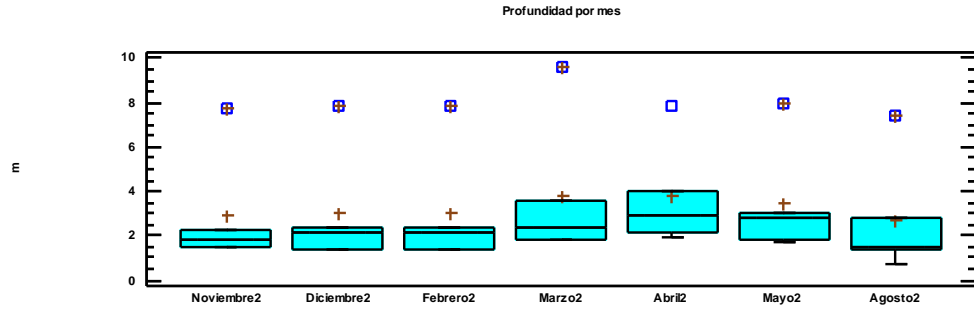


Figura 18. Diagrama de cajas múltiples para la profundidad de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.

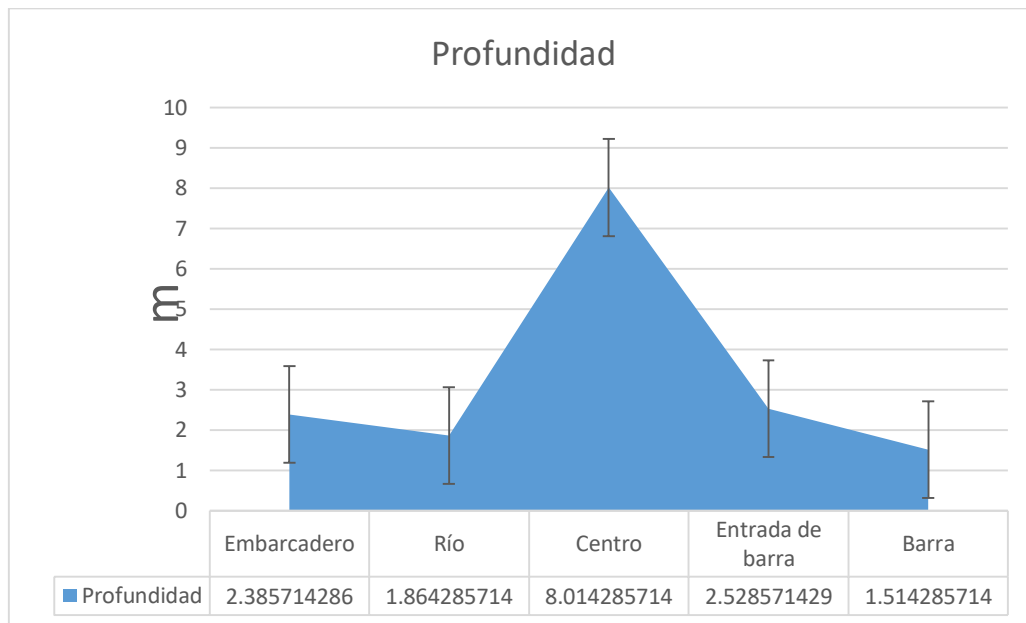
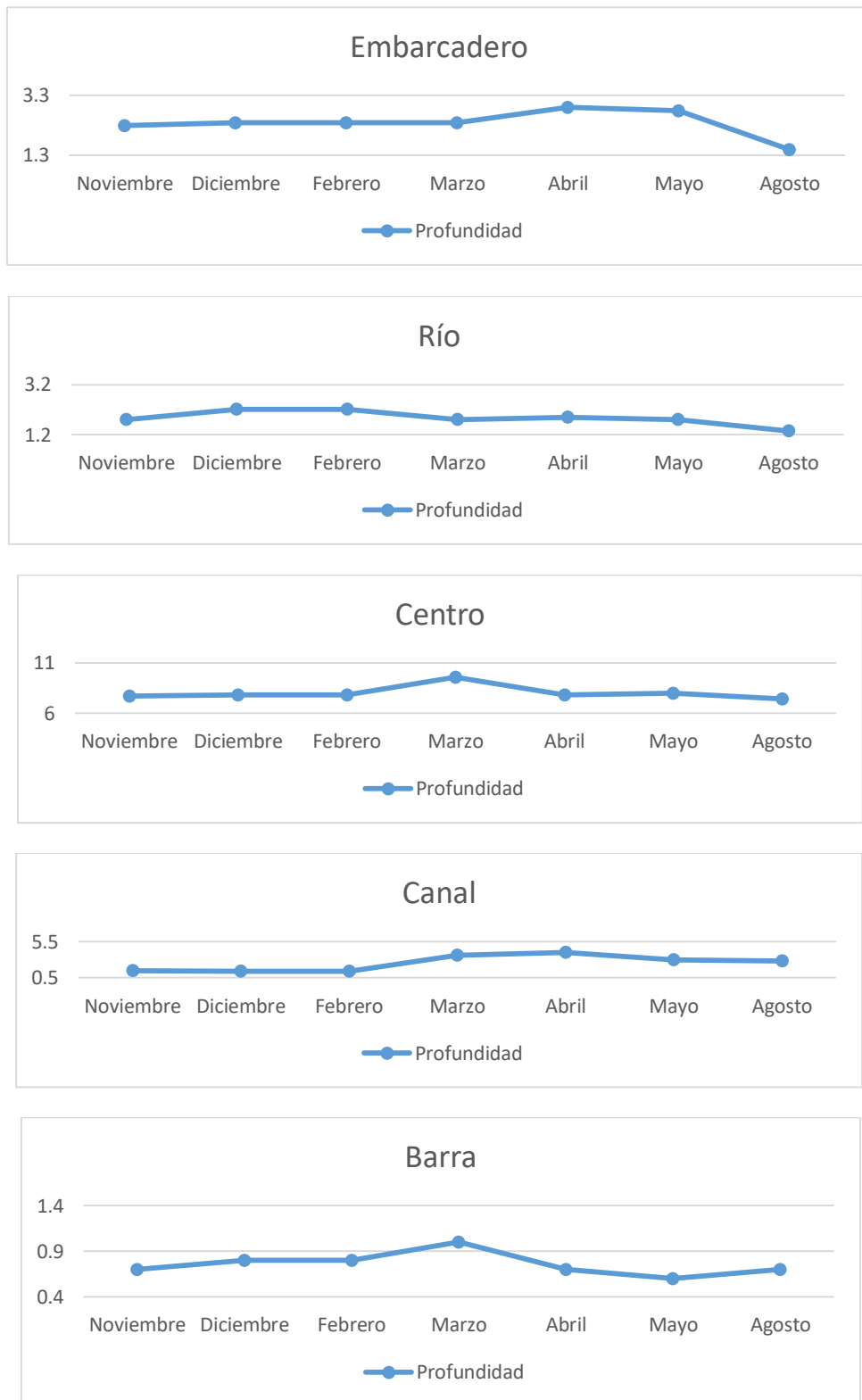


Figura 19. Representación de área de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.

Figura 20. Variación temporal de profundidad en cinco estaciones de monitoreo



Transparencia

La transparencia presentó un comportamiento por punto de monitoreo homogéneo ($P=0.105659$; $P<0.05$ KW), (Figura 21) teniendo un promedio de promedio de 0.44 m el cual se encuentra fuera del rango que se establece en los CE-CCA-001/89 para la Protección de la Vida Acuática (>2.0 m) esto debido a la cantidad de materia orgánica, así como a partículas suspendidas a causa de descargas de los principales ríos que desembocan en este cuerpo receptor. La Barra es un punto en el cual la transparencia es mayor, pero esto es debido a que la profundidad es mínima a comparación a los otros puntos. Por otro lado su comportamiento temporal es heterogéneo ($P=0.0133985$; $P<0.05$ KW), (Figura 22), esta varía a consecuencia del comportamiento hidrológico de la Laguna, ya que al empezar la temporada de lluvias se presenta una mayor descarga en los ríos principales los cuales traen consigo una mayor cantidad de materia orgánica (figura 23), partículas suspendidas y sedimentos que afectan directamente a la transparencia de la Laguna, así como los desechos de las zonas aledañas, las cuales aumentan al iniciar la temporada vacacional, siendo los locales comerciales los principales aportadores (Aguirre, 2001).

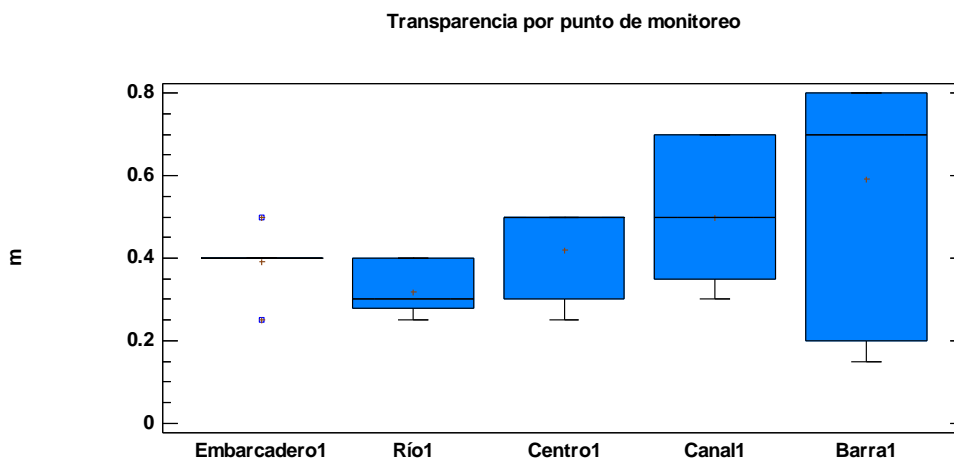


Figura 21. Diagrama de cajas múltiples para la transparencia de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.

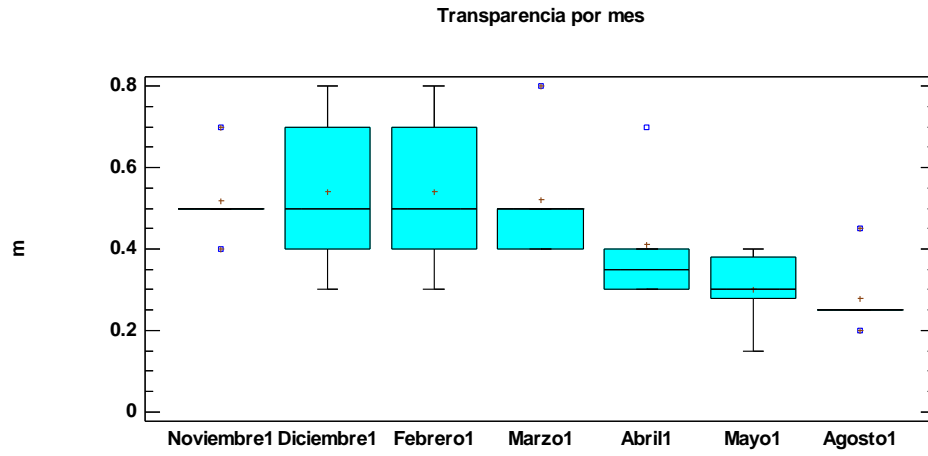
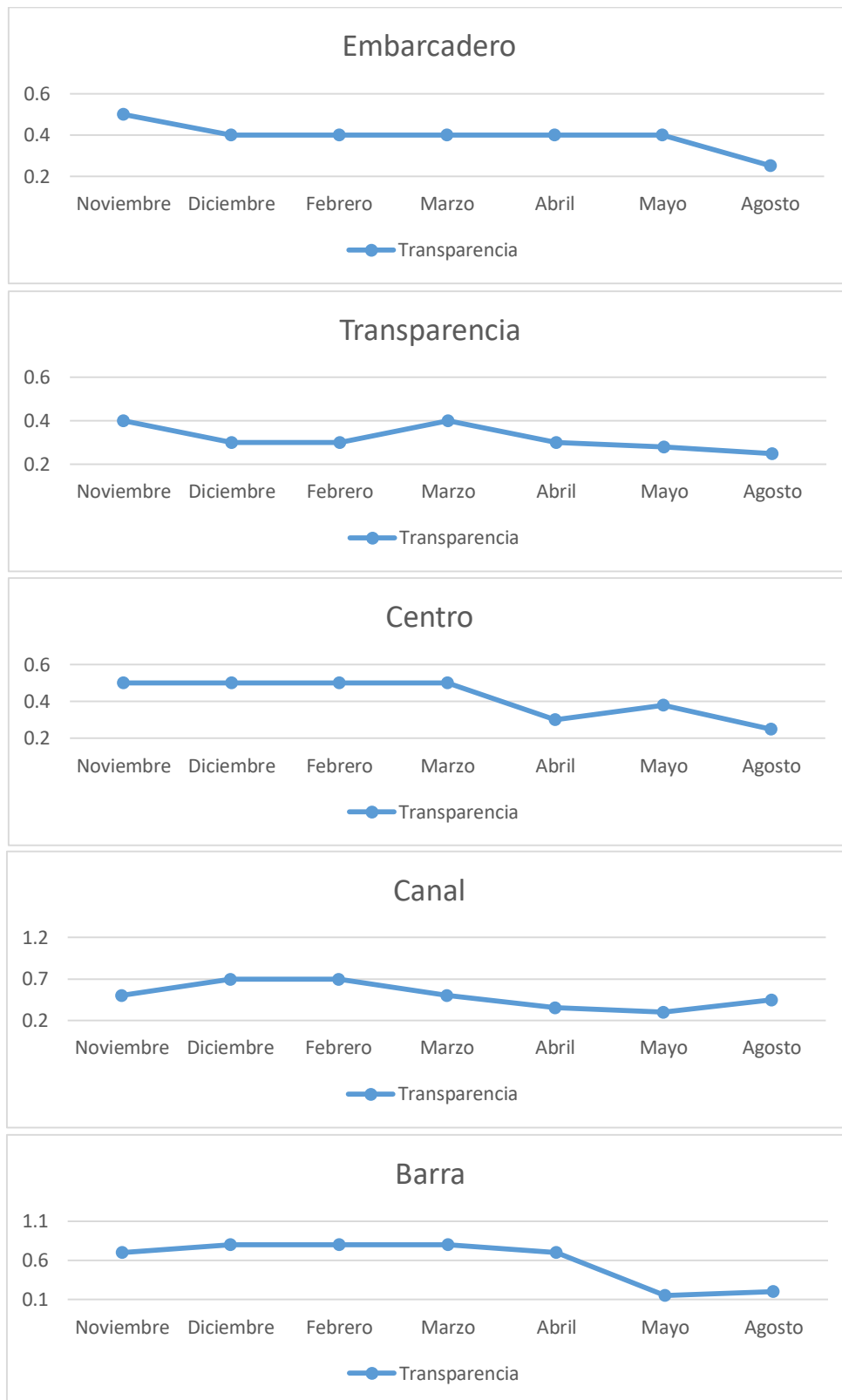


Figura 22. Diagrama de cajas múltiples para la transparencia de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.

Figura 23. Variación temporal de transparencia en cinco estaciones de monitoreo



Temperatura

La temperatura tuvo un promedio de 28.89 °C presentando una máxima de 31.31 °C y una menor de 27.94 °C, correspondiendo al tipo de clima (AW-Cálido Subhúmedo), con una temperatura promedio de entre 24-27 °C (CONABIO, 2009). Esta se encuentra dentro del límite máximo permisible para la NOM-001-SEMARNAT-1996 para la Protección de la Vida Acuática, explotación pesquera, recreación y estuarios (40 °C), sin embargo, en algunos muestreos ésta se encuentra muy cerca de sobrepasar los 32 °C, el cual es el límite máximo para los CE-CCA-001/89 para la Protección de la Vida Acuática en agua dulce, marina y estuarios. Los resultados son muy similares a los registrados por Cruz, 2013 (25.1-32.9 °C).

La Laguna se comporta de manera homogénea ($P=0.524017$; $P<0.05$ KW) (Figura 24), tanto en superficie como en fondo ($P= 0.139606$, $P= 0.567109$; $P<0.05$ KW respectivamente), ya que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de los distintos puntos (Figura 25 y 26), de igual manera la diferencia entre la superficie y el fondo de la misma fue mínima (Figura 27), de acuerdo con Wetzel (2001) éste es un comportamiento típico de un lago poco profundo ubicado en una zona tropical. Al contrario de esto el comportamiento estacional el comportamiento fue heterogéneo ($P= 0.0378103$; $P<0.05$ KW), pues se presentaron diferencias significativas en los meses de marzo, abril y mayo (Figura 28), dicho comportamiento es debido a la estación del año en el que se encuentran, ya que son cuando empieza la primavera, en este periodo la laguna presenta sus mayores niveles de temperatura siendo cálido subhúmedo con lluvias en verano (INEGI, 2010).

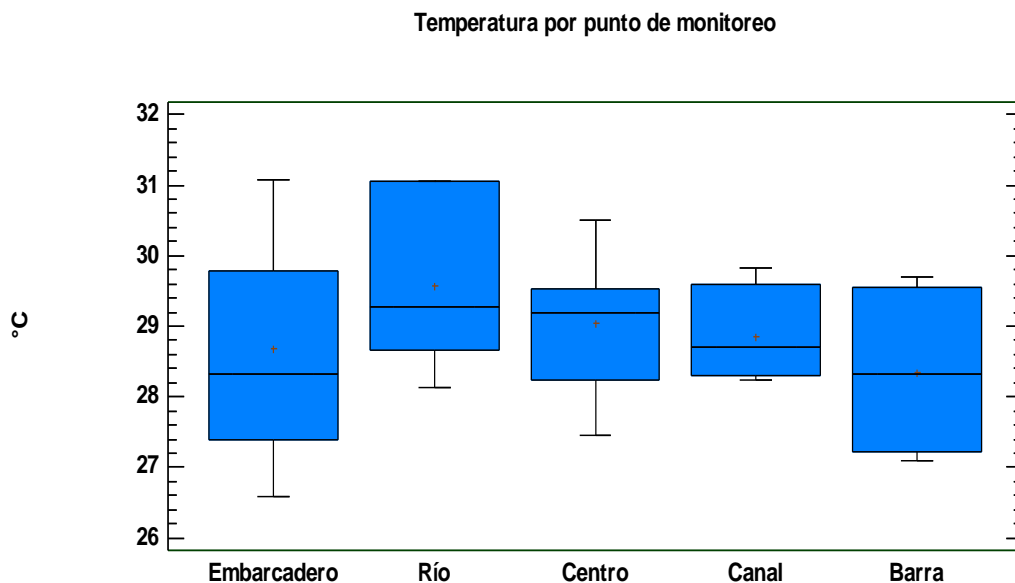


Figura 24. Diagrama de cajas múltiples para la temperatura de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.

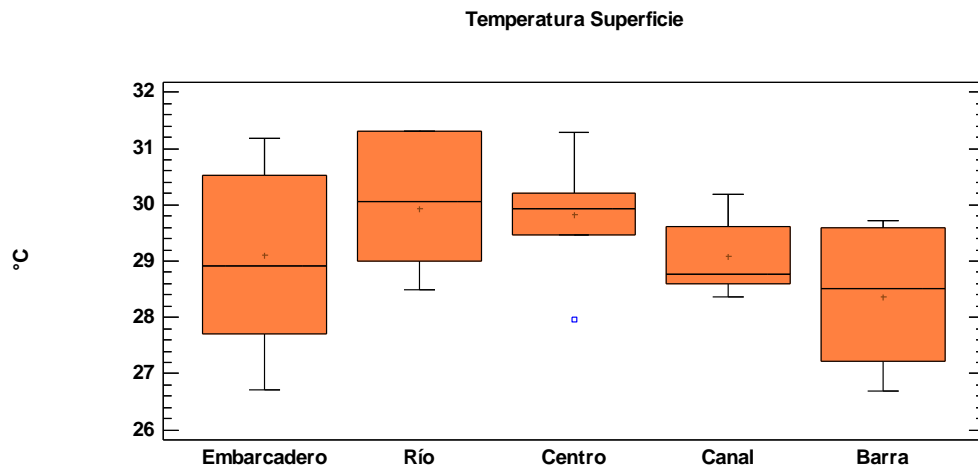


Figura 25. Diagrama de cajas múltiples para la temperatura de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.

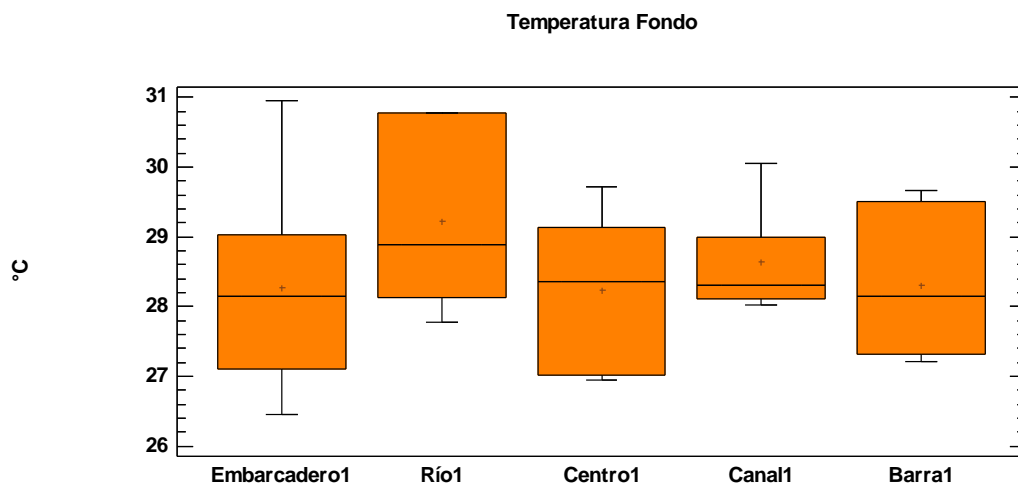


Figura 26. Diagrama de cajas múltiples para la temperatura de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.

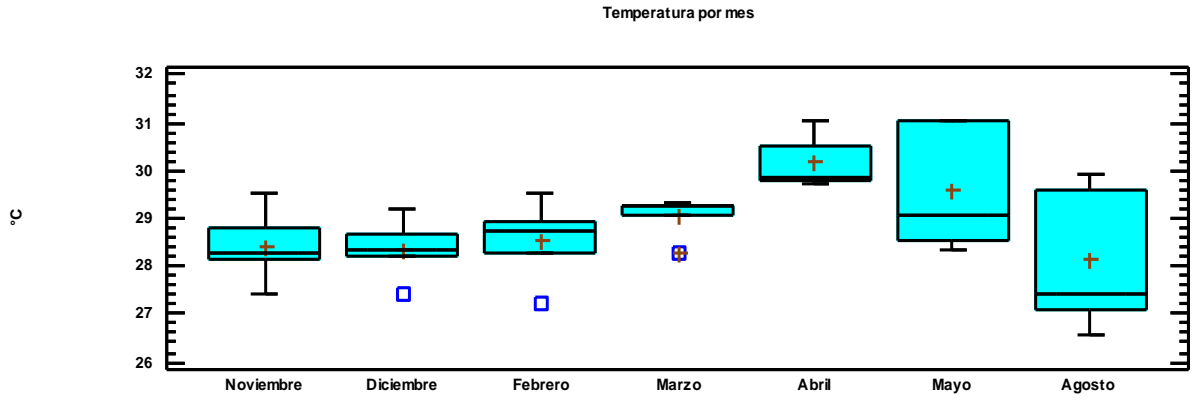
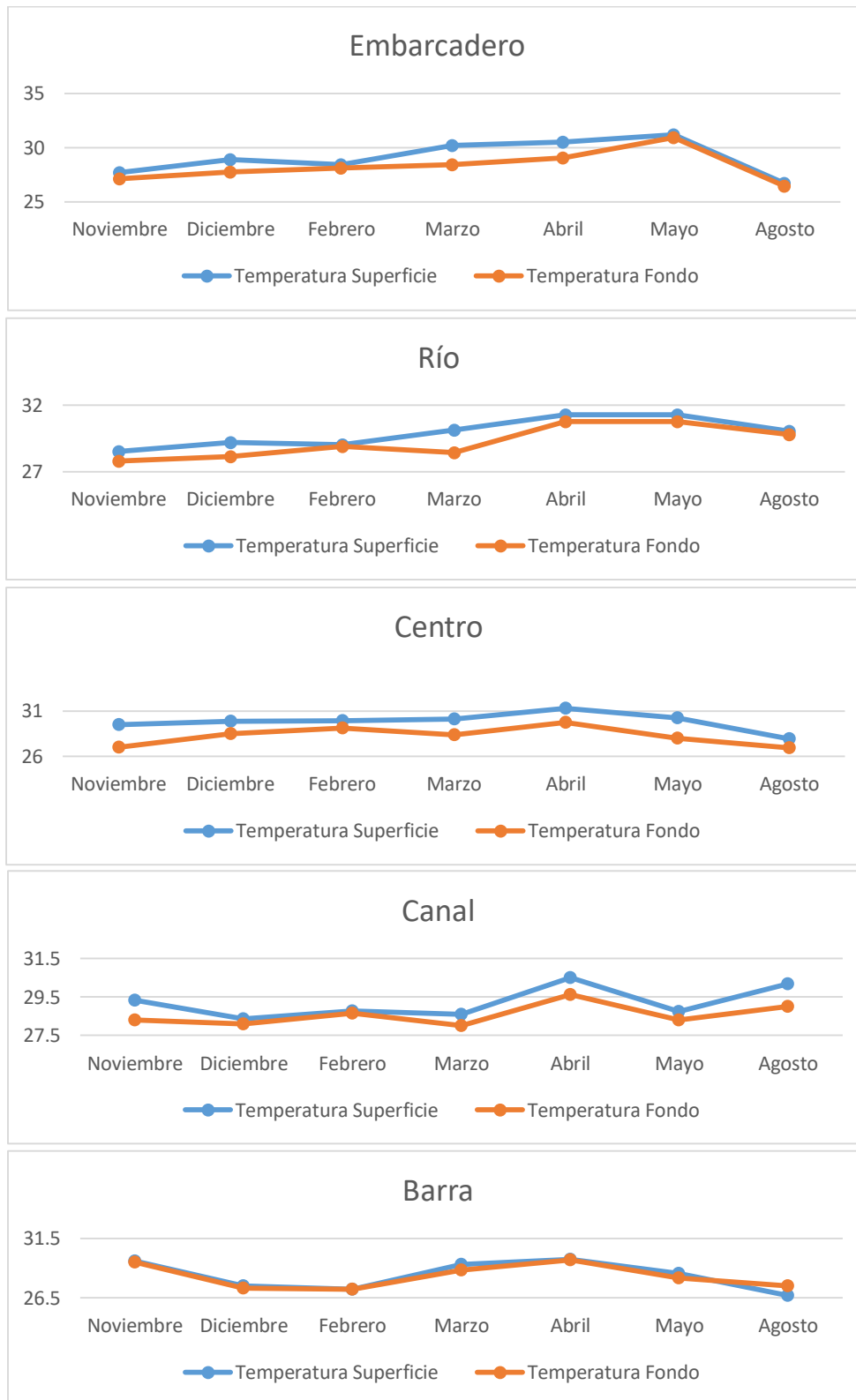


Figura 27. Diagrama de cajas múltiples para la temperatura de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.

Figura 28. Variación temporal de temperatura en superficie y fondo en cinco estaciones de monitoreo



Variables Químicas

Oxígeno Disuelto

El Oxígeno Disuelto presentó un promedio de 4.71 mg/L^{-1} con una máxima concentración de 6.4 mg/L^{-1} y una mínima de 2.53 mg/L^{-1} , el promedio del Oxígeno Disuelto está por debajo de los límites máximos permisibles establecidos en los CE-CCA-001/89 (5.0 mg/L^{-1}) para la protección de la vida acuática (agua dulce,-agua marina/áreas costeras), La laguna presenta diferencias significativas entre los puntos de monitoreo ($P=0.00000108181$; $P<0.05 \text{ KW}$), tanto en superficie como en fondo ($P= 0.000445012$, $P= 0.0000761653$; $P<0.05 \text{ KW}$ respectivamente), donde destacan el Centro y el Canal como los puntos con menos cantidad de Oxígeno Disuelto, sin embargo se rebasa en los puntos del Embarcadero, Río y en algunos casos en La Barra (Figura 29 y 30), esto se debe a la cantidad de aportación de materia orgánica en dichos puntos, los cuales se relacionan directamente con la productividad primaria, ya que en el Embarcadero y la Barra es donde existe una mayor concentración de pobladores así como una alta actividad turística y de recreación, seguida por el Río que en conjunto con la Barra (Río Coyuca) es uno de los principales aportes de descargas que proporcionan cantidades importantes de sedimentos y materia orgánica principalmente en la temporada de lluvias (Aguirre, 2001). De igual manera cabe resaltar que el comportamiento del O. D. es muy equivalente entre los dos niveles de profundidad, a diferencia del punto Centro que es donde encontramos una mayor profundidad, siendo ésta la parte más anóxica. El comportamiento de las medianas para el Oxígeno Disuelto fue homogéneo ($P=0.548997$; $P<0.05 \text{ KW}$), no obstante la prueba estadística realizada nos muestra que el comportamiento esta por muy poco a mostrar diferencias significativas entre las medianas; en los meses de abril, mayo y agosto (Figura 31 y 32), se presentaron los niveles más altos de Oxígeno Disuelto, esto a consecuencia de las precipitaciones que empezaron en abril del 2017, que en dicho caso se presentaron antes del tiempo establecido (CONAGUA, 2015). La concentración de Oxígeno Disuelto favorece las reacciones oxidativas para la degradación de la materia orgánica, no obstante los niveles más altos que se llegaron a encontrar requieren un seguimiento.

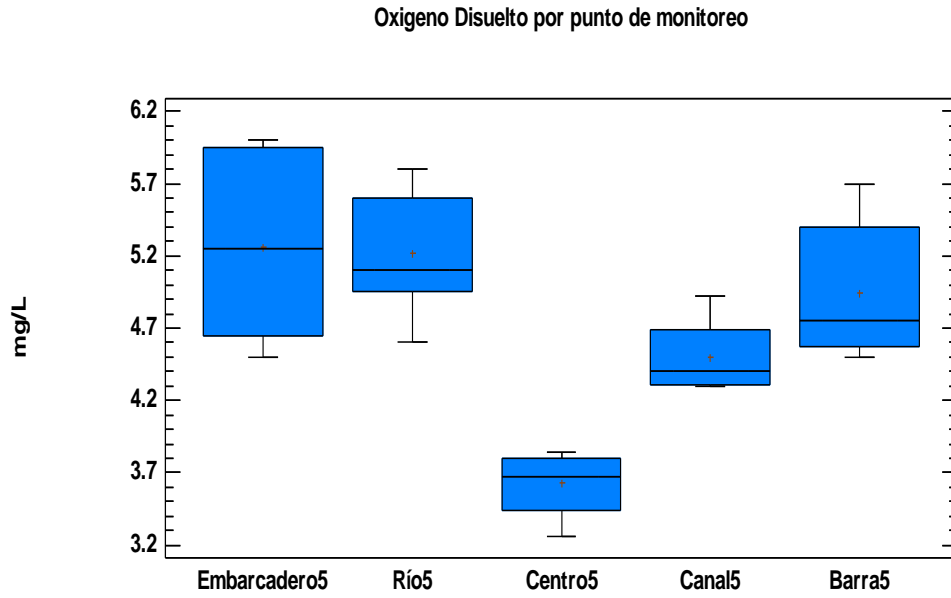


Figura 29. Diagrama de cajas múltiples para el Oxígeno Disuelto de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.

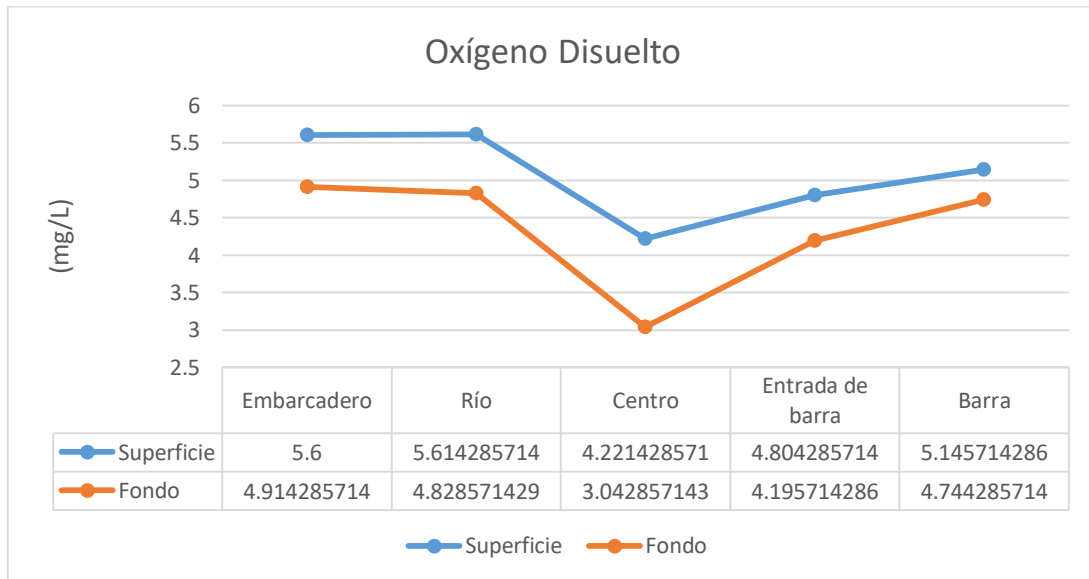


Figura 30. Grafica lineal de comportamiento del Oxígeno Disuelto por punto de monitoreo.

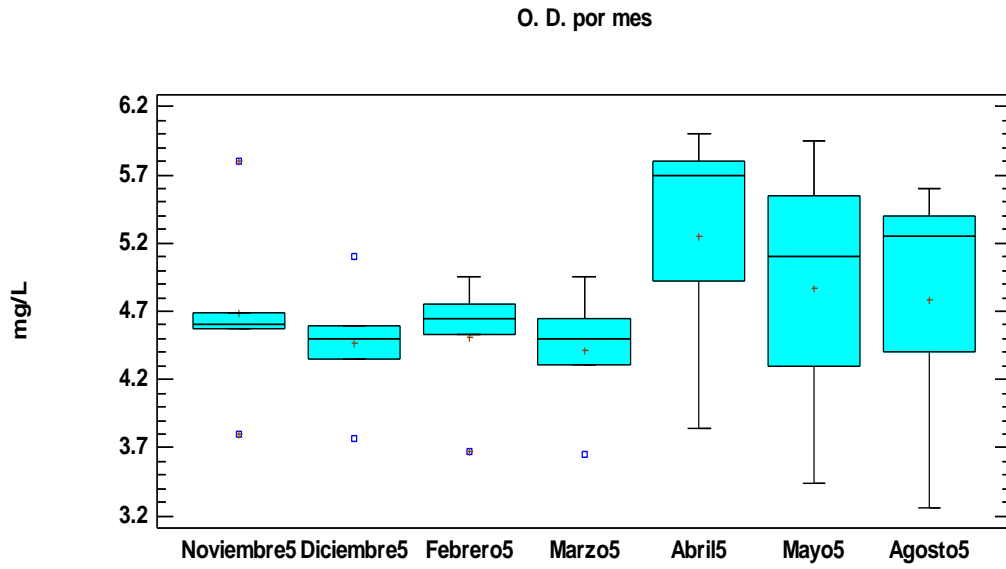
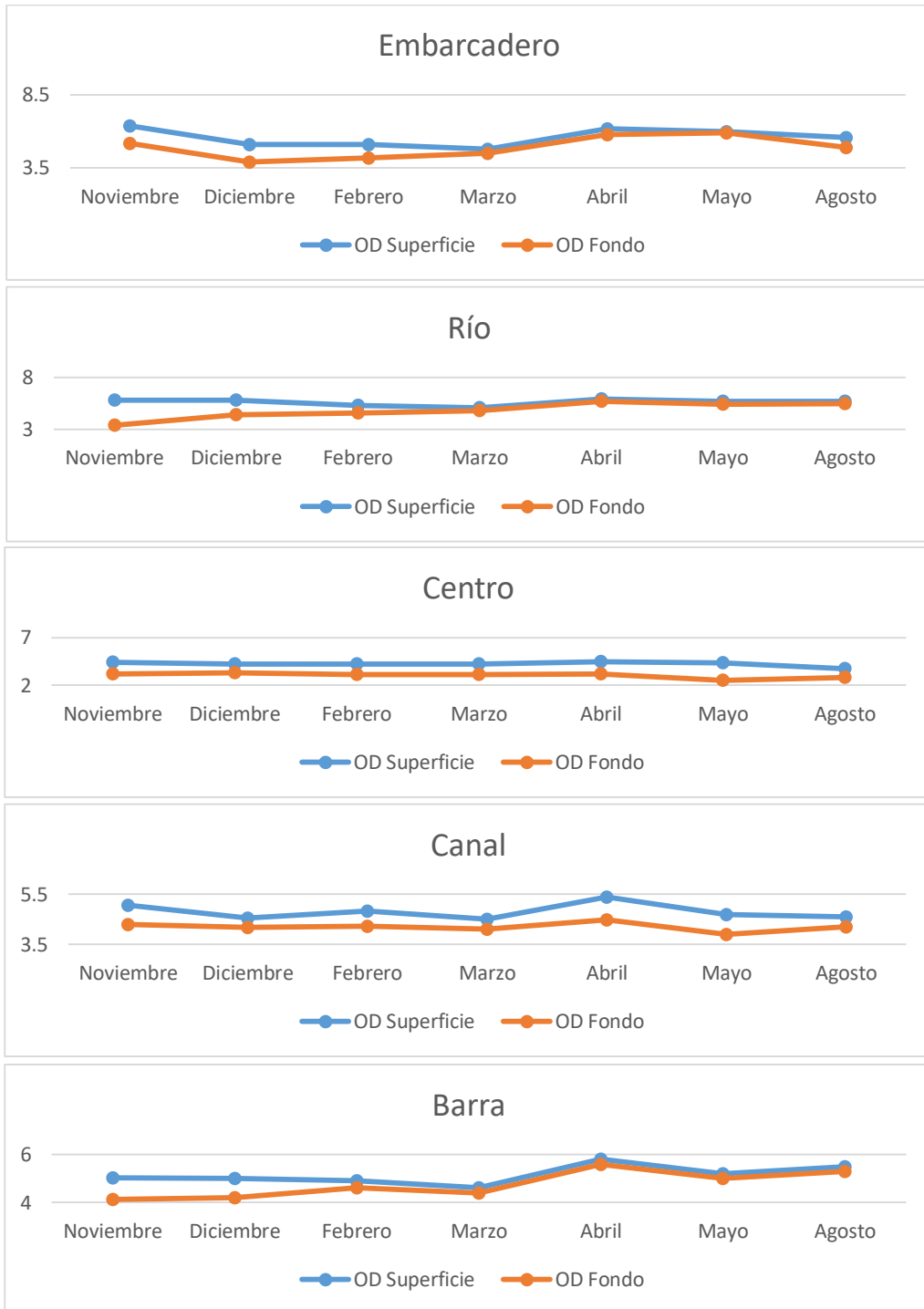


Figura 31. Diagrama de cajas múltiples para el Oxígeno Disuelto de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.

Figura 32. Variación temporal de Oxígeno Disuelto en superficie y fondo en cinco estaciones de monitoreo



Bióxido de Carbono O₂

El Bióxido de Carbono mostró diferencias significativas entre los puntos de monitoreo ($P=0.00000108181$; $P<0.05$ KW), con un promedio de $0.508 \text{ mg CO}_2/\text{L}^{-1}$, con un nivel máximo de $1.83 \text{ mg CO}_2/\text{L}^{-1}$ y con puntos donde se encuentra ausente (Figura 33), éste se encuentra dentro de los límites máximos permisibles establecidos en los CE-CCA-001/89 ($25 \text{ mg CO}_2/\text{L}^{-1}$) para la Protección de la Vida Acuática; la estación de la Barra fue la que presentó mayor concentración de CO₂, debido al aporte de materia orgánica provenientes de las zonas comerciales, hogares así como de los manglares, ya que éstos pueden constituirse como “depósitos de carbono” inorgánicos y residuos orgánicos, los cuales posteriormente permanecen retenidos en los sedimentos y por acción del movimiento en el sistema hay remoción de los sedimentos (Mendoza *et. al.*, 2013). En otro caso los puntos donde estuvo ausente el CO₂ fueron el Embarcadero y el Río, esto se debió a que el pH evaluado en esos puntos fue superior a 8.3 y al superar dicho nivel no existen cantidades detectables de CO₂ (Gómez *et. al.*, 2014). En el punto de monitoreo “Centro” se encontró una mayor concentración en el fondo (Figura 34) que en la superficie (Figura 35), esto se debe a los procesos de degradación del material depositado en el sedimento, el cual es aprovechado por los productores primarios para elaborar materia orgánica y oxígeno disuelto. El comportamiento temporal no presentó diferencias significativas ($P=0.99995$; $P<0.05$ KW), sin embargo se observó que en los meses de febrero y abril se presentaron los niveles más elevados (Figura 36 y 37), esto debido a la época vacacional que termino en diciembre así como el inicio de lluvias que aumentó las precipitaciones (POET-Coyuca de Benítez, 2009).

El Bióxido de Carbono está relacionado directamente con la Productividad de la Laguna ya que el proceso de fotosíntesis se realiza a partir de moléculas inorgánicas de carbono (CO₂) como sustrato a reducir (Alegría, 2016); normalmente este gas proviene de la atmósfera o de reacciones de óxido-reducción y fermentaciones de la propia célula (Montoya, 2008).

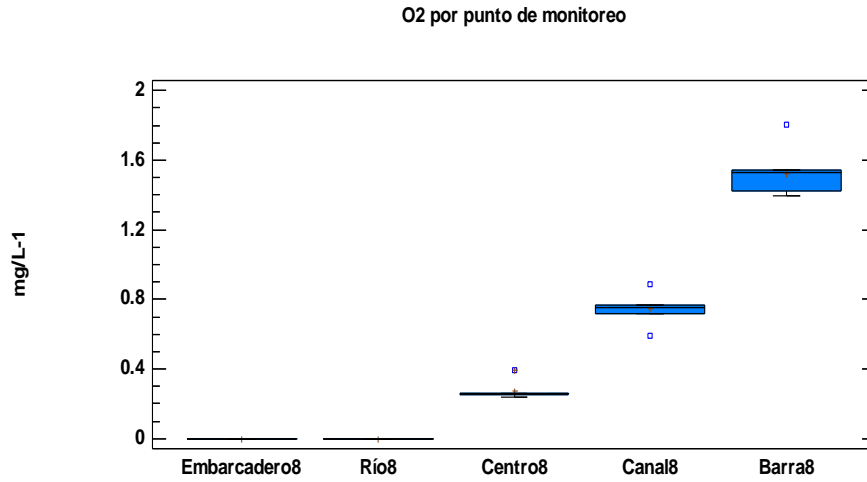


Figura 33. Diagrama de cajas múltiples para el CO₂ de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.

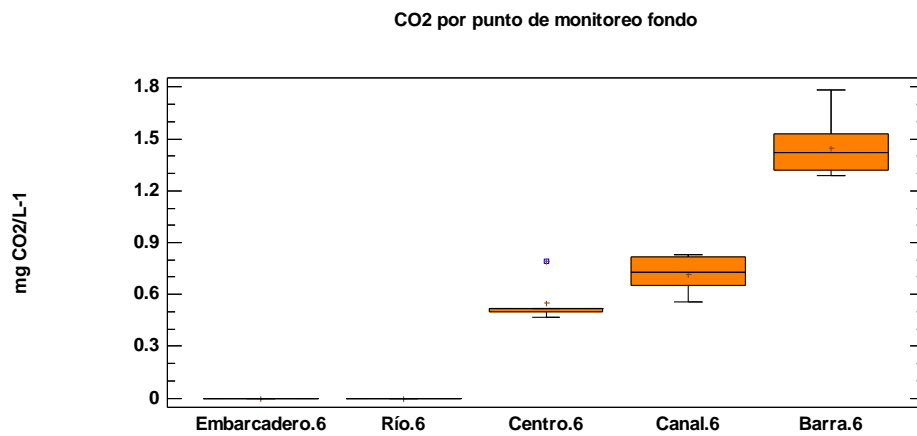


Figura 34. Diagrama de cajas múltiples para el CO₂ de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo fondo.

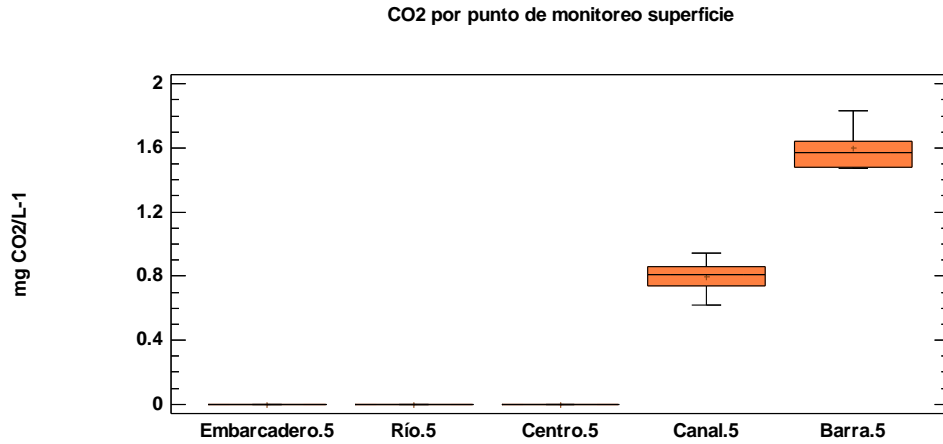


Figura 35. Diagrama de cajas múltiples para el CO₂ de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo superficie.

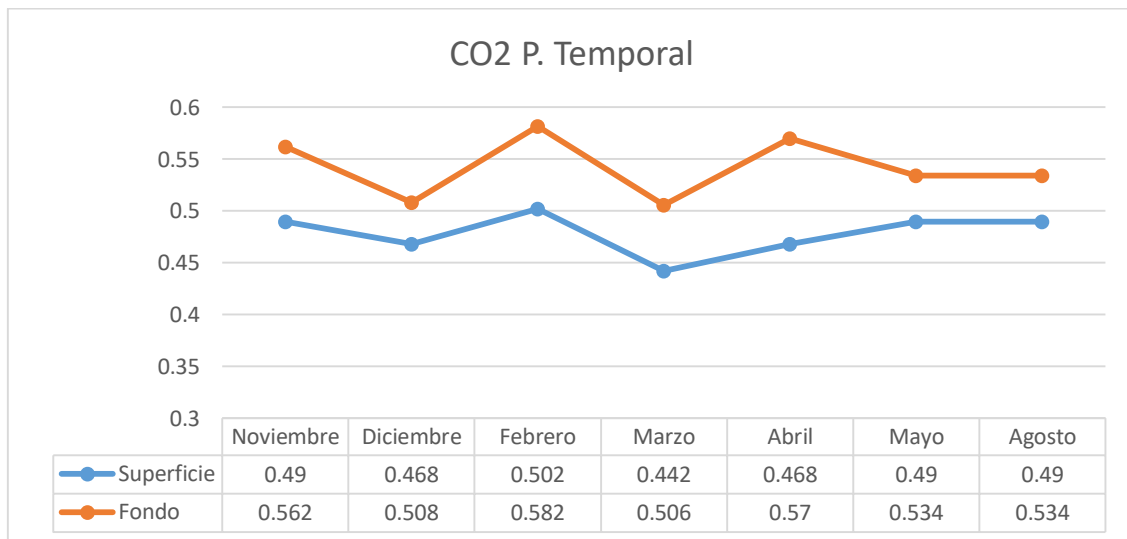
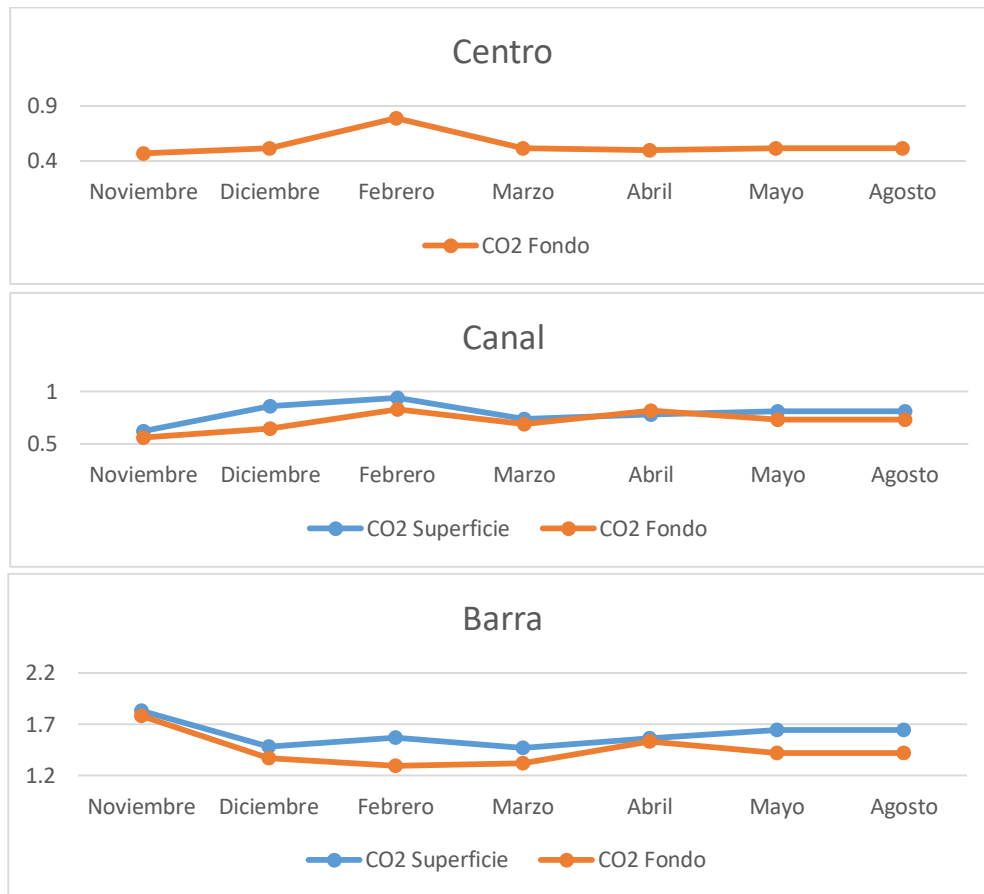


Figura 36. Gráfica de líneas para el CO₂ de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.

Figura 37. Variación temporal de Bióxido de Carbono en superficie y fondo en tres estaciones de monitoreo



Potencial de Hidrógeno

El pH presentó un máximo nivel de 8.44 y un mínimo de 6.36 con un promedio de 7.76, los valores obtenidos no superan el límite máximo permisible para la descarga de aguas residuales a aguas de bienes nacionales que va desde 5 – 10 (NOM-001-SEMARNAT-1996). El pH de la Laguna de Coyuca de Benítez tiende a la basicidad (>8.5), el cual indica que el sistema de amortiguamiento es dominado principalmente por los bicarbonatos (HCO_3^{2-}) y ligeramente por los carbonatos (CO_3^-) provenientes del proceso de hidratación del CO_2 (Contreras, 2002).

Su comportamiento por punto de monitoreo fue heterogéneo ($P=0.0000159177$; $P<0.05$ KW), mostrando una diferencia significativa entre los mismos (Figura 38), donde se aprecia claramente dos formas, una en la que los puntos más cercanos a la costa como los puntos del Canal y la Barra, mostrando un pH que tiende hacia la neutralidad, esto por la entrada de materia orgánica proveniente del Río Coyuca, la cual se ve favorecida por condiciones oxidativas; por lo contrario los sitios del

Embarcadero, Río y Centro presentan un pH básico, resultado de la diferencia de profundidad así como por la presencia de bicarbonatos y carbonatos provenientes de la muerte de moluscos y bivalvos por la presencia del manglar que favorece su proliferación lo que hace que el grado de hidrólisis para dar OH^- sea superior. En cuanto al comportamiento temporal, el pH no presentó diferencias significativas a lo largo de los meses ($P=0.99463$; $P<0.05$ KW), este es homogéneo y poco variable (Valencia et. al., 2003), sin embargo se puede apreciar que el mes de febrero se hubo un declive en la concentración de pH (Figura 39 y 40), esto por el efecto de Mar de fondo que se presentó en ese mes dando como consecuencia una mayor cantidad de mezcla entre agua de mar y el agua dulce de la Laguna, por efecto de dilución (Gómez, 2011).

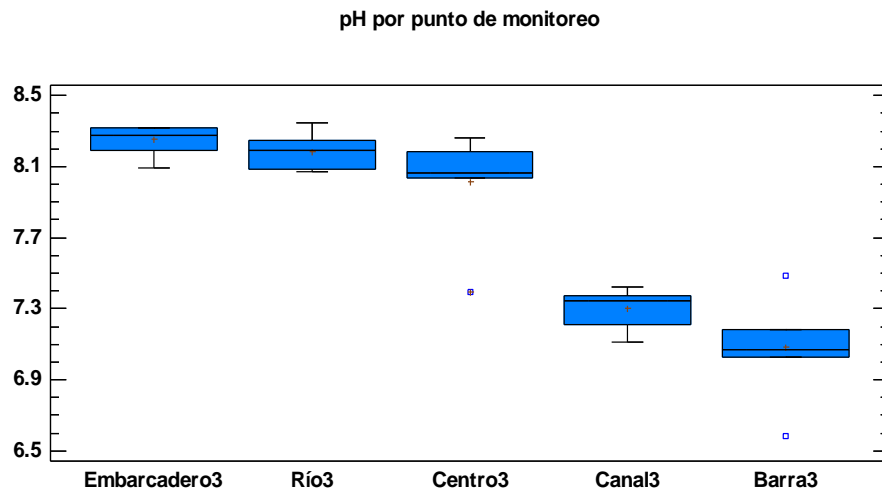


Figura 38. Diagrama de cajas múltiples para el pH de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.

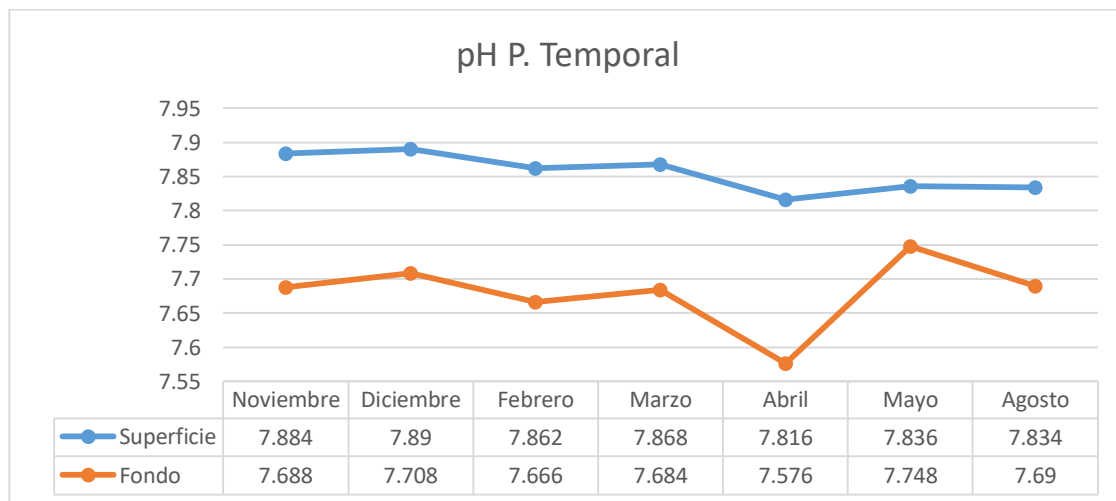
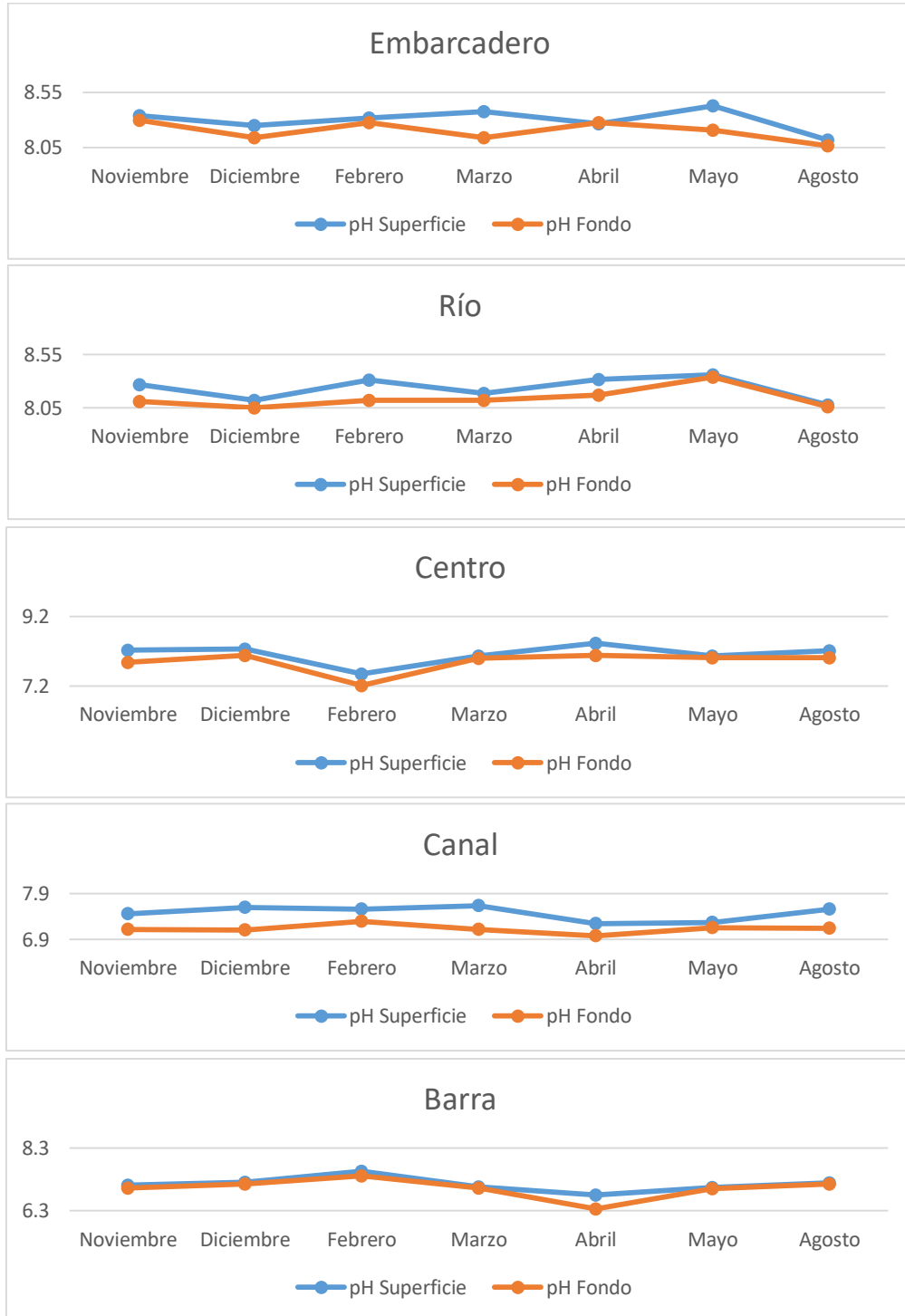


Figura 39. Gráfica de comportamiento lineal para el pH de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.

Figura 40. Variación temporal de pH en superficie y fondo en cinco estaciones de monitoreo



Sólidos Totales Disueltos

EL promedio de los STD fue de 1748.12 mg L⁻¹ el cual rebasa los límites máximos permisibles en los establecidos por los CE-CCA-001/89 para el riego agrícola y uso pecuario (500-1000 mg L⁻¹). Su comportamiento a lo largo de la Laguna fue heterogéneo ($P=0.000213346$; $P<0.05$ KW), siendo los puntos localizados al noreste donde se encontraron concentraciones más elevadas (Figura 41), a comparación de los puntos del Canal y la Barra que forman parte del canal meándrico, los cuales se ven influenciados de manera directa por los aportes provenientes del Río Coyuca, pues estos puntos son someros que por un efecto mayor de escorrentía presentan una gran mezcla de sedimentos además de un mayor arrastre de los mismos, sin embargo los puntos del Embarcadero, Río así como Centro se ven afectados directamente por la cantidad de materia orgánica, siendo estos puntos los mayores receptores de la misma y debido a su poca remoción de los mismos se presenta una mayor acumulación, además de que el lirio acuático presente en el canal meándrico funciona como otro receptor importante de los mismos. En cuanto a su comportamiento temporal, se mostró homogéneo ($P=0.659719$; $P<0.05$ KW), presentando su mayor nivel en el mes de marzo (Figura 42), mes en que inició la temporada de lluvias en ese año, lo que trajo consigo una descarga mayor de materia orgánica e inorgánica provenientes de los principales puntos de aporte al cuerpo de agua. En el mes de abril en el punto del Canal se registró una alteración de concentración presentándose un nivel mayor en la superficie que en el fondo (Figura 43), esto debido a las lluvias presentadas en ese mes, lo que aumenta la cantidad de descargas y la recirculación en la columna de agua.

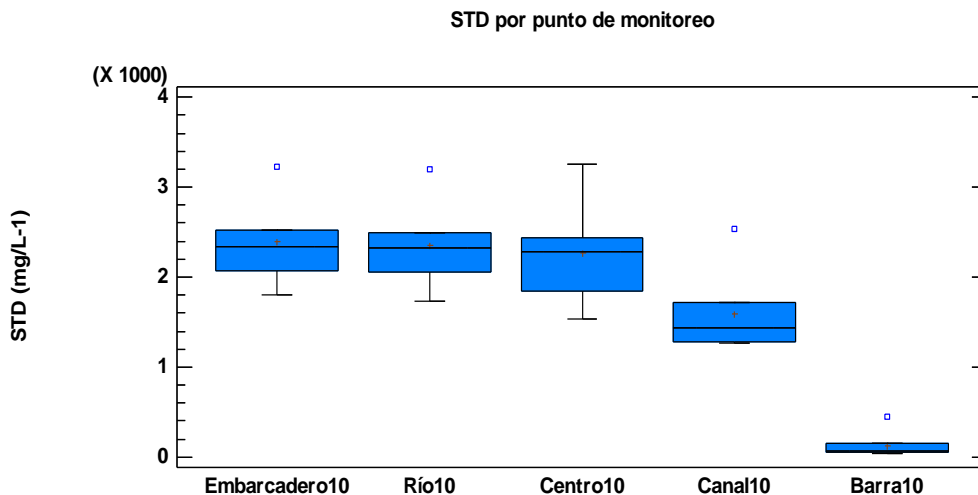


Figura 41. Diagrama de cajas múltiples para STD de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.

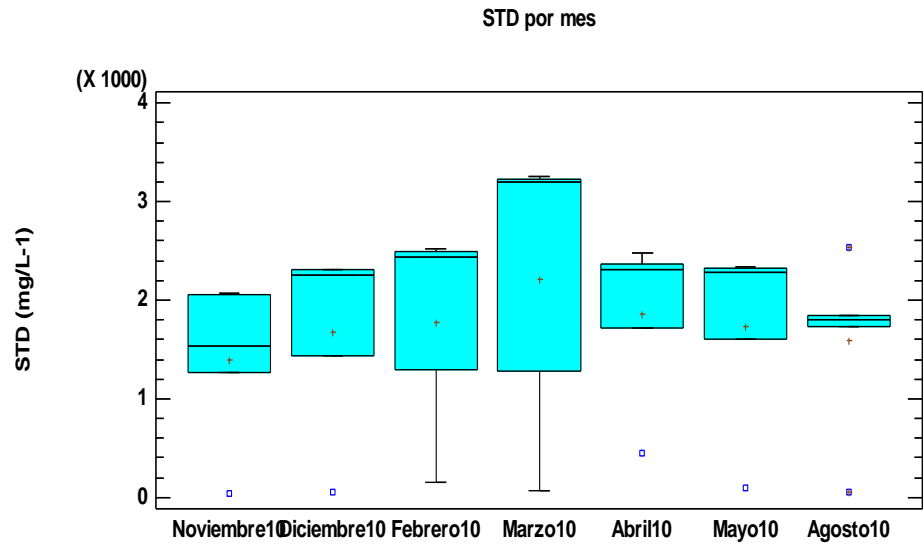
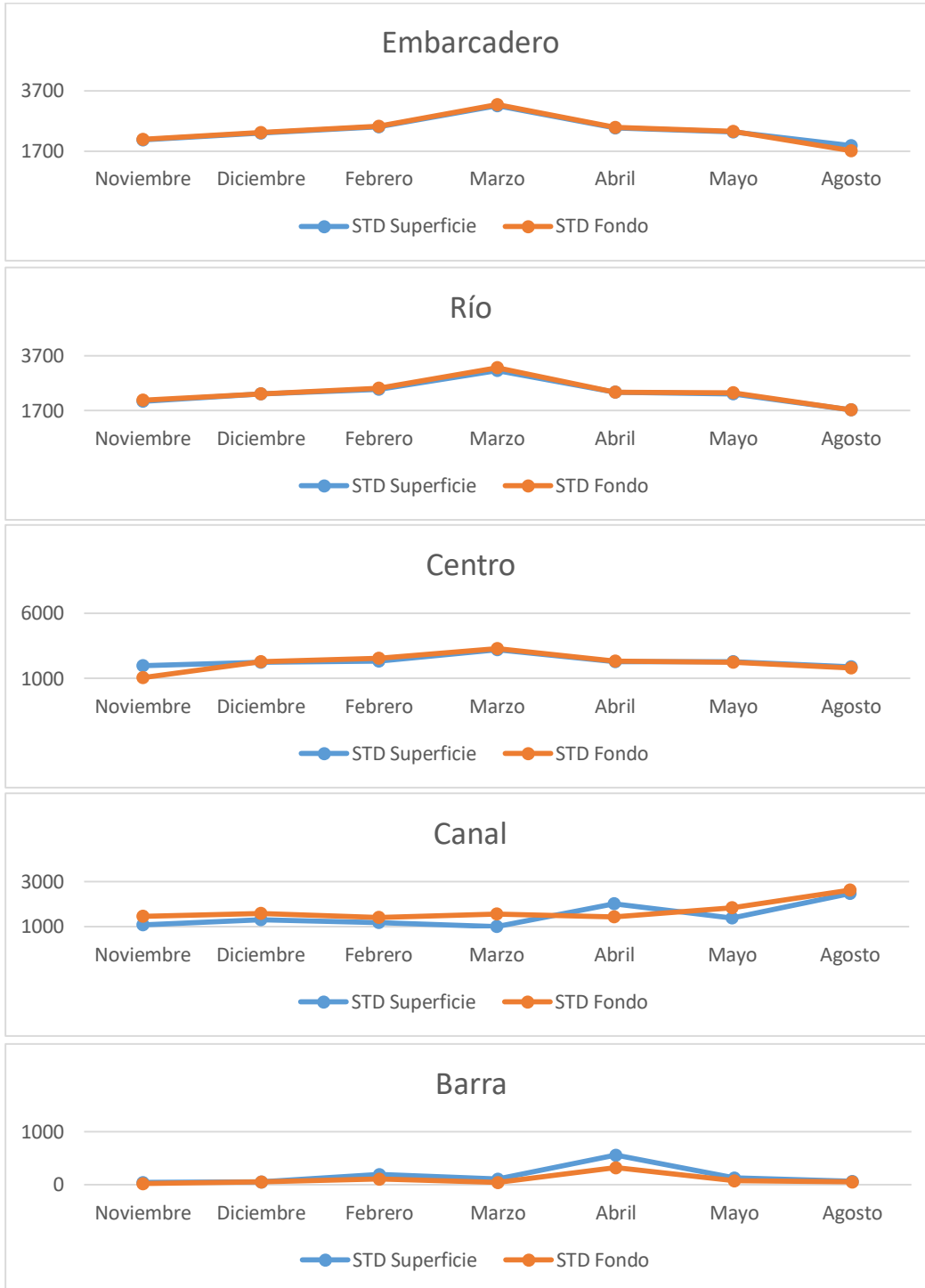


Figura 42. Diagrama de cajas múltiples para STD de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.

Figura 43. Variación temporal de STD en superficie y fondo en cinco estaciones de monitoreo



Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

La DBO₅ presentó un promedio de 45.43 mg/L⁻¹ con una máxima concentración de 60.98 mg/L⁻¹ y una mínima de 28.91 mg/L⁻¹, los cuales están dentro de los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 para el uso en riego agrícola ni para la recreación (75 mg/L⁻¹), sin embargo sí se rebasa para la protección de vida acuática (30 mg/L⁻¹), la laguna presenta diferencias significativas entre los puntos de monitoreo ($P=0.000413736$; $P<0.05$ KW) siendo la parte centro y el canal los puntos que menor concentración de DBO₅ presentó (Figura 44) esto debido a la profundidad de los sitios, pues estos tienen una mayor capacidad de dilución que por el nivel de profundidad, el fondo no en todos los casos se lleva a cabo la degradación bioquímica de la materia orgánica mediante procesos biológicos aerobios principalmente por bacterias (de origen fecal) y protozoarios, además de que la concentración de materia orgánica provenientes de las descargas aportadas por las actividades antropogénicas que se realizan a lo largo de la laguna así como de las descargas provenientes de las montañas (Aguirre, 2001). Cabe destacar que según CONAGUA la Laguna de Coyuca de Benítez entra en la clasificación de agua contaminada ya que la concentración promedio se encuentra dentro del rango que va de $30 \leq \text{DBO}_5 \leq 120$ mg/L⁻¹ gracias a sus descargas residuales, crudas principalmente municipales (CONAGUA, 2005). El comportamiento de la DBO₅ fue homogéneo ($P=0.266139$; $P<0.05$ KW), presentando un incremento de concentración en el mes de abril, mayo y agosto (Figura 45 y 46), resultado de la biodegradación de la materia orgánica proveniente de las escorrentías por un aumento de descargas a causa de las lluvias que iniciaron a finales del mes de marzo, aumentando la actividad excavadora de la macrofauna béntica, que permite que el oxígeno sobrenadante penetre hasta la columna de agua, así como del sedimento (Ferrera *et. al.*, 2006). Por ultimo para el mismo sistema, Cruz (2012) registró un valor máximo de 162 mg/L⁻¹ en octubre del 2011, lo que nos dice que el sistema es cambiante y que tiende a incrementar sus concentraciones máximas a niveles que superan por mucho los límites máximos permisibles afectando la pirámide trófica del cuerpo de agua, además de indicar que existen puntos donde la descarga de materia orgánica es alarmantemente alta.

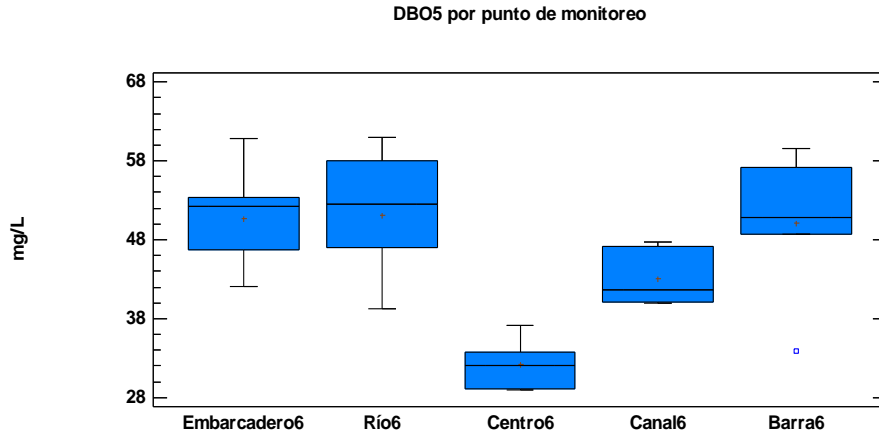


Figura 44. Diagrama de cajas múltiples para DBO⁵ de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.

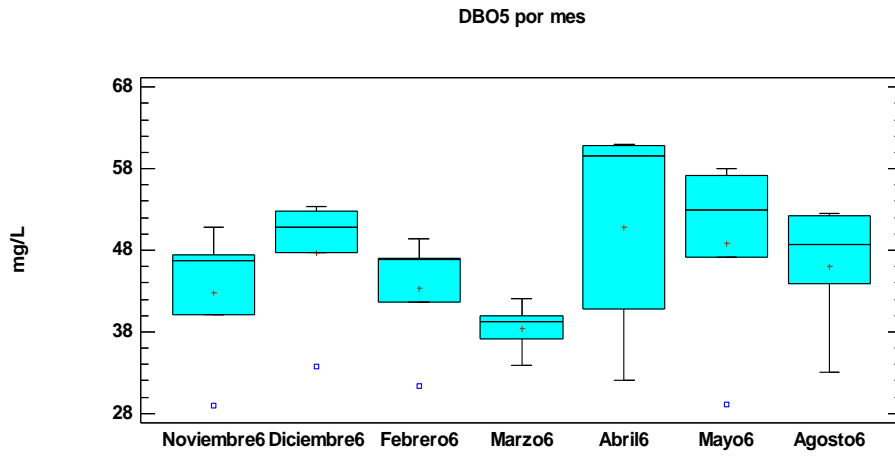
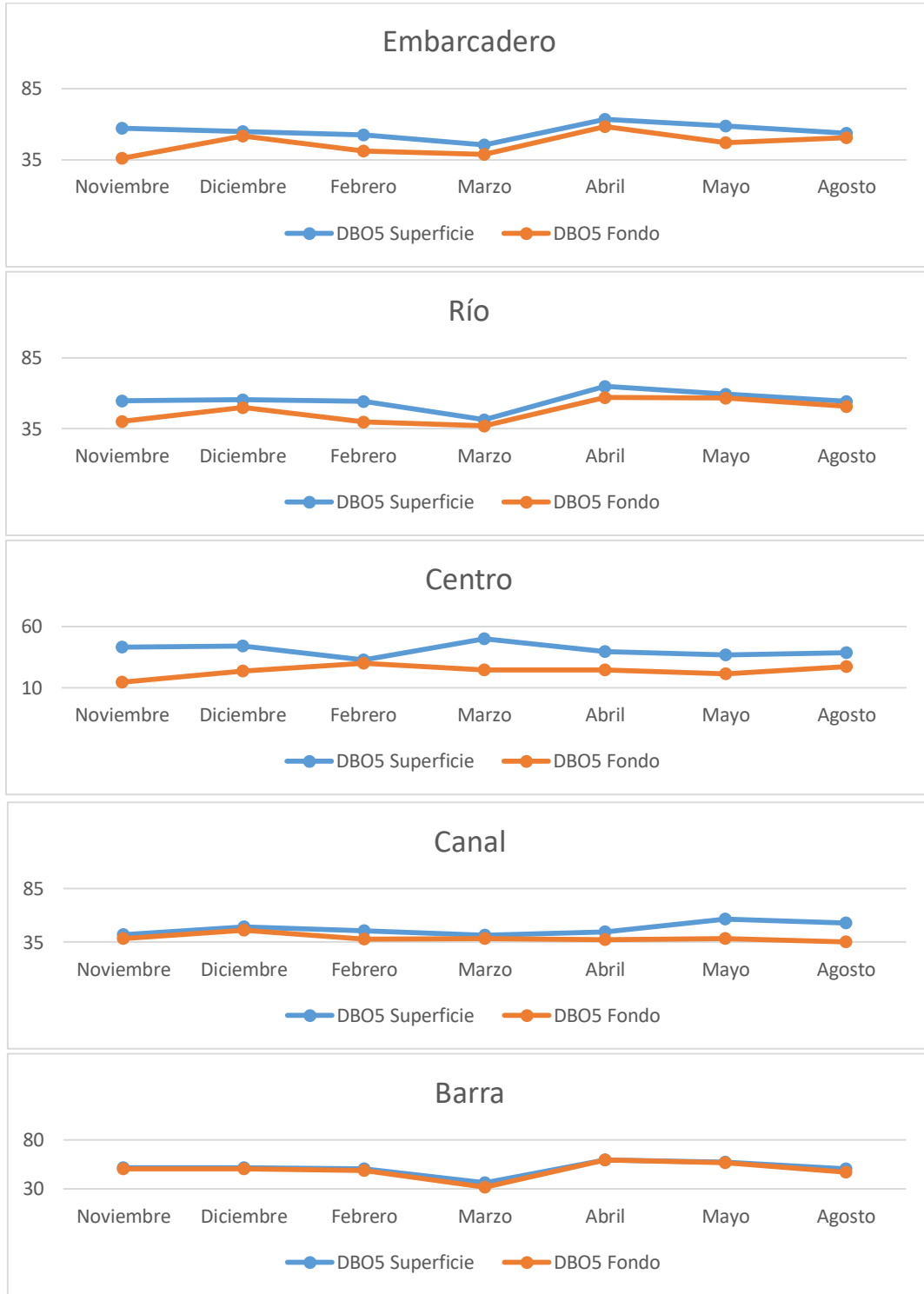


Figura 45. Diagrama de cajas múltiples para DBO⁵ de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.

Figura 46. Variación temporal de DBO₅ en superficie y fondo en cinco estaciones de monitoreo



Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La DQO presentó un comportamiento heterogéneo ($P=0.000264598$; $P<0.05$ KW), con un promedio de 72.97 mg/L^{-1} , una concentración máxima de 85.005 mg/L^{-1} y una mínima de 60.78 mg/L^{-1} , nuevamente los puntos que presentaron un nivel elevado fueron el Embarcadero, el Río y la Barra (Figura 47) siendo estos los puntos de más aporte tanto de materia orgánica como de materia inorgánica, en este caso la materia inorgánica susceptible a ser oxidada está presente, sin embargo el cociente de degradabilidad entre la DBO^5/DQO fue de 0.622 (Figura 48) el cual entra dentro del rango de $0.3-0.8$ de aguas residuales municipales o sometidas a tratamiento y el agua de Coyuca de Benítez se considera biodegradable pues hablamos de vertidos de naturaleza urbana, o clasificables como urbanos y tanto más biodegradables (CONAGUA, 2015). A su vez, realmente no existe una normatividad mexicana en el marco de la calidad del agua que regule el límite máximo de DQO, por lo que la Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México permite; según lo publicado en la Gaceta Oficial del Distrito Federal, septiembre 2001; establecer los valores obtenidos de DBO^5 (150 mg/L^{-1}) para DQO; a su vez existe también una propuesta para modificar la NOM-001SEMARNAT-1996 por parte de la Dirección General del Sector Primario y Recursos Naturales Renovables de la SEMARNAT (Agosto, 2011) que propone para la DQO un valor de 120 mg/L^{-1} y 100 mg/L^{-1} para ríos, lagos y estuarios, humedales naturales y protección a la vida acuática. Por otro lado, como se mencionó anteriormente las concentraciones registradas para la DQO indican que la Laguna contiene altos niveles de materiales no biodegradables la CNA (2005) considera que la DQO permite reconocer gradientes que van desde una condición relativamente natural o sin influencia de la actividad humana hasta agua que muestra indicios o aportaciones importantes de descargas de aguas residuales municipales y no municipales y establecieron una escala de clasificación de la calidad del agua, conforme a la DQO; para el caso de la Laguna de Coyuca de Benítez sus concentraciones se encuentran dentro del rango mayor de 40 mg/L^{-1} y menor o igual a 200 mg/L^{-1} , el cual le da un criterio de "Contaminada" y la describe con aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal (Figura 49). Su comportamiento por mes fue homogéneo ($P=0.654005$; $P<0.05$ KW) presentando los mayores niveles de concentración los meses de abril, mayo y agosto (Figura 50 y 51), resultado de un aumento de descargas provenientes de la cuenca a nuestro cuerpo receptor por las precipitaciones que aumentan el factor de dilución del sistema. Cabe resaltar que se han registrado valores muy elevados en la Laguna, como los registrados por Cruz, 2013 donde los valores de DQO oscilan en un rango de $31.8 - 333.4 \text{ mg/L}^{-1}$.

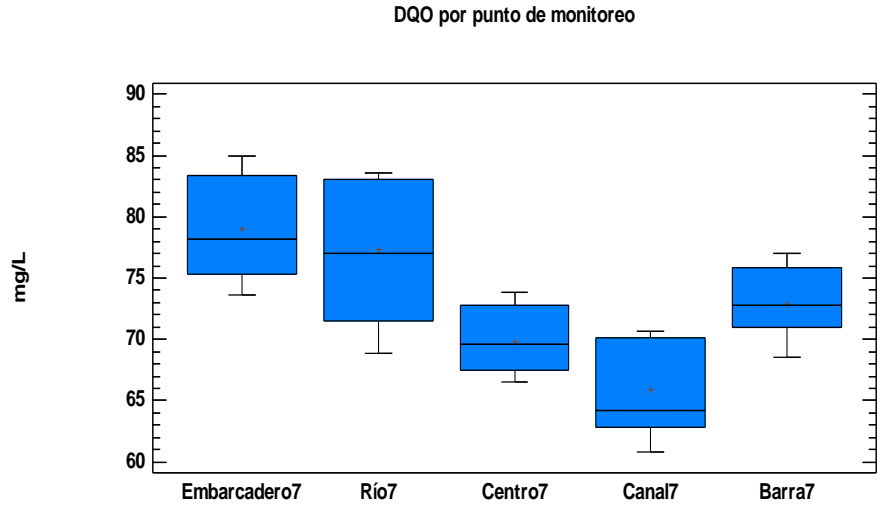


Figura 47. Diagrama de cajas múltiples para DQO de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.

Escala de clasificación de la calidad del agua, conforme a la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

DQO	Criterio	Descripción
menor o igual a 10 mg/L	Excelente	No contaminada
mayor a 10 mg/L y menor o igual a 20 mg/L	Buena calidad	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable
mayor de 20 mg/L y menor o igual a 40 mg/L	Aceptable	Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente
mayor de 40 mg/L y menor o igual a 200 mg/L	Contaminada	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal
mayor a 200 mg/L	Fuertemente contaminada	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales

Fuente: Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua. SGT. CNA.

Figura 48. Escala de Clasificación de la calidad del agua, conforme a la DQO (CNA, 2005)

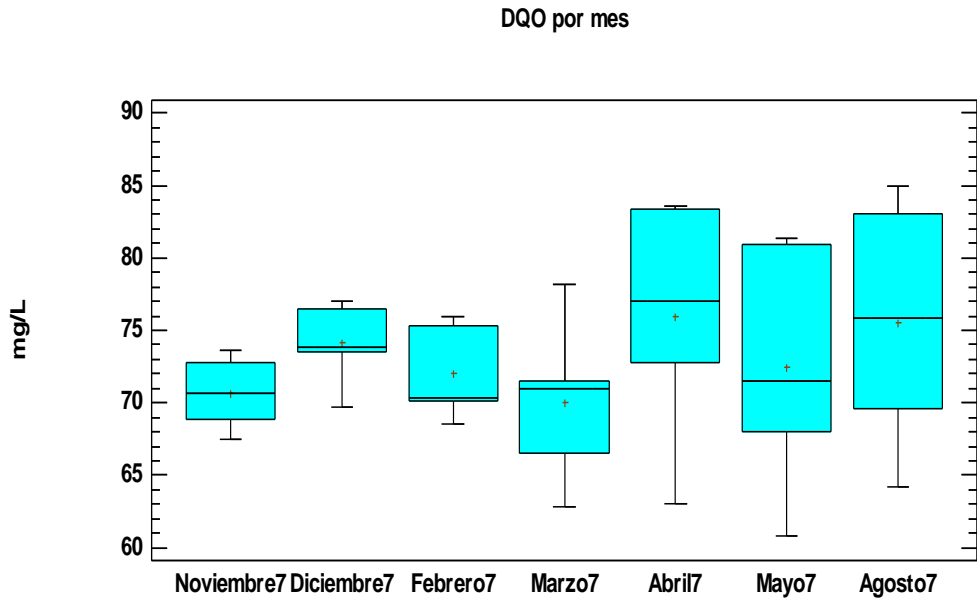


Figura 49. Diagrama de cajas múltiples para DQO de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.

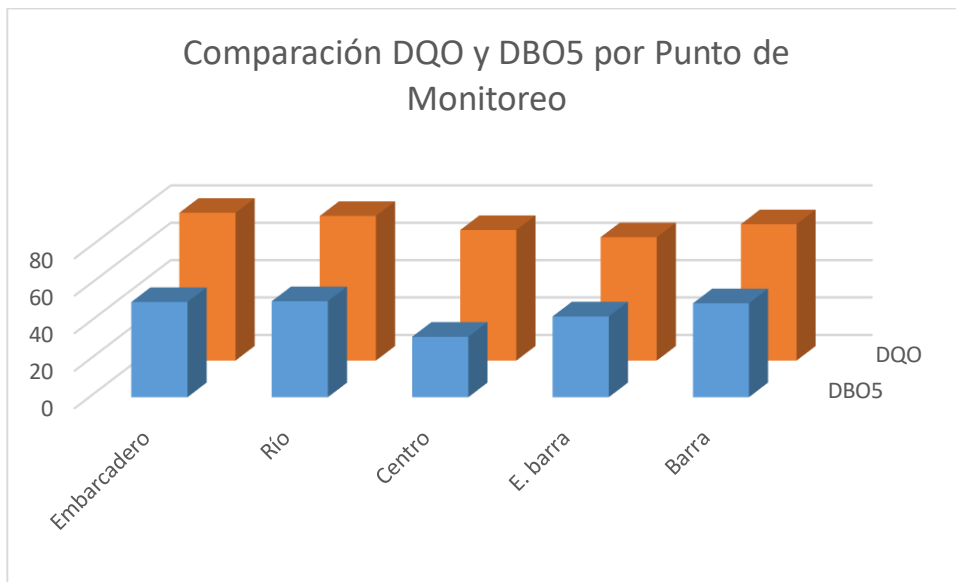
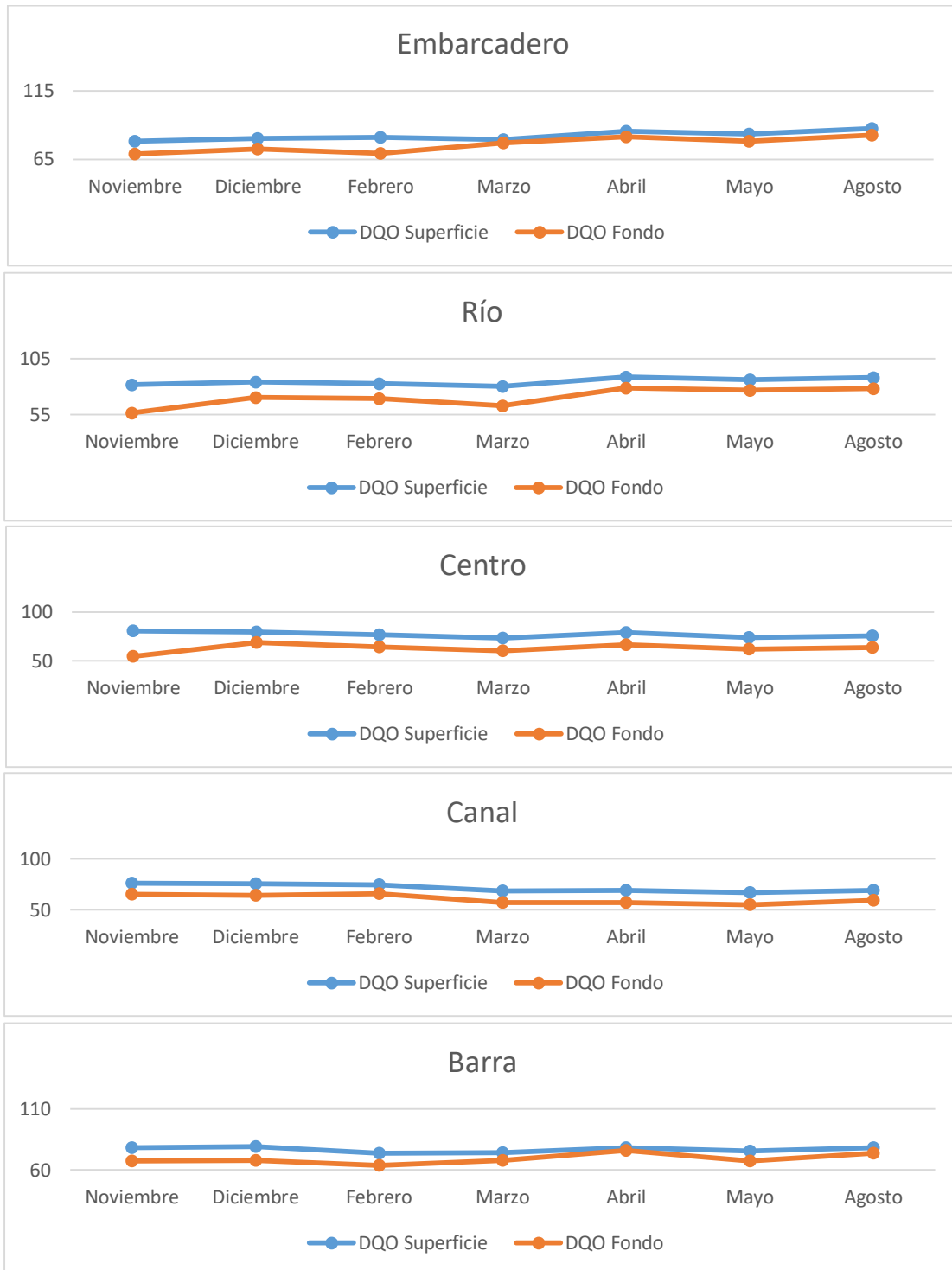


Figura 50. Gráfica de barras, Cociente de degradabilidad DBO_5/DQO

Figura 51. Variación temporal de DQO en superficie y fondo en cinco estaciones de monitoreo



Conductividad

La Laguna presentó un promedio de 3357.08571, con un comportamiento heterogéneo entre los distintos puntos de monitoreo ($P=0.000230734$; $P<0.05$ KW), siendo los sitios del Embarcadero, Río y Centro los puntos con niveles más altos de conductividad al contrario del Canal y la Barra (figura 52), estas diferencias se presentan debido principalmente a la hidrodinámica que se presenta en la zona del canal, así como a la heterogeneidad del sedimento a lo largo de la Laguna, la resuspensión de partículas sedimentarias por la recirculación del agua y de la acción de excavación de los organismos bentónicos (Ferrera et. al., 2006). Según la clasificación de Rosado 2012, el agua de la laguna de la Laguna de Coyuca de Benítez se considera salobre, ya que el promedio de la conductividad eléctrica se encuentra dentro del rango de 1000 – 10,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, debido a que la Laguna presenta una vegetación rica en manglares, lo cual hace que exista una variación significativa de la conductividad en los distintos sitios de monitoreo, pues estos se consideran filtradores de sales y esto hace que la conductividad se reduzca mientras haya más población de manglares (POET-Coyuca de Benítez, 2009), en este caso la Barra al presentar una cantidad significativamente menor de STD, la conductividad en ese sitio se ve afectada, pues la conductividad depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua, por lo tanto, cualquier cambio en la cantidad de estas en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia, implica un cambio en la conductividad (Arredondo, 1986, Romero, 1999). Su comportamiento temporal fue homogéneo ($P=0.669459$; $P<0.05$ KW), las medianas a lo largo de los meses no presentó variaciones significativas (Figura 53) a excepción del mes de noviembre, el cual concuerda con parámetros como los Sólidos Totales Disuelto ya que este mes previo a la temporada vacacional contiene descargas las cuales no están directamente influenciadas por la actividad turística, sin embargo, los meses en los que más concentración presenta la Laguna están relacionados con la temporada vacacional.

En dos puntos la laguna presentó una mayor conductividad en el fondo que en la superficie el Embarcadero y la Barra (Figura 54 y 55), esto se debe a las corrientes que existen en la entrada del Río conchero lo que causa una remoción de la columna de agua que se ve influenciada a su vez por la poca profundidad registrada en ese sitio, por otra parte el Embarcadero es uno de los puntos que presenta más descargas a nivel superficial de materia orgánica acompañada de sedimentos, aguas tratadas y desechos inorgánicos por lo cual se ve alterada la columna de agua, si bien no es una diferencia significativa, esta se presenta en la mayoría de los muestreos.

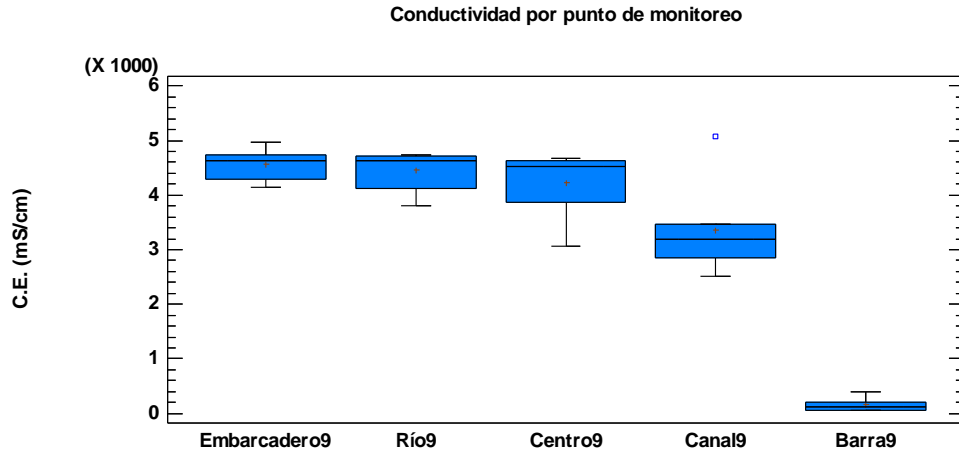


Figura 52. Diagrama de cajas múltiples para la conductividad de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.

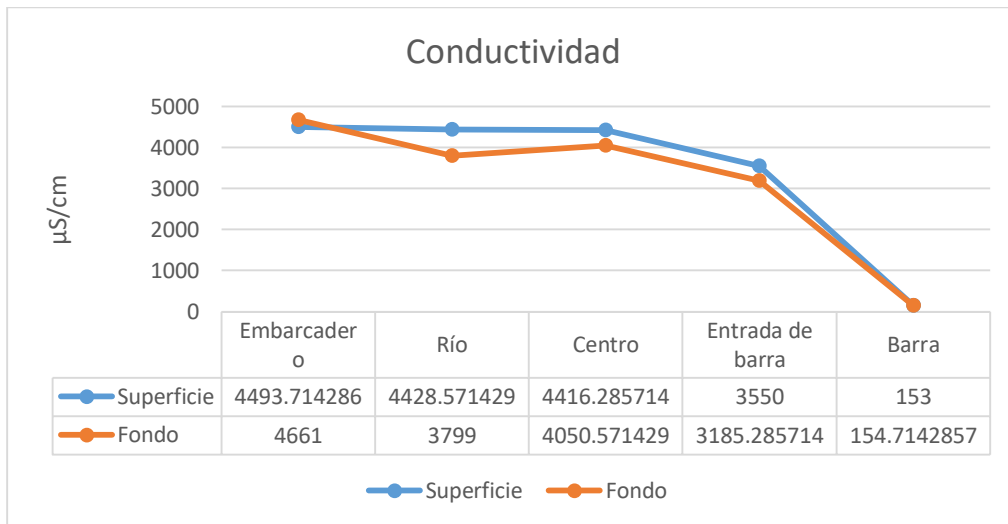


Figura 53. Gráfica de comportamiento lineal para el pH de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.

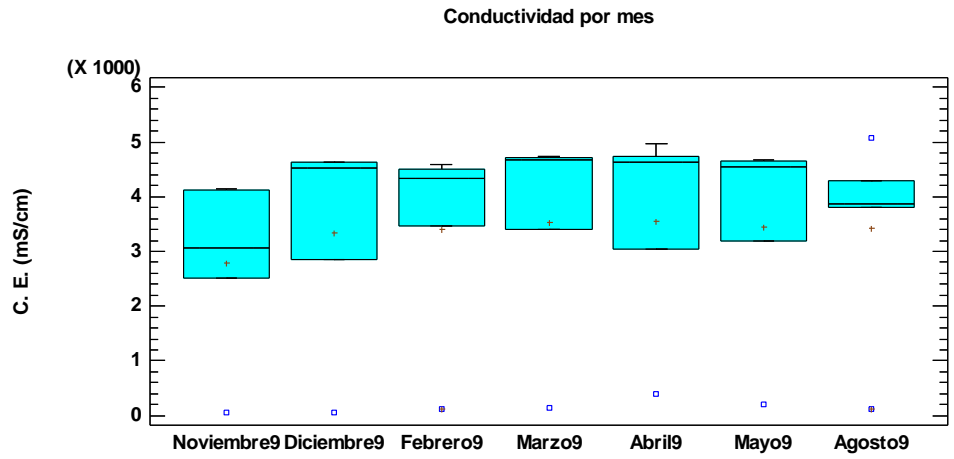
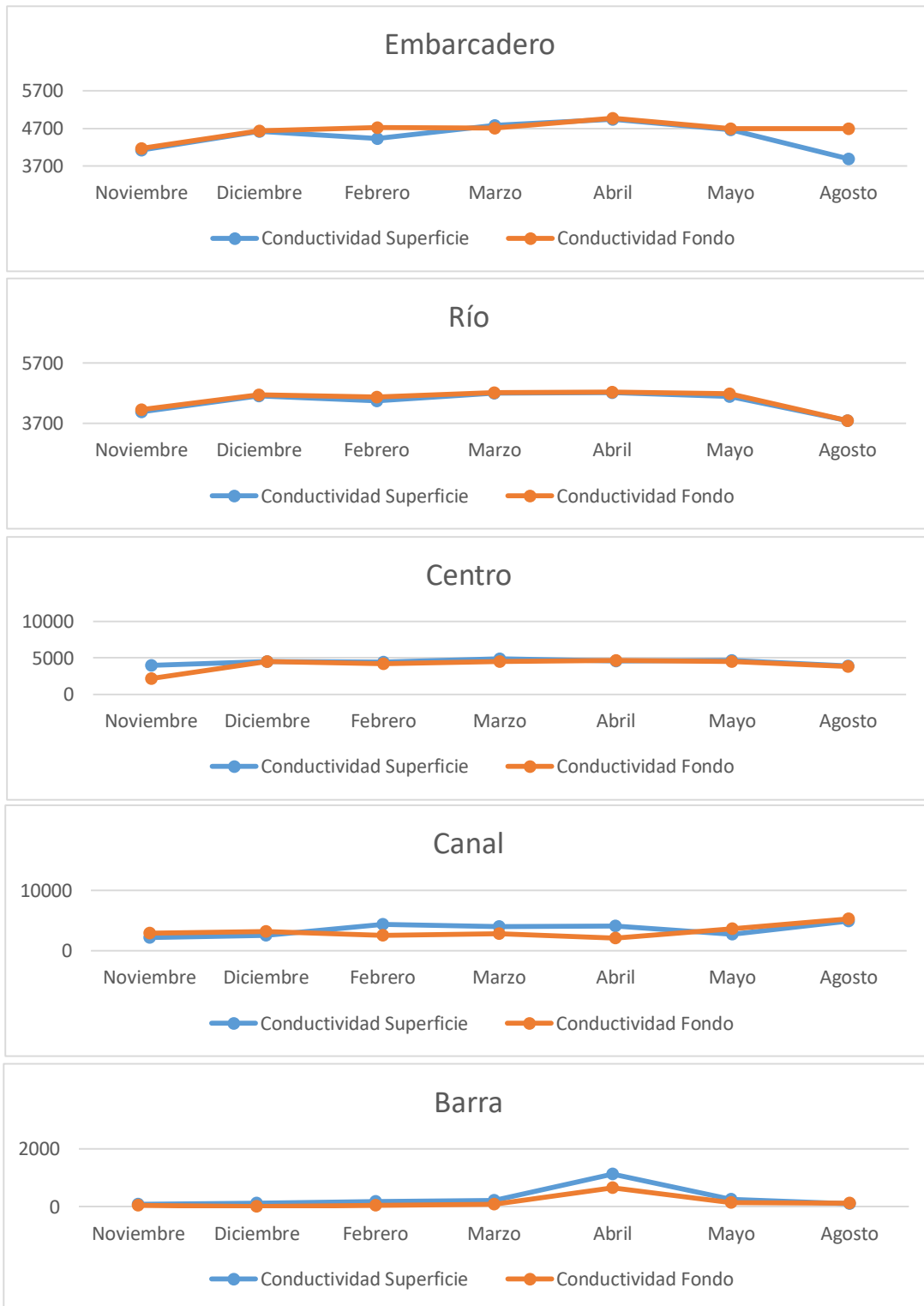


Figura 54. Diagrama de cajas múltiples para la Conductividad de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.

Figura 55. Variación temporal de Conductividad en superficie y fondo en cinco estaciones de monitoreo



Amonio (NH₄)

El NH₄, presenta un comportamiento heterogéneo ($P=0.0321484$; $P<0.05$ KW), presentando valores elevados en el punto del Río y la Barra (Figura 56), siendo estos puntos los que reciben descargas de aguas residuales las cuales contienen materia orgánica, productos de limpieza, así como infiltraciones de fertilizantes por parte del área de cultivo. Su promedio fue de 0.513 mg/L^{-1} , el cual nos dice que la Laguna contiene aguas bien oxigenadas ($<1 \text{ mg/l}$) sin embargo se han registrado valores más elevados en estudios previos, como es el caso de De la Lanza, 2004, quien registró una medida anual de 0.1246 mg/L^{-1} de amonio en la Laguna de Coyuca de Benítez. El amonio presenta una equivalencia entre la superficie y en el fondo (Figura 57), mostrando un incremento hacia los puntos cercanos al Norte donde se encuentran los puntos de mayor aporte del sistema. Su comportamiento por tiempo fue homogéneo ($P=0.422367$; $P<0.05$ KW), las medianas no presentaron diferencias significativas entre los meses, aunque cabe resaltar que el mes de mayo es en donde se evaluaron las concentraciones más elevadas, además de que los cuartiles nos indican que existió una variación en los puntos en dicho mes, esto debido a la temporada de lluvias que empezó desde finales de abril (Figura 58 y 59), dando un aporte mayor de descargas a la Laguna, así como a la concentración de materia orgánica, productos de limpieza y fertilizantes generada por las vacaciones de Semana Santa en los puntos con mayor actividad antropogénica.

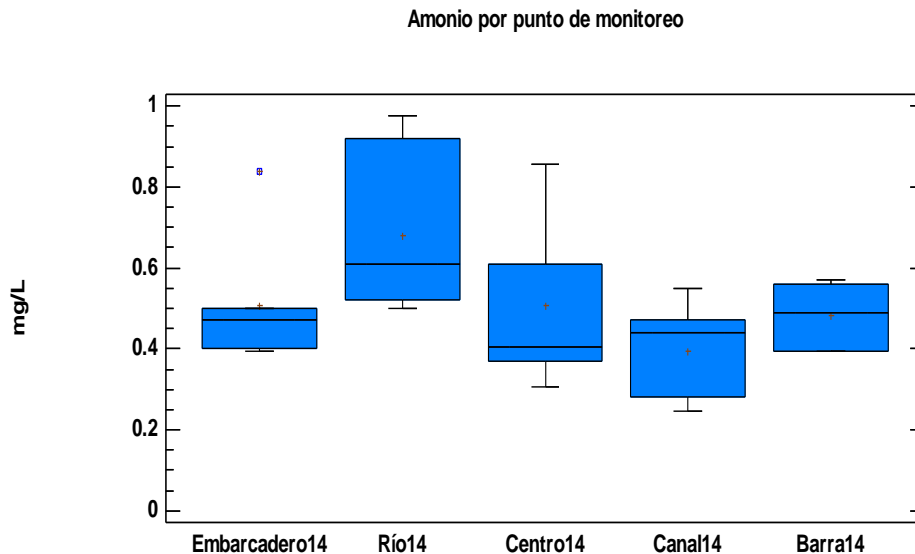


Figura 56. Diagrama de cajas múltiples para la conductividad de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.

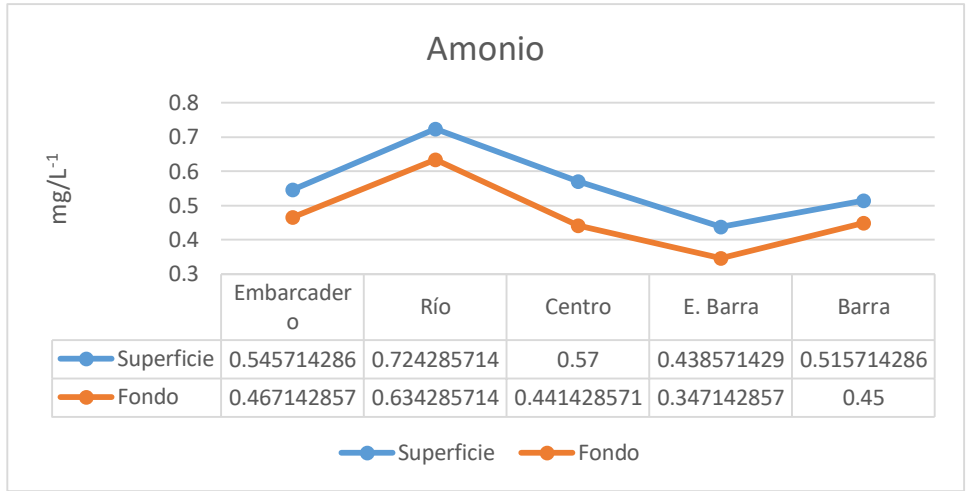


Figura 57. Gráfica de comportamiento lineal para el Amonio de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.

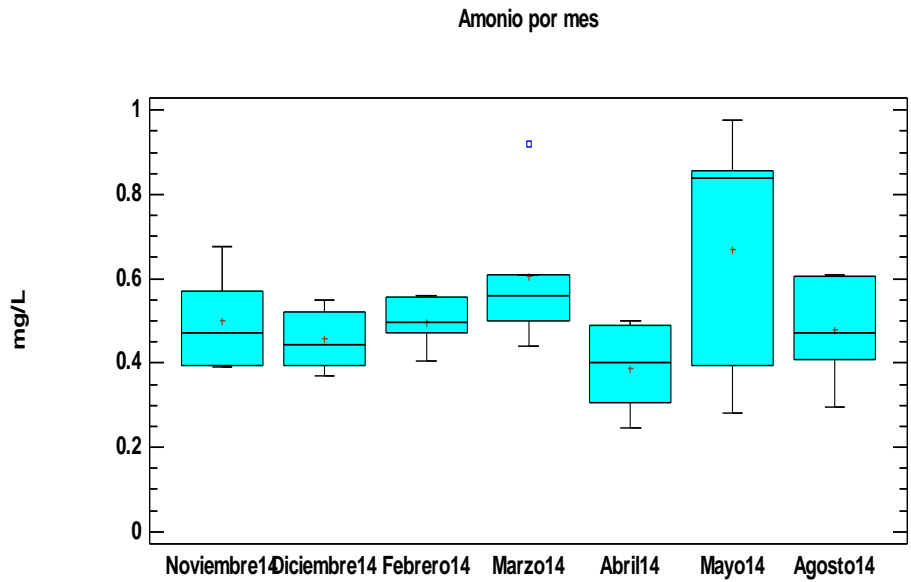
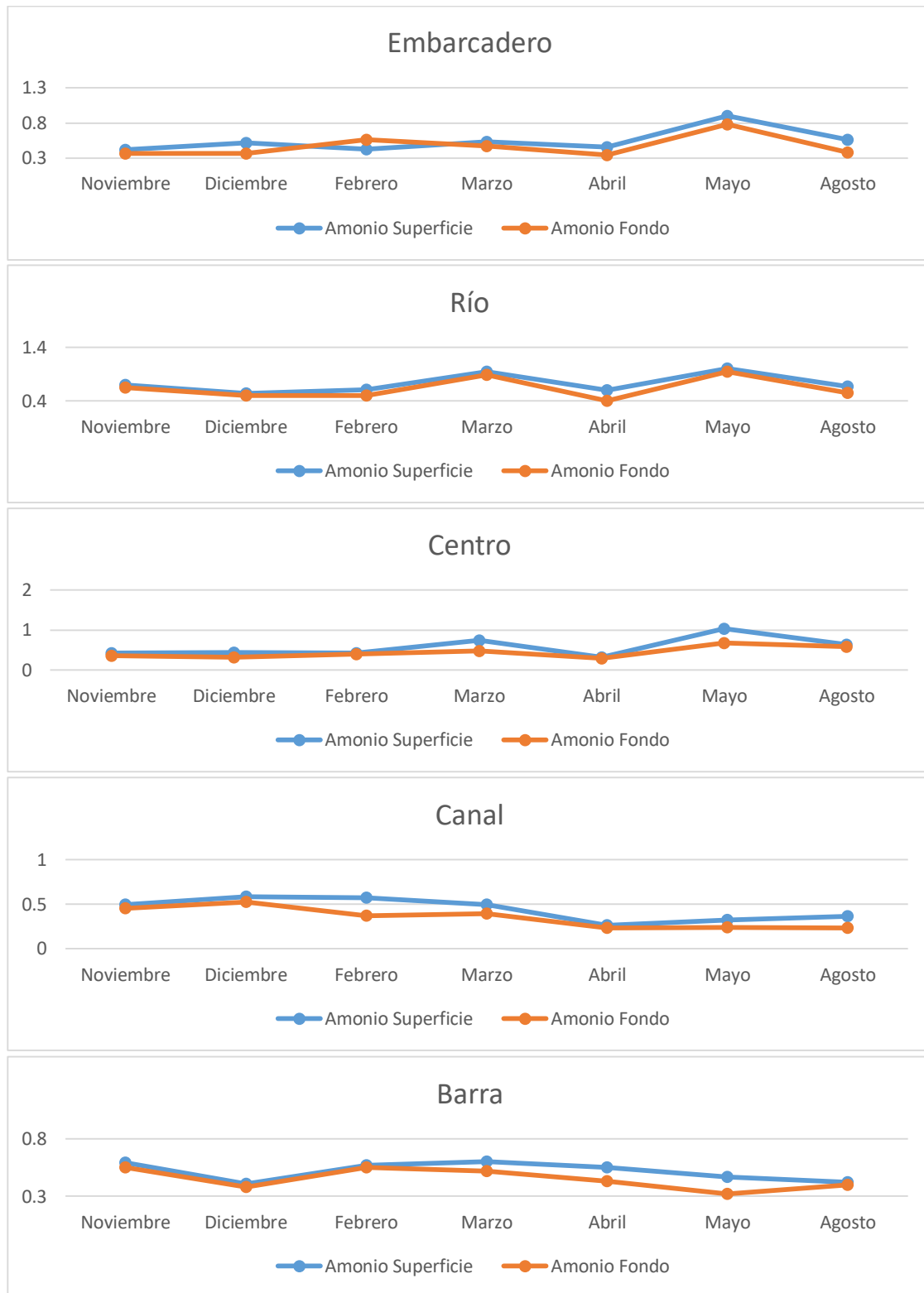


Figura 58. Diagrama de cajas múltiples para el Amonio de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.

Figura 59. Variación temporal de Amonio en superficie y fondo en cinco estaciones de monitoreo



Nitratos (NO_3^-)

Los nitratos presentaron un promedio de 1.81 mg/L^{-1} , el cual se encuentra fuera de los límites máximos permisibles en los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua para la protección de la vida acuática marina el cual es de 0.04 mg/L^{-1} ; sin embargo éste se encuentra dentro de los límites para el abastecimiento de agua potable y uso pecuario (5.0 y 90 mg/L^{-1} respectivamente). Su comportamiento en superficie y fondo fue homogéneo ($P=0.0628631$, 0.0910213 ; $P<0.05$ KW respectivamente), así como paralelo entre los dos niveles de profundidad (Figura 60), sin embargo se puede observar que el punto del Centro tuvo el nivel más bajo, esto debido a la profundidad de este punto el cual tiene una mayor capacidad de dilución, por lo contrario el punto del Embarcadero, Río y la Barra fueron los puntos con un mayor nivel (Figura 61), dichos puntos son los más vulnerables por las actividades antropogénicas, las actividades agrícolas son uno de las principales fuentes de contaminación, así como los residuos provenientes de las comunidades aledañas en las cuales se encuentran vertederos a cielo abierto, así como descargas de aguas domésticas que desembocan directamente en estos puntos. Los nitratos se presentan generalmente a nivel de trazas en el agua de la superficie, pero puede alcanzar niveles elevados en las aguas subterráneas (figura 62 y 63). El nitrato se encuentra en pequeñas cantidades como en este caso, sin embargo puede encontrarse en concentraciones de hasta 30 mg de nitrato como N/l (NMX-AA-079-SCFI-2001). Su comportamiento por tiempo fue igualmente homogéneo ($P=0.230838$; $P<0.05$ KW), sin embargo puede observarse que en los meses de mayo y agosto valores significativamente más elevados que los demás, nuevamente dichas concentraciones son por causa de las lluvias, se puede observar que la diferencia desde el mes de marzo, en el cual inició la temporada de lluvias causando escorrentías que acompañadas de la capacidad de infiltración afectan directamente a la concentración de (NO_3^-). Los valores registrados son menores a los de Cruz, 2012 donde su evaluación tuvo una media anual de 3.3 mg/L^{-1} .

El nitrato es un nutriente esencial para muchos autótrofos fotosintéticos y en algunos casos, ha sido identificado como el determinante del crecimiento de estos, lo cual es un factor relevante en la productividad primaria.

En este caso el nivel de dicho parámetro considera al sistema como *Mesotrófico* (Tabla 1) Según la "Relación de nutrimentos con el nivel trófico, tomada de Esteves (1998).

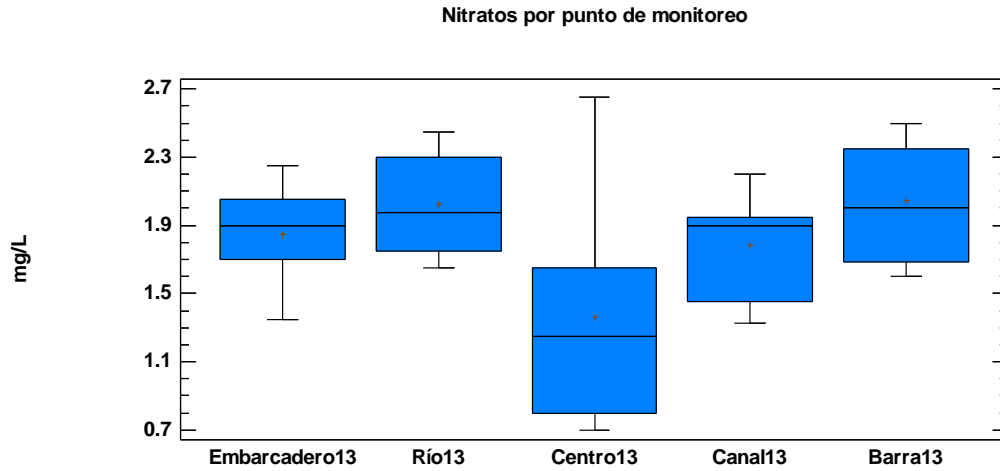


Figura 60. Diagrama de cajas múltiples para Nitratos de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.

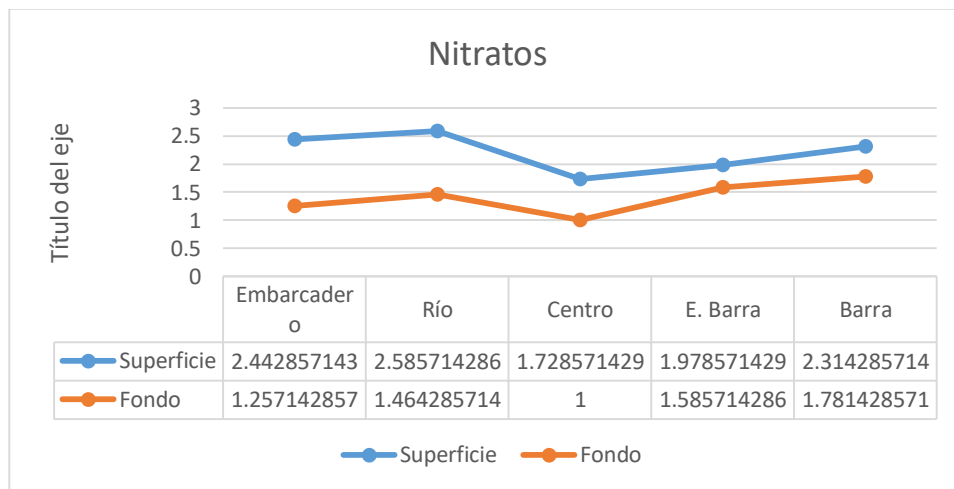


Figura 61. Gráfica de comportamiento lineal para Nitratos de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.

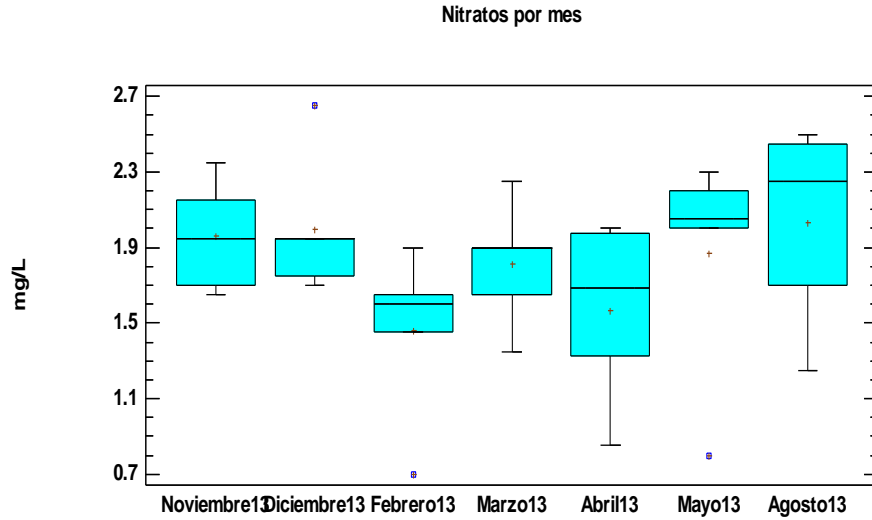
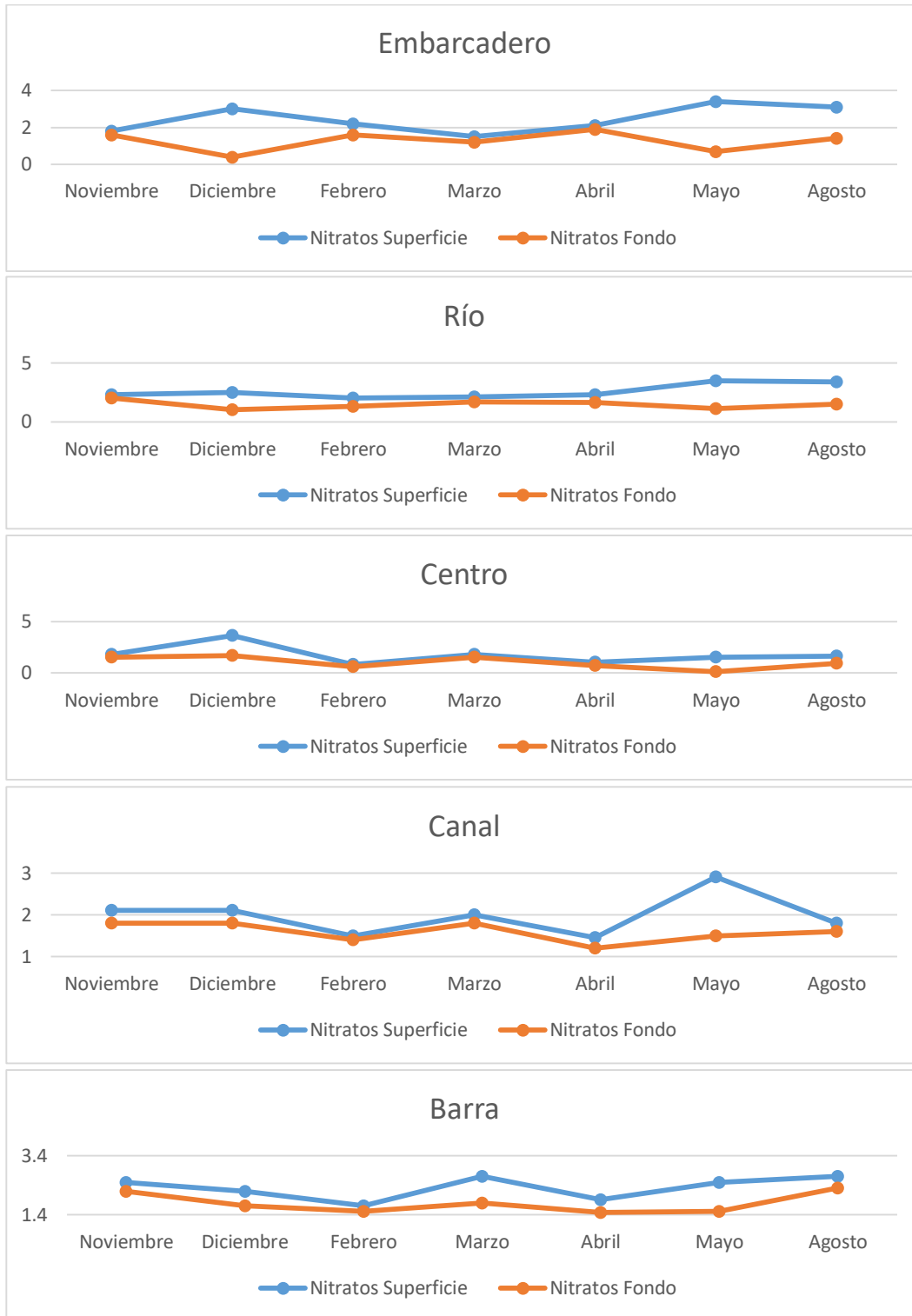


Figura 62. Diagrama de cajas múltiples para Nitratos de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.

Estado trófico	Nitritos mg L ⁻¹	Nitratos mg L ⁻¹
Oligotrófico	0.0 - 0.5	0.0 – 1.0
Mesotrófico	0.5 – 5.0	1.0 – 5.0
Eutrófico	5.0 – 15.0	5.0 – 50.0

Tabla 1. Relación de nutrientes con el nivel trófico, tomada de Esteves (1998).

Figura 63. Variación temporal de Nitratos en superficie y fondo en cinco estaciones de monitoreo



Nitritos (NO_2^-)

Los nitritos presentaron un promedio de 0.059 mg/L^{-1} , dicho valor se encuentra fuera de los límites máximos establecidos por los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua para la protección de la vida acuática (0.002 mg/L^{-1}), sin embargo se encuentra dentro de los límites máximos para el abastecimiento de agua potable y uso pecuario ($0.05 - 10 \text{ mg/L}^{-1}$ respectivamente). Su comportamiento por punto de monitoreo en superficie y fondo fue homogéneo al no presentar diferencias significativas entre las medianas ($P=0.60296$, 0.0562319 ; $P<0.05$ KW respectivamente), donde nuevamente el punto del Río y Embarcadero son los puntos donde se registraron los niveles más elevados (Figura 64), la presencia de nitritos es indicativo de contaminación de carácter fecal reciente, puntos en donde precisamente encontramos la mayor cantidad de la misma debido a los comercios alrededor de estos, así como la descarga del Río Conchero el cual contiene una alta cantidad de descargas de carácter doméstico, de igual forma el punto de la Barra presenta en el cuartil superior niveles más elevados que en los dos puntos restantes, ya que en este punto también se registra una gran cantidad de descargas de carácter doméstico. En comparación, el comportamiento es muy paralelo entre superficie y fondo (Figura 65 y 66 y 67). En general, la concentración de nitritos en el agua superficial es muy baja, pero puede aparecer ocasionalmente en concentraciones inesperadamente altas debido a la contaminación industrial y de aguas residuales domésticas, como en estos puntos (Gray, 1996). Tomando en cuenta los nitritos en la relación de nutrimentos con el nivel trófico tomada de Esteves (1998) la Laguna de Coyuca de Benítez se considera *Mesotrófico* ($0.5 - 5.0 \text{ mg/L}^{-1}$), (Tabla 2).

Su comportamiento por tiempo fue heterogéneo ($P= 0.00187249$; $P<0.05$ KW), con las concentraciones más elevadas registradas en los meses de marzo hasta agosto, meses en los cuales se inicia la temporada de lluvia, la cual trae consigo una mayor cantidad de descarga de materia orgánica de carácter doméstico e industrial provenientes de las comunidades aledañas.

Los Nitratos (NO_3^-) fueron el compuesto que se encontró en mayor cantidad (1.81 mg/L^{-1}), seguido de los Nitritos (NO_2^-) (0.059 mg/L^{-1}) lo que indica una alta mineralización de compuestos nitrogenados (NMX-AA-079-SCFI-2001). Es importante recalcar que existen dos tipos de contaminación por NO_3^- claramente definidos: Contaminación puntual ligada generalmente a actividades de origen industrial y urbano y contaminación difusa, originada principalmente por las actividades agrícolas (Arce, 1994). La concentración de Nitritos es ligeramente elevada, aunque se encuentran en menor cantidad que los Nitratos; esto por la capacidad oxidativa que presenta la Laguna; Arce (1994), especifica que el agua

que contenga nitritos (dada su inestabilidad), puede considerarse indicativa de una contaminación reciente por materias fecales.

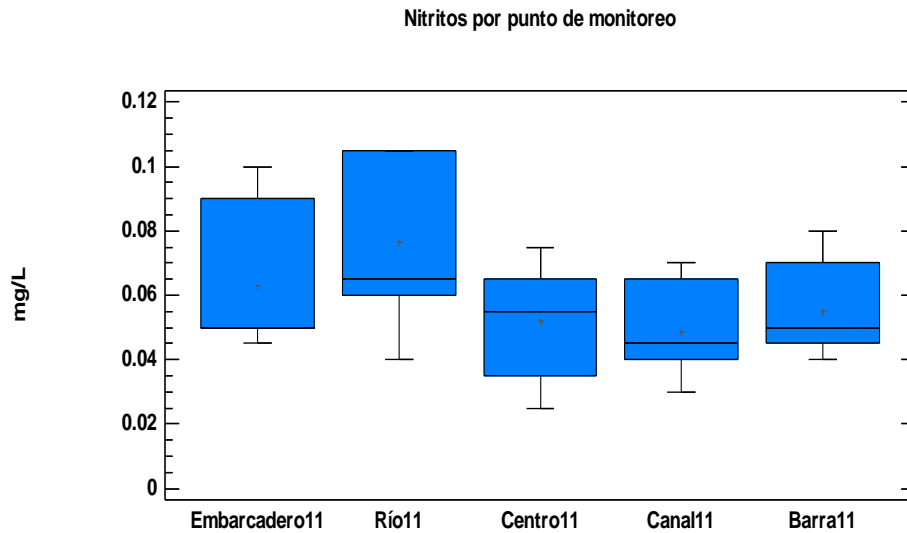


Figura 64. Diagrama de cajas múltiples para Nitritos de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.

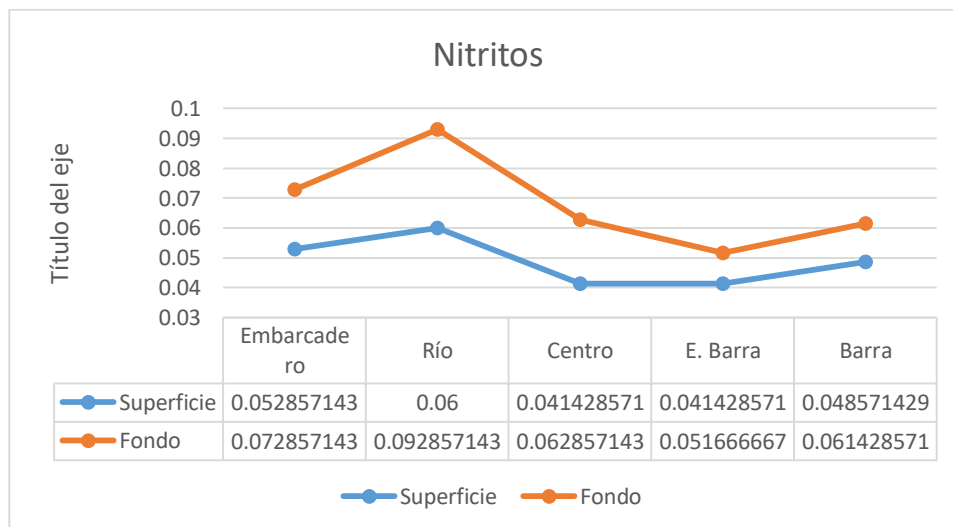


Figura 65. Gráfica de comportamiento lineal para Nitritos de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.

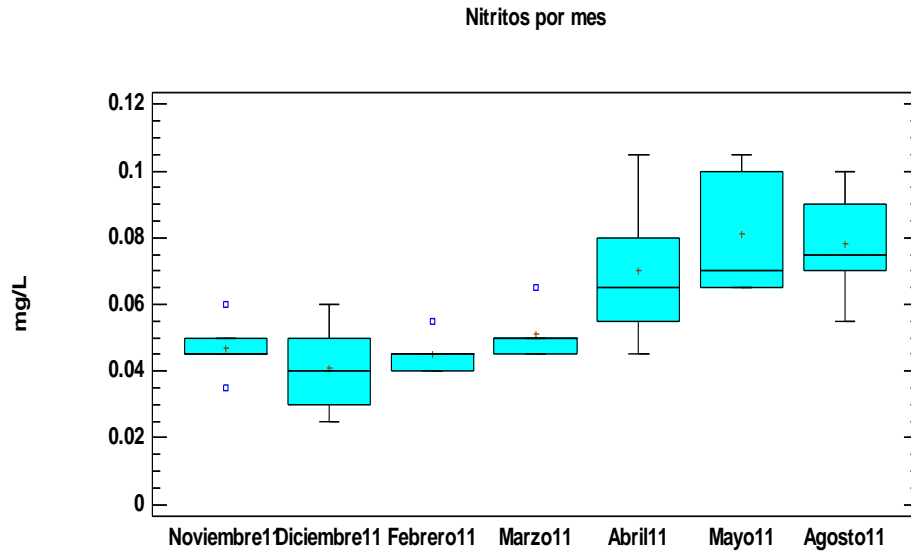
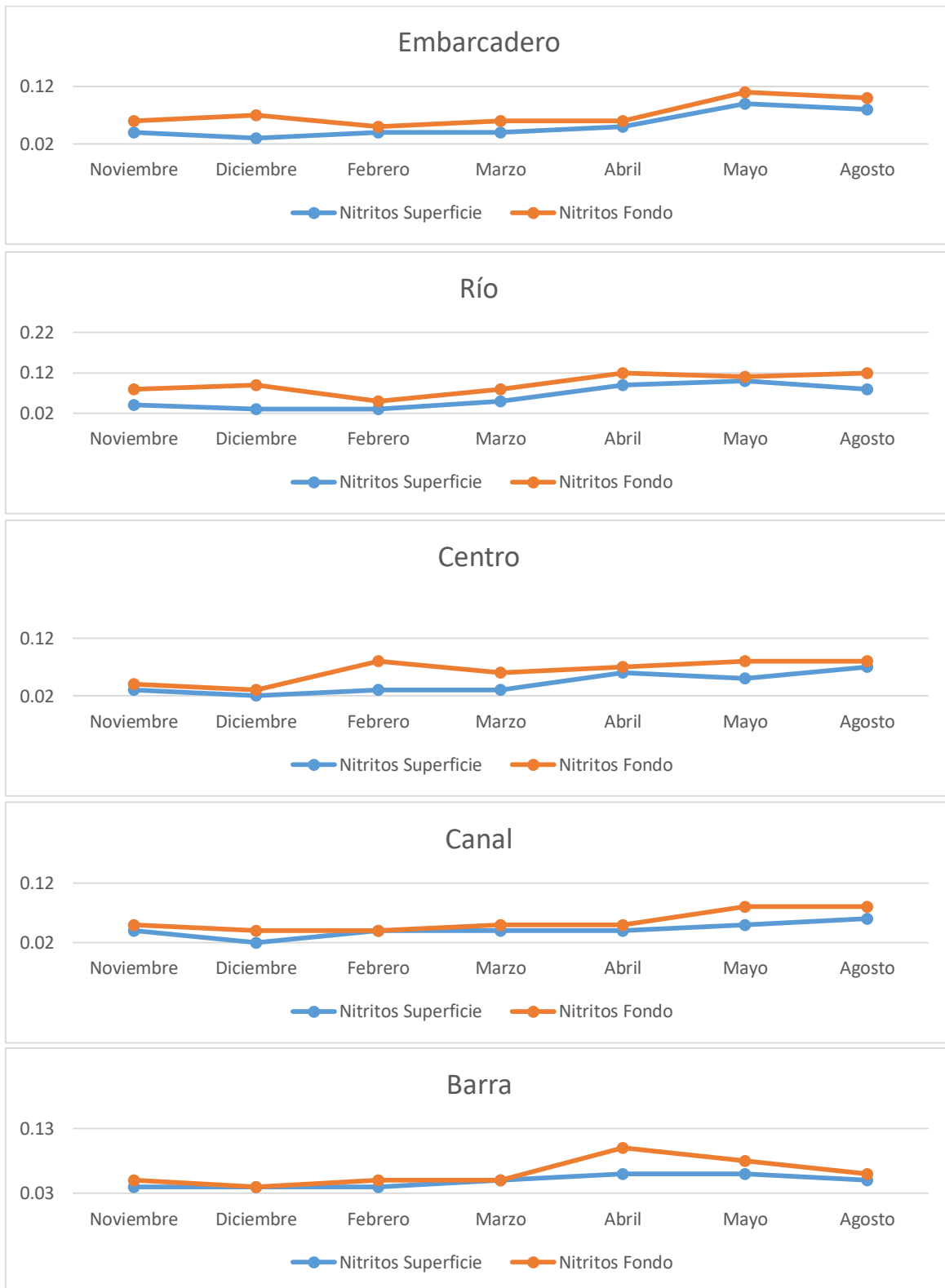


Figura 66. Diagrama de cajas múltiples para Nitritos de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.

Estado trófico	Nitritos mg L ⁻¹	Nitratos mg L ⁻¹
Oligotrófico	0.0 - 0.5	0.0 – 1.0
Mesotrófico	0.5 – 5.0	1.0 – 5.0
Eutrófico	5.0 – 15.0	5.0 – 50.0

Tabla 2. Relación de nutrientes con el nivel trófico, tomada de Esteves (1998).

Figura 67. Variación temporal de Nitritos en superficie y fondo en cinco estaciones de monitoreo



Fosfatos (PO_4)

El promedio de los fosfatos fue de 1.68 mg/L^{-1} , presentando un comportamiento homogéneo entre los puntos de monitoreo en superficie y fondo ($P=0.250735$, 0.149135 ; $P<0.05$ KW respectivamente), donde comparando las medianas, se encuentran los puntos del Embarcadero, Río y Barra con los valores más elevados (Figura 68), los cuales reciben los aportes de compuestos orgánicos e inorgánicos provenientes del canal meándrico, provenientes de las actividades humanas que se desarrollan en la parte alta del municipio de Coyuca de Benítez y comunidades aledañas, produciendo el enriquecimiento de las aguas, cuyo origen es en su gran medida por escurrimientos urbanos, actividades agrícolas y ganaderas deficientes entre otros. Los valores registrados rebasan el máximo permisible para los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua para la Protección de la Vida Acuática en aguas marinas o costeras y de agua dulce (0.002 y 0.25 mg/L^{-1} respectivamente); por lo contrario se encuentra dentro de los límites para el uso recreativo con contacto primario y para riego agrícola y pecuario (6 mg/L^{-1}) de la NMX-001-SEMARNAT-1996.

Su comportamiento temporal fue heterogéneo ($P=0.0147335$; $P<0.05$ KW) presentando un nivel mínimo en el mes de marzo y elevándose significativamente en abril (Figura 69), esto debido a la temporada de lluvias aumentando los escurrimientos trayendo consigo descargas de origen urbano y agrícolas, el mes de marzo presento un decremento importante debido a que a finales del mes de marzo iniciaron las lluvias, aumentando a su vez la remoción de materia orgánica a lo largo de la columna de agua así como su nivel de profundidad, lo que conllevó a una mayor capacidad de dilución afectando directamente a la cantidad del nutrimento que se encontraba ya dispuesto en la Laguna, por lo que se puede observar en la (Figura 70 y 71) como la cantidad de fosfatos en superficie y fondo fue similar en comparación a los otros meses.

El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento de organismos, por lo que la descarga de fosfatos en cuerpos de aguas puede estimular el crecimiento de macro y microorganismos fotosintéticos en cantidades nocivas (NMX-AA-029-SCFI-2001).

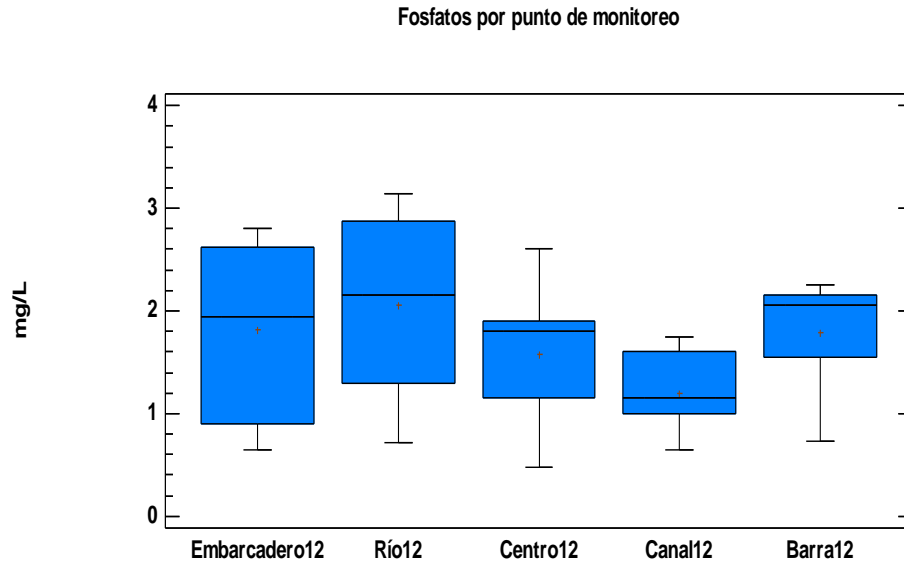


Figura 68. Diagrama de cajas múltiples para Fosfatos de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.

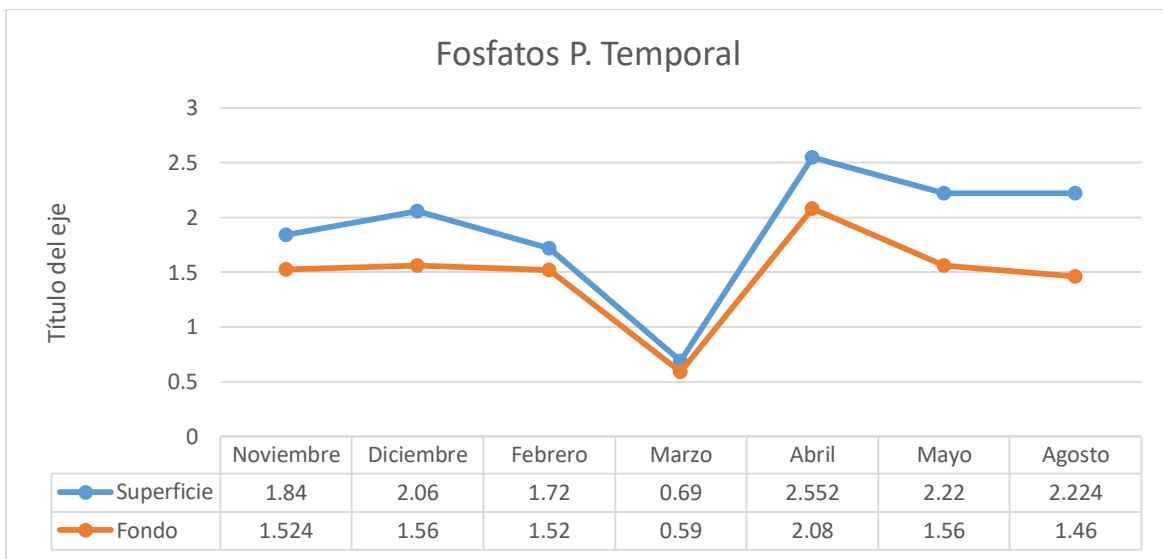


Figura 69. Gráfica de comportamiento lineal para Fosfatos de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.

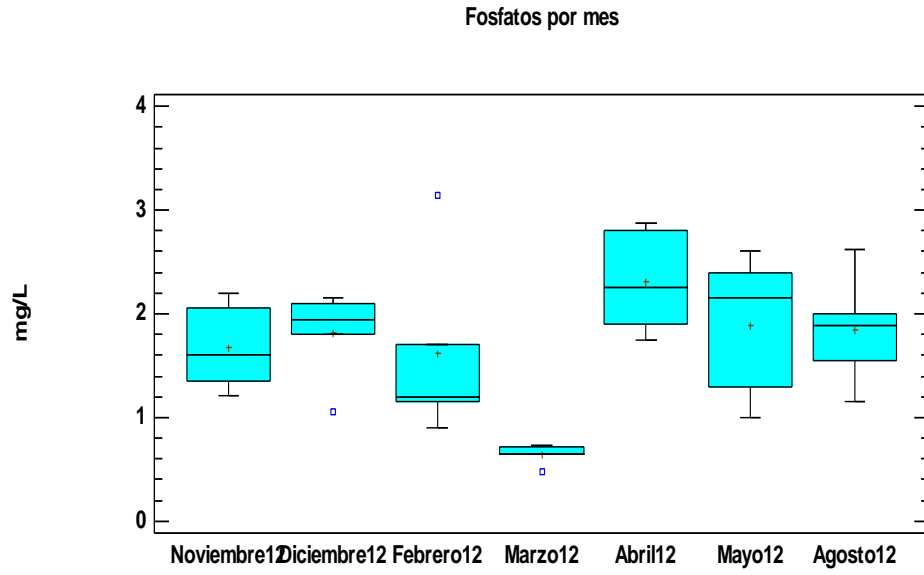
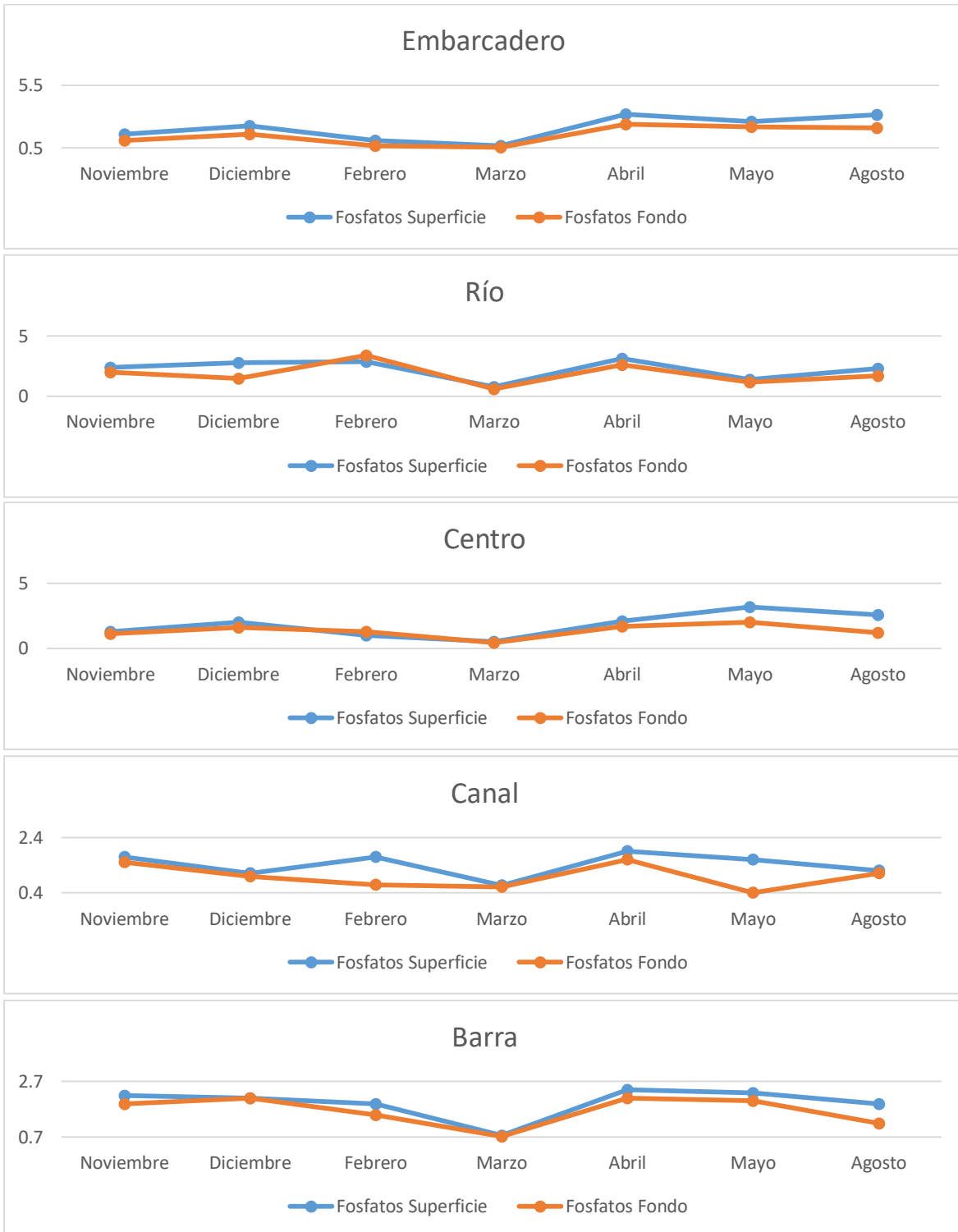


Figura 70. Diagrama de cajas múltiples para Fosfatos de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.

Figura 71. Variación temporal de Fosfatos en superficie y fondo en cinco estaciones de monitoreo



Clorofila

La clorofila presentó una concentración promedio de 19.61 µg/L, con un comportamiento heterogéneo en superficie como en fondo ($P=0.0000038259$, 0.00000423187 ; $P<0.05$ KW respectivamente) con un nivel significativamente elevado en los puntos del Embarcadero, Río, Centro y Barra (Figura 72), puntos en los cuales los valores se ven influenciados directamente por las actividades humanas, periodos de mezcla, profundidad, temperatura, incidencia de luz y estratificación en la distribución del fitoplancton. Las actividades turísticas se encuentran en mayor cantidad en los puntos del Embarcadero, Río y la Barra, actividades que afectan directamente los parámetros como: Temperatura, transparencia, oxígeno disuelto, pH, STD, DBO₅ así como a los nutrientes los cuales están directamente relacionados con la proliferación del fitoplancton, haciendo así que aumenten o disminuyan significativamente de acuerdo al periodo (vacacional, o temporada baja) en el que se encuentre la Laguna; la descarga de aguas residuales de origen doméstico así como de materia inorgánica provenientes de dichas actividades alteran la concentración de partículas suspendidas afectando la incidencia de luz, disminuyendo la zona eufótica alterando así la actividad fotosintética, sin embargo, a su vez estas descargas favorecen a la distribución de nutrientes necesarios para el metabolismo del fitoplancton. Existió una diferencia clara entre la superficie y el fondo de la Laguna (Figura 73 y 74), presentando una mayor concentración de clorofila en la superficie que en el fondo, esto debido a la cantidad de luz que incide en el cuerpo de agua, a pesar de que en el punto de monitoreo "Centro" tuvo mayor profundidad se pudo encontrar concentraciones de clorofila a, esto debido a las corrientes presentes en la laguna, las cuales provocan la mezcla de la columna de agua arrastrando así ciertas cantidades de fitoplancton, sin embargo dicho punto fue el que menor concentración presentó por la poca incidencia de luz así como la escases de nutrientes en comparación con los otros puntos de monitoreo (Figura 75).

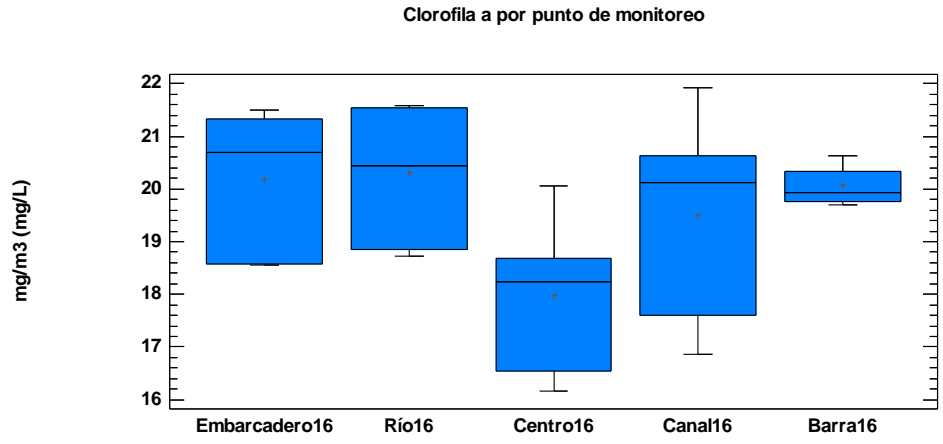


Figura 72. Diagrama de cajas múltiples para Clorofila de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.

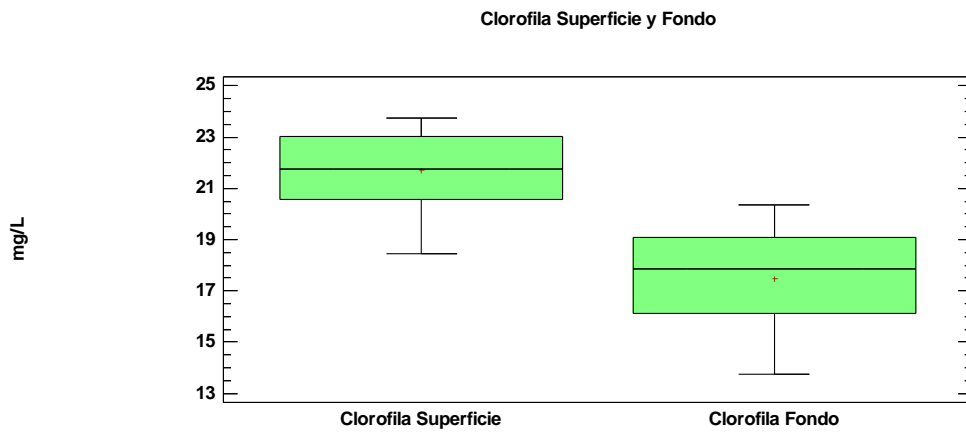


Figura 73. Diagrama de cajas múltiples para Clorofila de la Laguna de Coyuca de Benítez Superficie y Fondo.

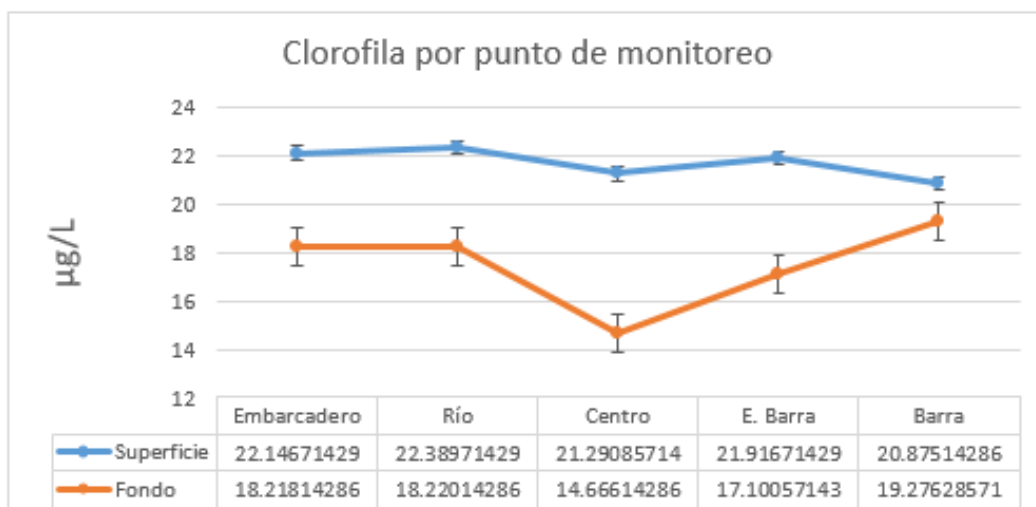


Figura 74. Gráfica de comportamiento lineal para Clorofila de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.

Los valores obtenidos de concentración de clorofila a van desde 13.732 hasta los 23.755 $\mu\text{g/L}$ y como se mencionó anteriormente, frecuentemente su mayor incidencia está dada por ciertas condiciones, las cuales conllevan un aumento o disminución del pigmento, uno de las principales es la aportación de nutrimentos derivado de los escurrimientos continentales, cuyo efecto casi inmediato es el establecimiento de áreas con una mayor cantidad de clorofila a, la cual llega a permanecer en función de la constancia de dicho aporte. Lo anterior es especialmente apreciable en las lagunas costeras, en donde el insumo de aguas continentales y el consecuente suministro de sales nutritivas mantienen densas comunidades fitoplanctónicas a lo largo del año (Contreras, 1994 artículo uam). Por lo anterior se encontró una mayor concentración en puntos con aportes terrígenos constantes y una menor con la zona de influencia marina (Barra).

La estacionalidad es un factor determinante en la concentración de la clorofila a, presentó un comportamiento heterogéneo ($P= 0.0161412$; $P<0.05$ KW), ya que con el inicio de la temporada de lluvias en el mes de marzo, los niveles alcanzan un punto más elevado en comparación a la temporada de estiaje, exceptuando el mes de diciembre donde el turismo alcanza su punto más alto de todo el año, elevando así las concentraciones de clorofila a, manifestándose así la influencia de los insumos de nutrimentos generados en dicho mes, así como a la época de precipitaciones (Figura 75 y 76). Por lo anterior la influencia estacional junto con los

parámetros abióticos son fundamentales para interpretar el comportamiento de la Laguna.

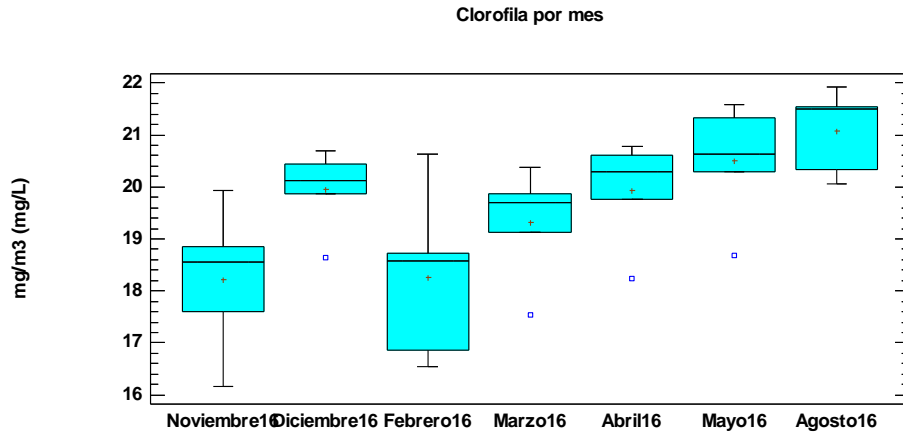
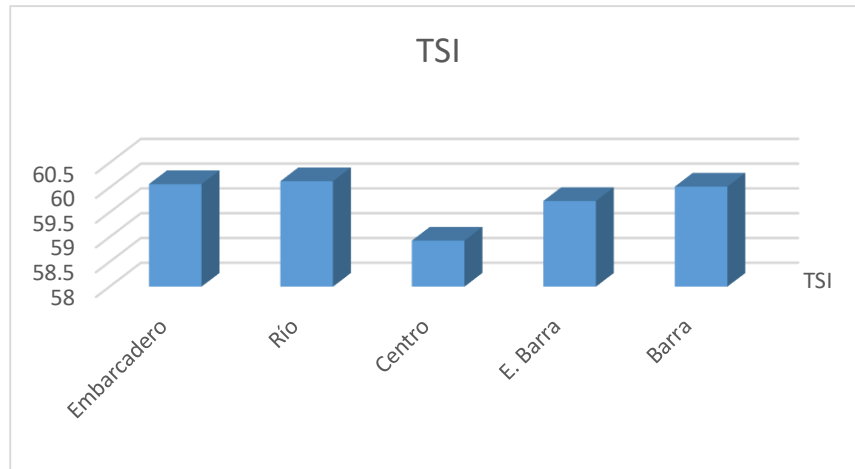


Figura 75. Diagrama de cajas múltiples para Clorofila de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.

La clorofila a, es de igual manera útil para establecer el índice trófico de la Laguna, éste se calculó siguiendo lo propuesto por Carlson (1977), en el cual basado en la concentración de clorofila a, esta se convierte a una escala numérica decimal, el cual es comparado en la escala de los valores del estado trófico en los cuerpos de agua (Tabla 3), realizada la ecuación correspondiente los valores máximos que se obtuvieron del Índice de Estado Trófico (IET o TSI) para la Laguna de Coyuca de Benítez fueron de 60.49 y el mínimo de 58.93, dichos valores fueron relativamente constantes tanto por punto de monitoreo como por tiempo con un promedio de 59.77, el cual en comparación con la tabla de valores del estado trófico se determina que la Laguna presenta un grado Mesotrófico con una muy clara tendencia hacia la Eutrofia, al estar dentro de los límites de TSI en el estado mesotrófico, lo que puede llevar a una alteración de la biota así como de la biodiversidad biológica, provocando una proliferación de algas, cianobacterias y macrófitos en demasía provocando el aumento de turbidez del agua afectando directamente a la vegetación acuática sumergida se vea afectada perdiendo alimentos, hábitats y oxígeno disuelto.



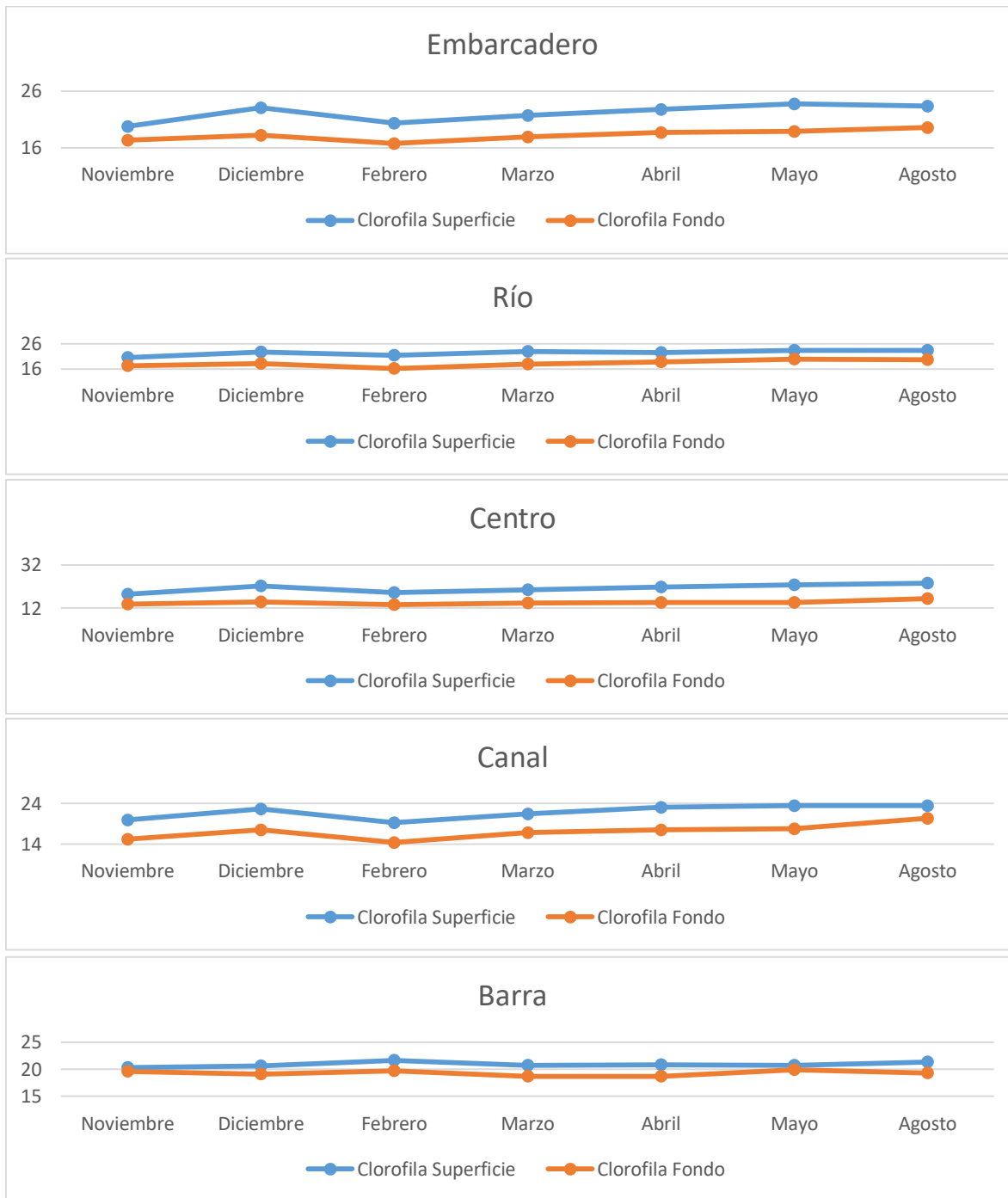
TSI por punto de monitoreo.

Tabla 3: Escala de valores del estado trófico en los cuerpos de agua.

Estado de eutrofia	TSI	Clorf <i>a</i> (mg/m ³)
Oligotrófico (TSI < 30)	0	0.04
	10	0.12
	20	0.34
	30	0.94
Mesotrófico (30 < TSI < 60)	40	2.6
	50	6.4
	60	20
Eutrófico (60 < TSI < 90)	70	56
	80	154
	90	427
Hipereutrófico (90 < TSI < 100)	100	1183

Modificada de Carlson (1997; 1980)

Figura 76. Variación temporal de Clorofila en superficie y fondo en cinco estaciones de monitoreo



Productividad Primara

La productividad neta calculada tuvo un promedio de $35.993 \text{ mg C m}^{-3}$, presentando un comportamiento homogéneo en superficie y fondo a lo largo de la Laguna ($P=0.132445, 0.214126; P<0.05 \text{ KW}$ respectivamente) (Figura 77), en donde el Río, Embarcadero y la Barra muestran un valor elevado en comparación con el punto del Centro y el Canal, puntos en donde las descargas son mayores (Figura 78) siendo la Barra y el Río puntos de principal aporte para la Laguna, de los cuales provienen gran cantidad de materia orgánica e inorgánica de comunidades aledañas y altas de localidades como: Aserraderos de Salinas, Bajos del Ejido, Brasilia, El Bordonal, El Conchero, El Embarcadero, El Ranchito, Kilometro 17, El Baradero, La Gloria, Luces en el mar, Macahuite y San Nicolás de las Playas, además de ser puntos de gran impacto al realizarse alrededor de estos la mayor cantidad de actividades antropogénicas, que van desde el turismo, recreación, pesca, ganadería y agricultura. En el punto del centro la Productividad fue menor, debido a que en dicho punto la profundidad es mayor en comparación a los otros puntos, teniendo una mayor capacidad de dilución para la materia orgánica además de la diferencia significativa en la incidencia de luz en el fondo. El nivel más elevado de PN registrado fue de 62.5 mg C m^{-3} (Embarcadero y Río en Superficie) y el menor de 4.68 mg C m^{-3} (Centro en Fondo). Con una marcada diferencia, la PN fue mayor en superficie que en fondo (Figura 79), nuevamente por la cantidad de luz incidente en la parte más profunda de cada punto tanto por los niveles de profundidad como por la cantidad de materia particulada a lo largo de la columna de agua.

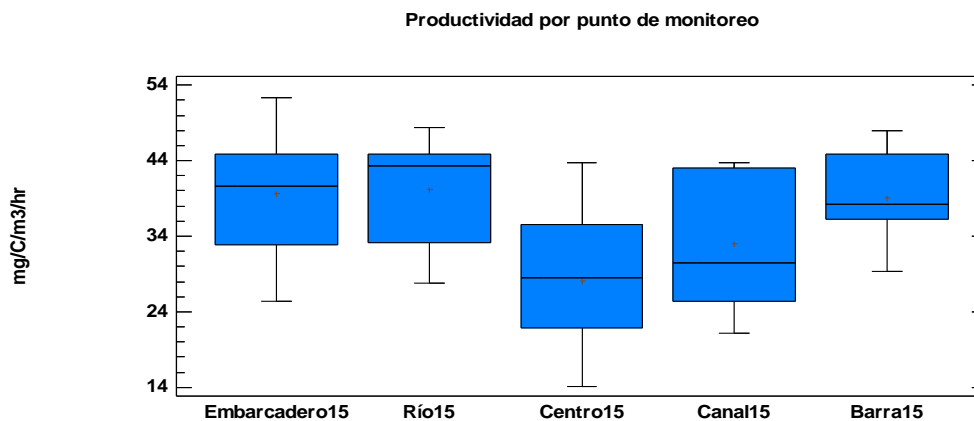


Figura 77. Diagrama de cajas múltiples para PN de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.

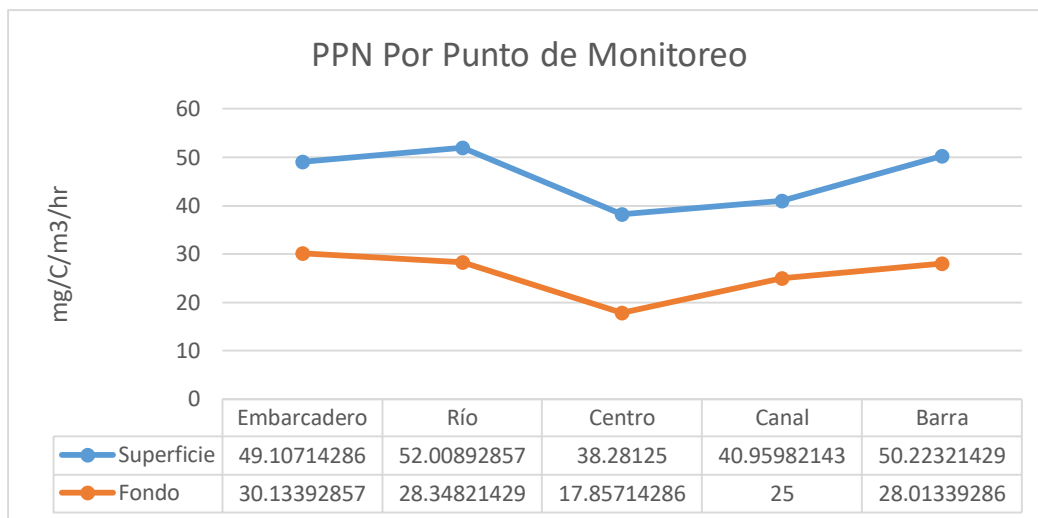


Figura 78. Gráfica de comportamiento lineal para PN de la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.

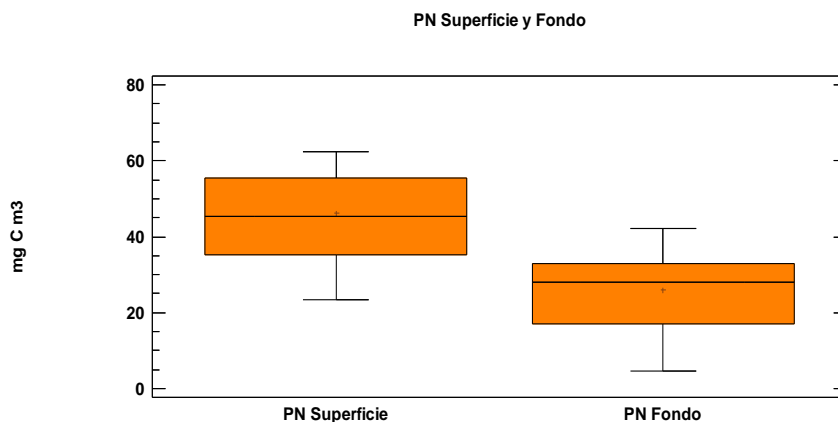


Figura 79. Diagrama de cajas múltiples para PN de la Laguna de Coyuca de Benítez Superficie y Fondo.

La PB tuvo un promedio de 97.265 mg O₂/m³/4 con un nivel máximo de 269.53 y un mínimo de 28.90 mg O₂/m³/4, presentando una mayor concentración en la Barra, Embarcadero y el Río en superficie que en fondo como se puede apreciar en la Figura 64, nuevamente de manera contraria el Centro fue el punto en el que menor concentración se registró, la R presentó un nivel máximo de 209.37 y un mínimo de 17.96 mg O₂/m³/4, con una alta concentración presente en el del Río y la Barra, donde el consumo de energía fue mayor (Figura 80), lo que nos dice claramente que en nuestros puntos de principal aporte de descargas de materia orgánica para la Laguna, se registra una mayor tasa total de captación de energía, así como de consumo de la misma, que en relación con la concentración de Clorofila a, dichos puntos marcaron una cantidad significativa de este pigmento corroborando así y

reforzando que en estos puntos se encuentra la mayor cantidad de productores primarios degradadores de materia orgánica siendo estos puntos los más relevantes debido a su contribución a la Laguna por parte de actividades antropogénicas (Figura 81); en el punto de la Barra existe una excepción en cuanto a la relación de concentración de Clorofila a con la PB, R y PN, la concentración de la Clorofila no es tan elevada en comparación con los otros puntos de monitoreo, sin embargo es el punto que más PN presenta, esto se debe a la poca profundidad de dicho punto dando lugar a una menor capacidad de dilución, así como al cambio del comportamiento de parámetros químicos que afectan directamente la capacidad metabólica de los productores, además de la cantidad de materia orgánica tanto disuelta como particulada que es descargada en ese punto por las comunidades aledañas y altas. A su vez el fenómeno de surgencia influye en el aumento de la productividad primaria, el cual afecta directamente al punto de la Barra, debido a que presenta una mayor interacción con el mar, aumentando la cantidad de nutrimentos generando cambios físicos y químicos tales como disminución de temperatura, oxígeno y aumento de los nutrientes; permitiendo el consecuente aumento de la productividad primaria, que es un complejo proceso de interacción físico-biológica (Mann & Lazier 1991).

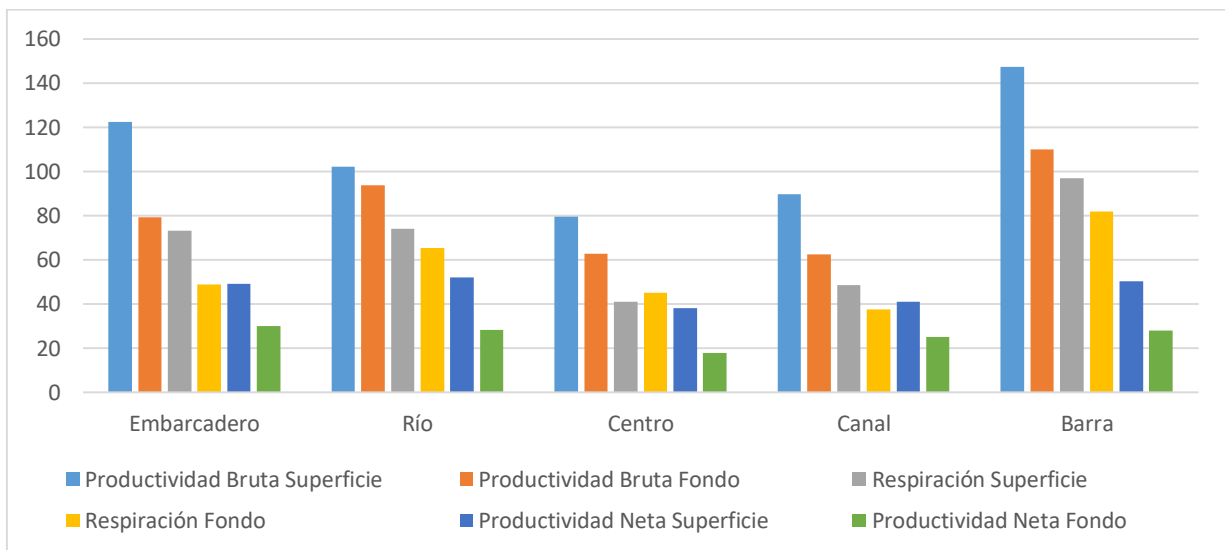


Figura 80. Gráfica de barras para PB, R y PN a dos niveles de profundidad en la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.

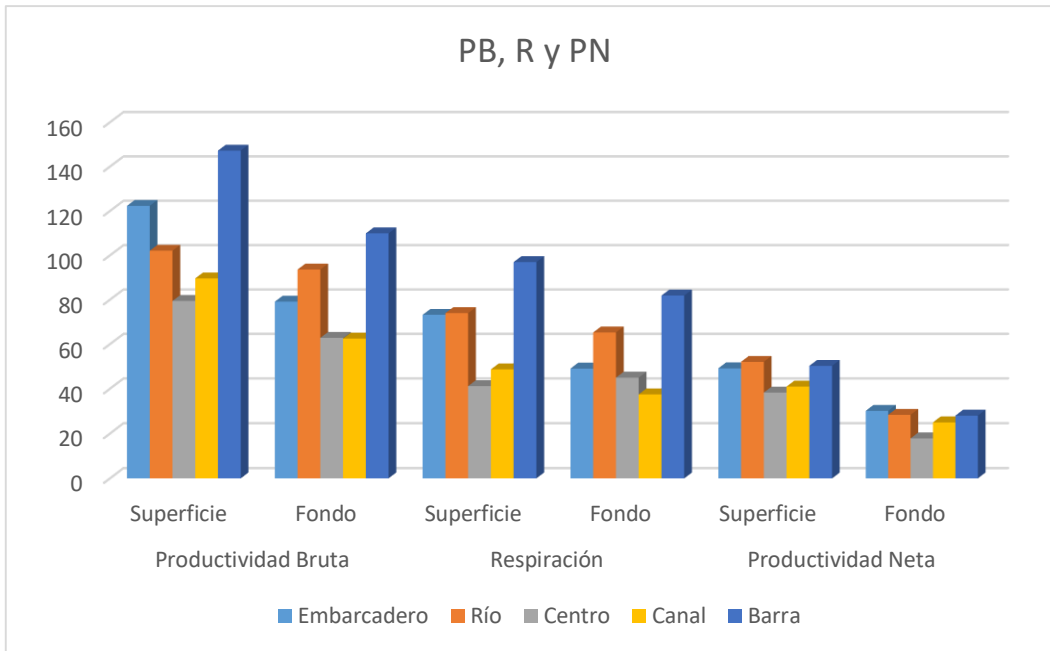


Figura 81. Gráfica de barras para la comparación de PB, R y PN a dos niveles de profundidad en la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.

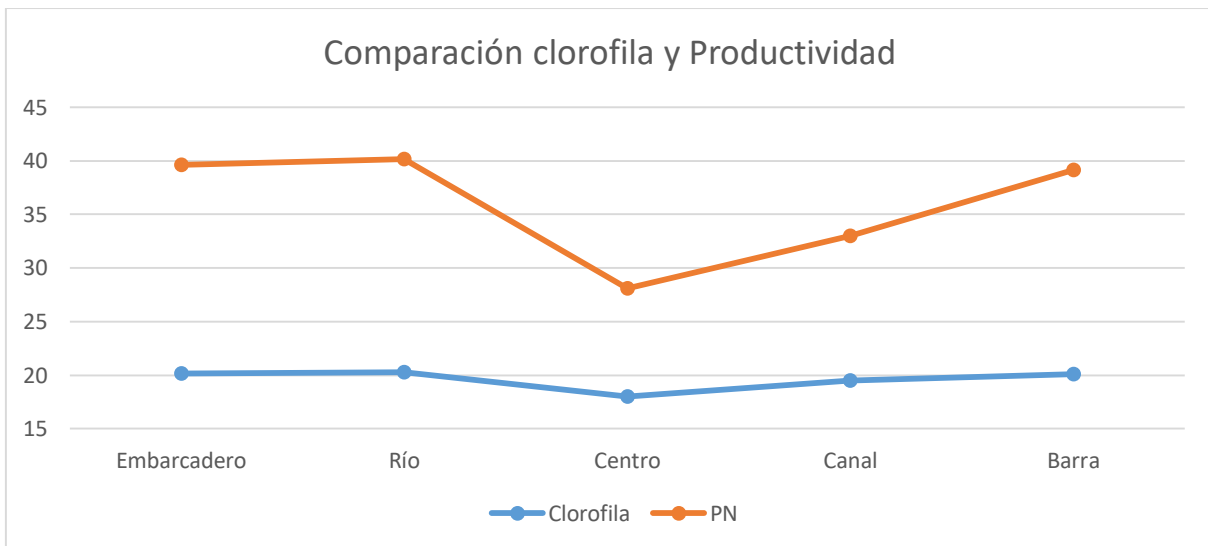


Figura 82. Gráfica de comparación lineal para PN y Clorofila a en la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo.

La PN tuvo un comportamiento homogéneo a nivel estacional ($P=0.0665168$; $P<0.05$ KW), aunque con una diferencia clara de concentración entre los distintos meses de evaluación tomando en cuenta las medianas, presentando los meses de diciembre, marzo y agosto un nivel más elevado (Figura 83 y 84), meses en los que se presenta la temporada alta de vacacional a lo largo del año, aumentando significativamente la descarga de materia orgánica cargada de una mayor concentración de nutrientes dando lugar a una mayor productividad, de igual manera la presencia de lluvias tiene un impacto significativo en la variación de los niveles de producción en la Laguna, en este caso, cabe destacar que la productividad disminuye en los periodos de lluvia a excepción de los meses previamente mencionados por el impacto y aporte de actividades antropogénicas, esto es debido a que las lluvias aumentan el nivel de profundidad en la Laguna, elevando su capacidad de dilución y mezcla, incrementando la turbidez, disminuyendo la incidencia de luz en la columna de agua, afectando la fotosíntesis de los productores.

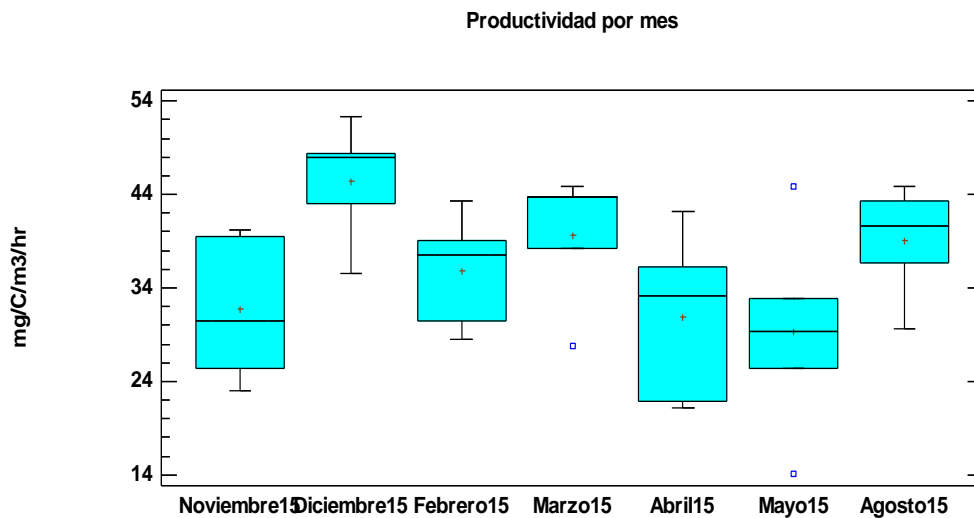
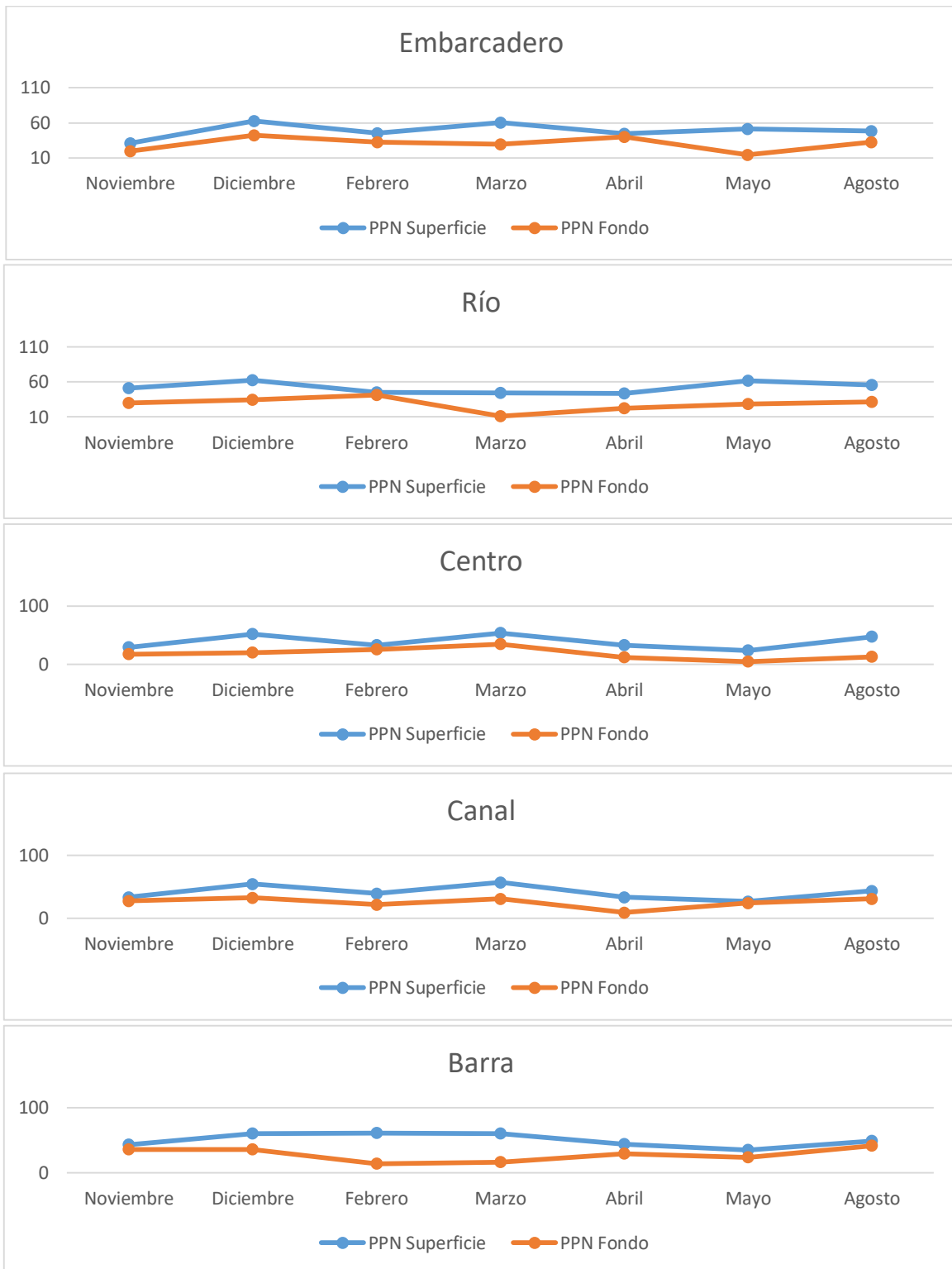


Figura 83. Diagrama de cajas múltiples para PPN de la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo.

Figura 84. Variación temporal de PPN en superficie y fondo en cinco estaciones de monitoreo



Como se puede observar en las siguientes gráficas los niveles de PB (Figura 85), R (Figura 86) y PN (Figura 87) fueron muy variados entre los puntos de monitoreo así como en los meses, sin embargo se determina que los puntos del Embarcadero, Río y Barra son los puntos más productivos a lo largo del tiempo, en temporada de lluvias o en temporada seca, incrementando en los meses de mayor descarga de materia orgánica. Otro punto a destacar es el del Canal, seguido del Centro este punto es menos productivo en relación a los otros, el Canal presenta la mayor concentración de lirio acuático, además de ser el punto con mayor turbidez, esto altera la capacidad fotosintética de los organismos productores disminuyendo su productividad.

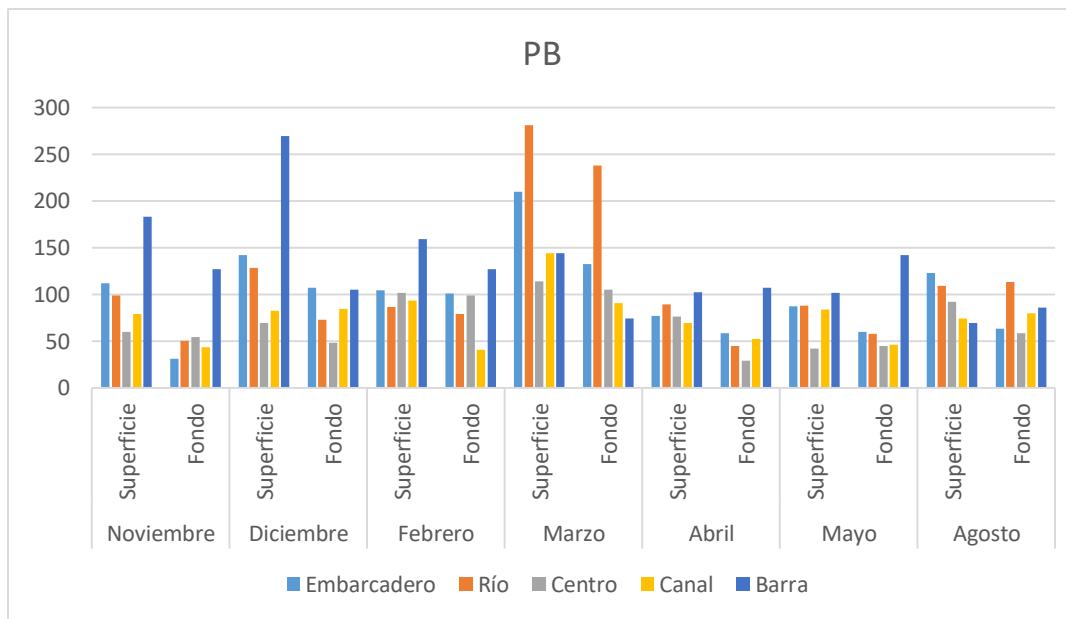


Figura 85. Gráfica de barras de PB a dos niveles de profundidad en la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo a lo largo del tiempo.

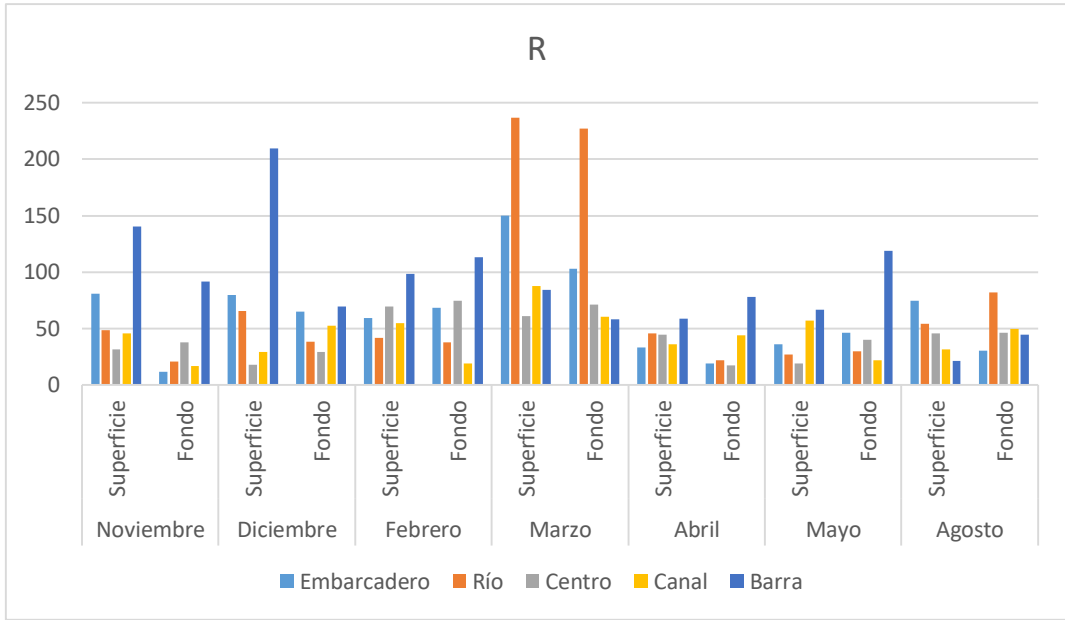


Figura 86. Gráfica de barras de R a dos niveles de profundidad en la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo a lo largo del tiempo.

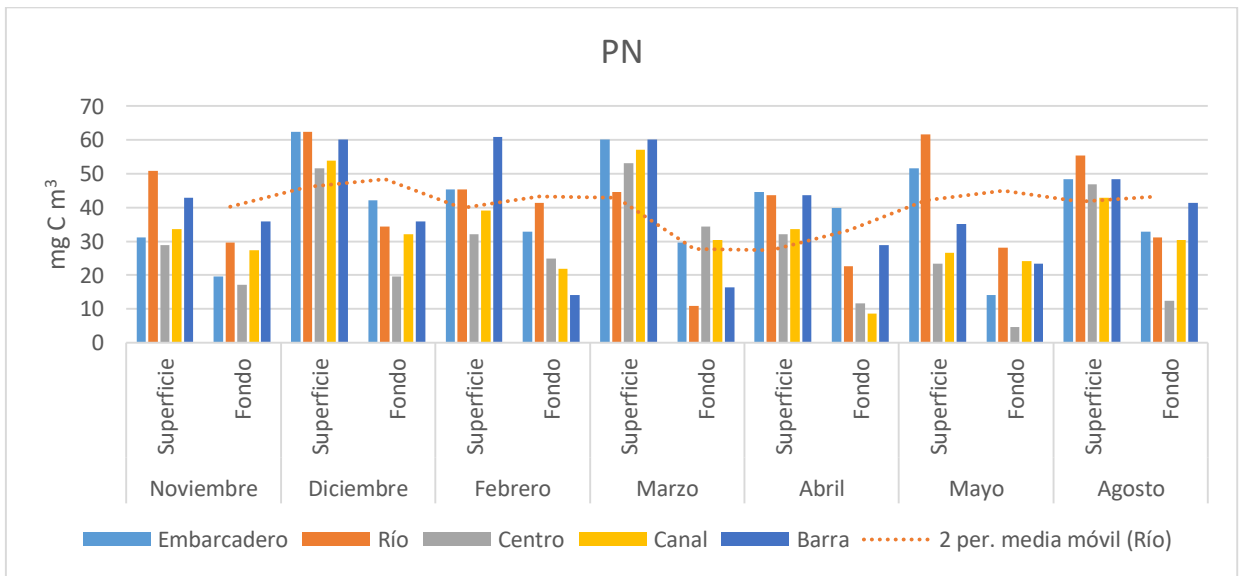


Figura 87. Gráfica de barras de PN a dos niveles de profundidad en la Laguna de Coyuca de Benítez por punto de monitoreo a lo largo del tiempo.

En la actualidad no existe una Norma Oficial que establezca valores para el estado trófico y que brinde niveles máximos y mínimos en los cuales se permitan determinadas actividades mediante estas evaluaciones, sin embargo la productividad primaria es un parámetro relevante para establecer el Índice Trófico de un cuerpo de agua, que en complemento con la Clorofila nos permite establecer un estado trófico más aproximado; para el caso de la Laguna de Coyuca de Benítez los niveles de Productividad primaria (35.993 mg C m^3) fluctuaron dentro del estado Mesotrófico ($25-60 \text{ mg C m}^3$) (Tabla 4), con un moderado nivel de productividad, con presencia de plantas acuáticas y concentración de nutrimentos moderada. El estado trófico de la Laguna nos permite evaluar la calidad de la misma, además de determinar que los ciclos a lo largo de la columna de agua sean los indicados y no se altere de manera significativa la pirámide trófica a causa de actividades antropogénicas. En la actualidad no existe una Norma Oficial que establezca el estado trófico y que brinde valores en los cuales se permitan determinadas actividades mediante estas evaluaciones

Estado trófico	Producción primaria fitoplancton $\text{mgC m}^3\text{año}$
Oligotrófico	<30
Mesotrófico	25-60
Eutrófico	40-200
Hipertrófico	130-600

Fuente: Boulion y Hakanson (2003).

Tabla 4. Estado trófico basado en concentración de producción primaria.

Comportamiento de Oxígeno Disuelto en veinticuatro horas.

El Oxígeno presentó un comportamiento no paramétrico en la superficie ($P=0.000154424$; $P<0.05$ KW) (Figura 88) y paramétrico en el fondo ($P=2.03007$; $P<0.05$ KW) (Figura 89), el comportamiento entre ambos niveles de profundidad es equivalente, se muestran diferencias claras entre las horas de luz a las horas con ausencia de la misma, esto se debe al proceso metabólico de los organismos productores, ya que durante el día se realiza la producción por fotosíntesis y en la noche solo está presente la respiración, en esos periodos de ausencia de luz se aprecia que el comportamiento es muy similar en ambos niveles de profundidad, lo que cambia drásticamente al amanecer y es aún más marcada la diferencia en las horas donde el sol se encuentra en su punto más alto (medio día), la superficie recibe mayor incidencia de luz por lo que la producción es mayor, dando como resultado niveles más elevados de Oxígeno Disuelto, en el sistema se aprecia que la hora con mayor concentración de Oxígeno Disuelto son las cuatro de la tarde; esto debido a la producción realizada desde el amanecer, la cual aumenta la cantidad de oxígeno en la columna de agua, hasta que esta es asimilada por los organismos consumidores. Cabe destacar que los puntos donde encontramos una mayor concentración de Oxígeno Disuelto son el Embarcadero, Río y Barra, puntos de mayor aporte de materia orgánica consecuencia de actividades antropogénicas realizadas alrededor de esos puntos, esto se refuta tomando en cuenta los meses de muestreo, en donde hay un cambio más evidente y marcado durante la marcha de veinticuatro horas en los meses de noviembre, diciembre, abril y agosto, meses en los que la actividad turística es mayor, propiciando un mayor aporte a la Laguna por actividades económicas y turísticas, de igual a partir del mes de marzo se muestra un aumento de concentración de Oxígeno Disuelto comparados con el mes de noviembre y diciembre, esto se debe al clima presente en la Laguna, la presencia de precipitación aumenta significativamente la escorrentía y cauces de ríos provenientes de comunidades altas, las cuales presentan una cantidad importante de materia orgánica e inorgánica de procedencia doméstica así como de actividades ganaderas (Gráficas de Comportamiento pág. 105 a 111). Estos aportes aportan una gran cantidad de nutrimentos lo cuales propician la proliferación de organismos degradadores de materia orgánica y aumentan la productividad del sistema.

La evaluación del Oxígeno Disuelto a lo largo del tiempo durante veinticuatro horas es importante, pues mediante esta evaluación se puede observar el comportamiento de la Laguna durante los periodos de mayor incidencia de luz así como de la menor, conociendo así el estado de la misma; los parámetros como STD, Transparencia y profundidad pueden alterar la concentración de oxígeno al interferir en la incidencia de luz en el sistema.

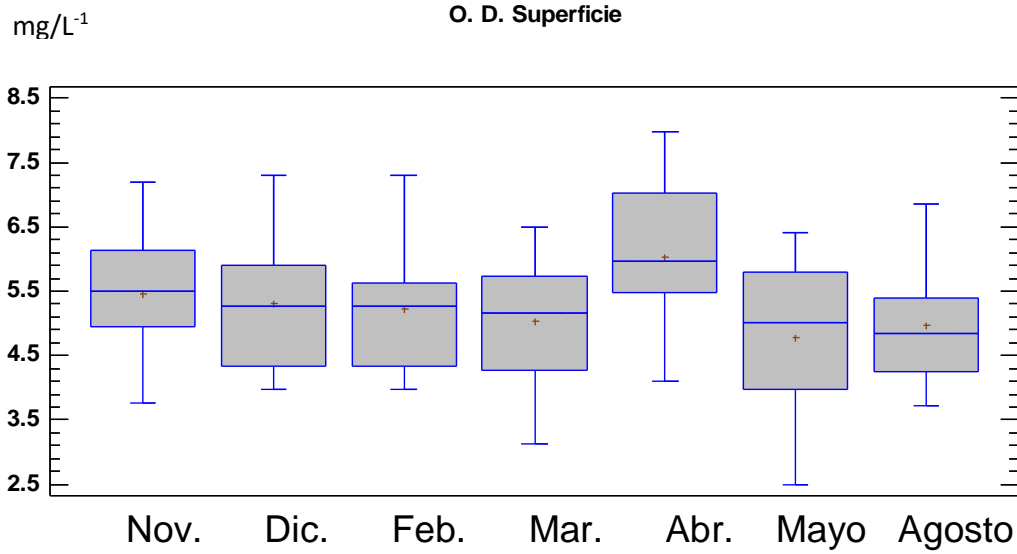


Figura 88. Diagrama de cajas múltiples para marcha de veinticuatro hrs. de O. D. en la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo, superficie.

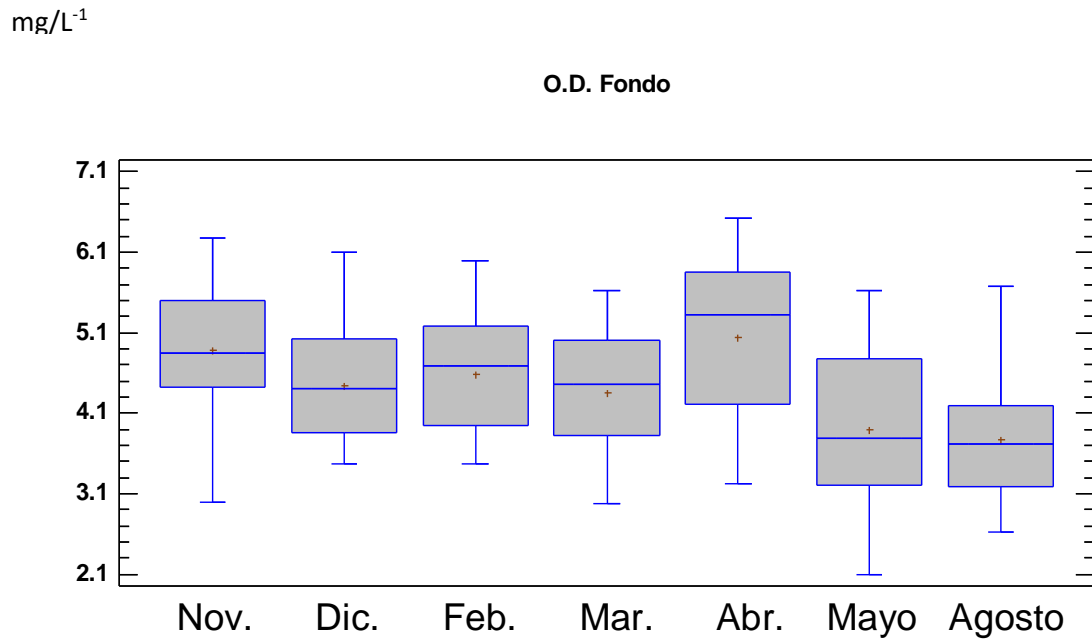


Figura 89. Diagrama de cajas múltiples para marcha de veinticuatro hrs. de O. D. en la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo, fondo.

El comportamiento entre superficie y fondo presentó un comportamiento no paramétrico ($P=0.00577021$; $P<0.05$ KW) (Figura 90), debido a la profundidad del sistema, del cual destaca la parte central de la Laguna donde la profundidad es mayor, seguido por el Río y Embarcadero, así como por la cantidad de STD en la columna de agua que disminuye significativamente la incidencia de luz a la parte más profunda de la misma.

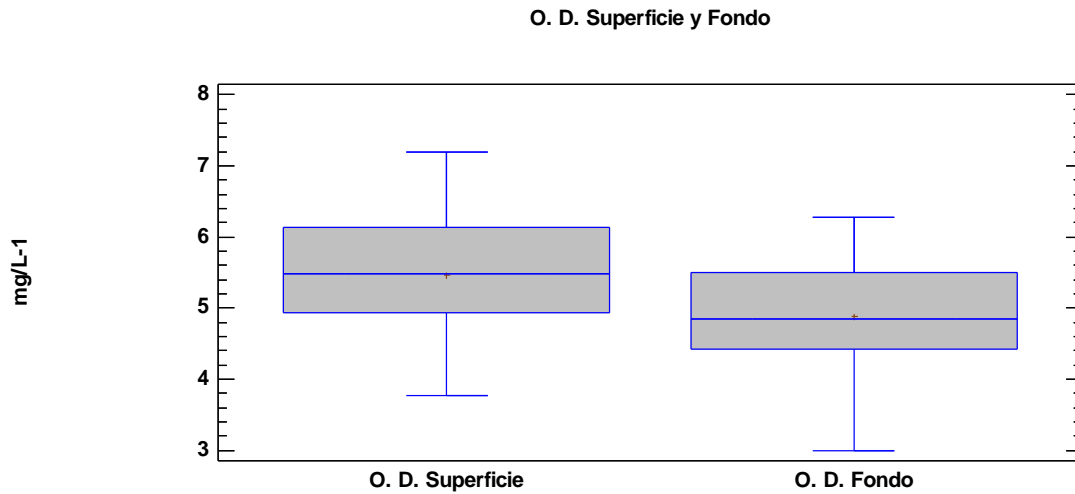
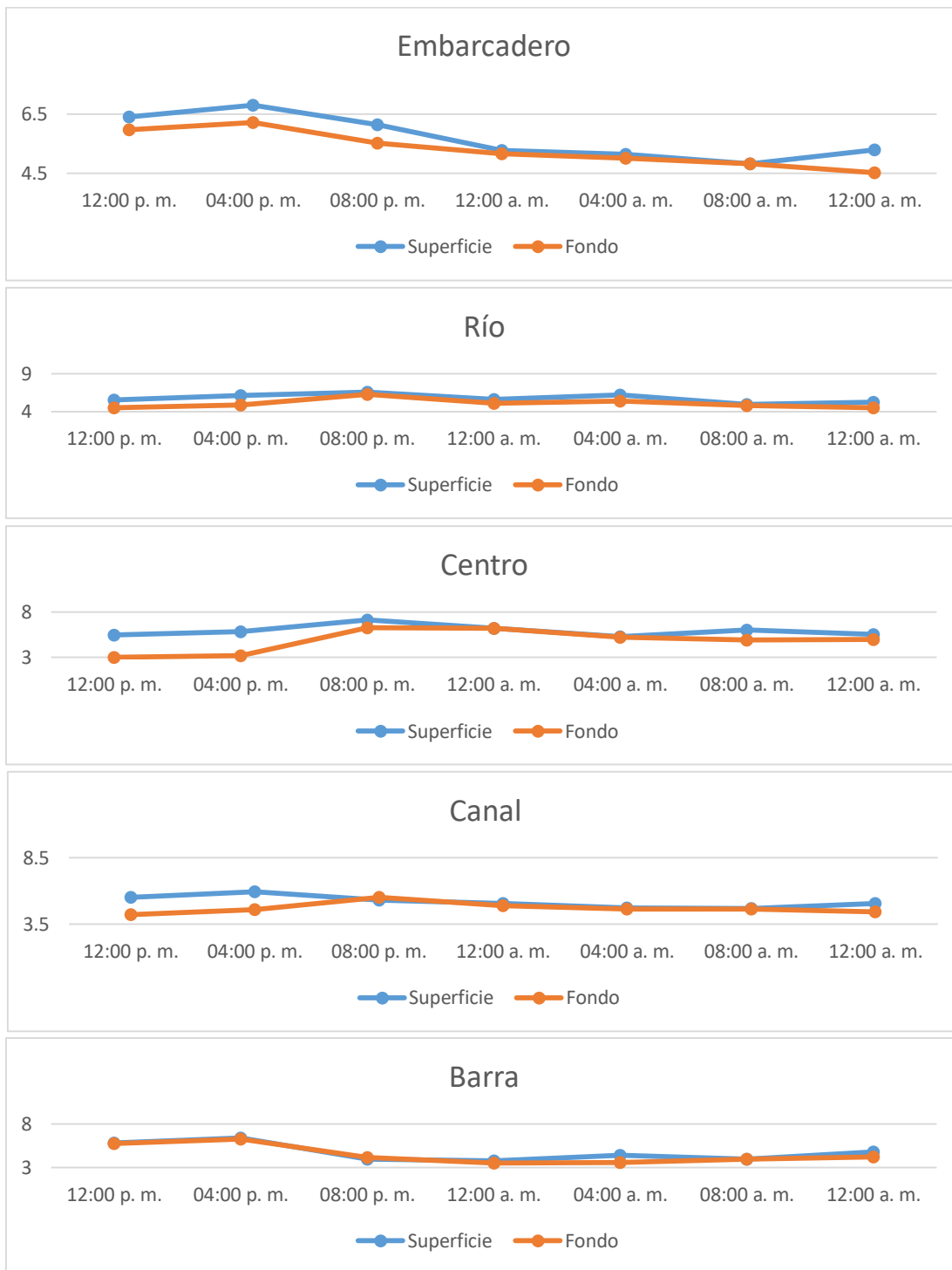


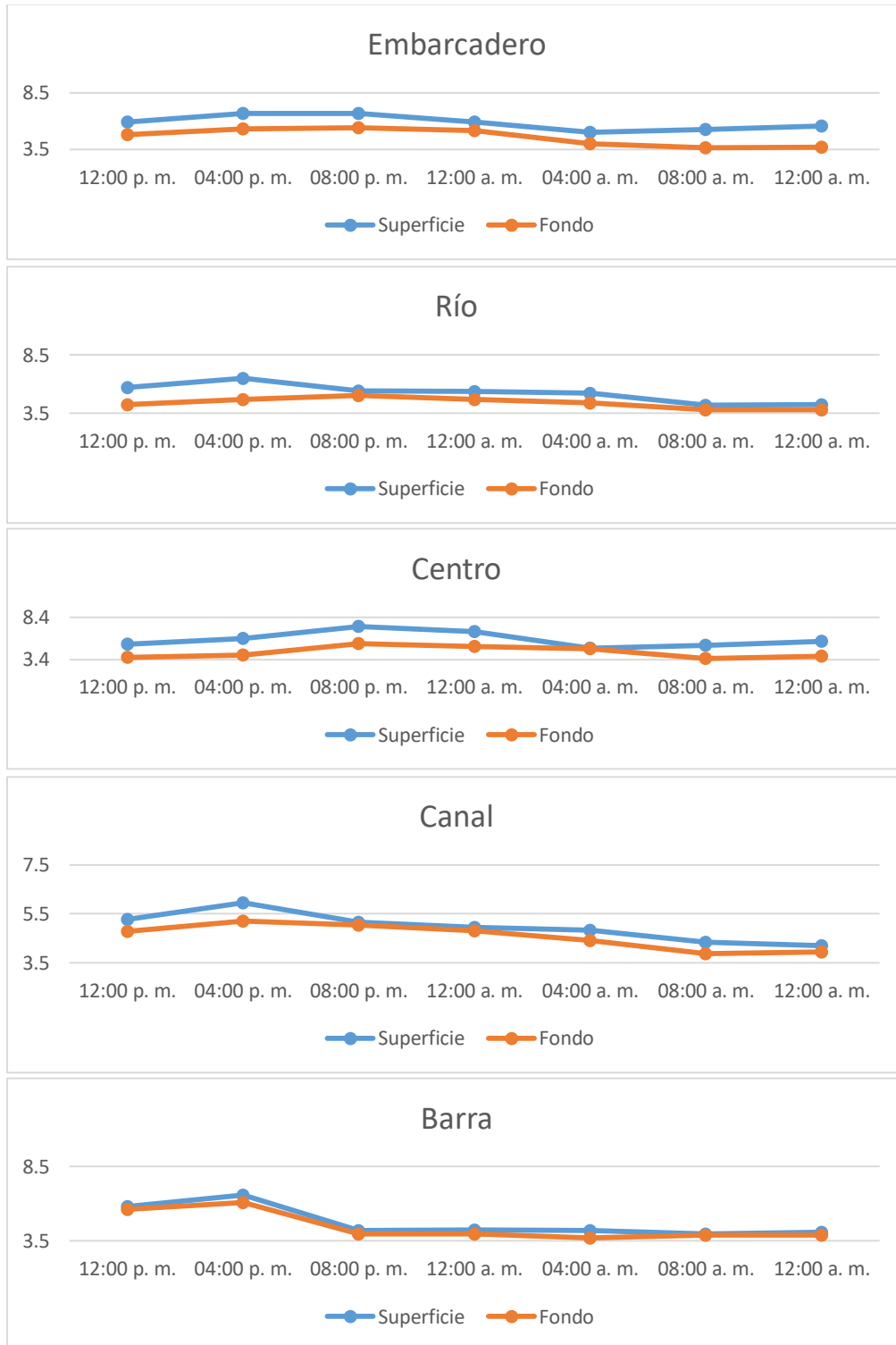
Figura 90. Diagrama de cajas múltiples para marcha de veinticuatro hrs. de O. D. en la Laguna de Coyuca de Benítez por tiempo, superficie y fondo.

Gráficas de comportamiento lineal del Oxígeno Disuelto durante un periodo de veinticuatro horas en cinco puntos de monitoreo.

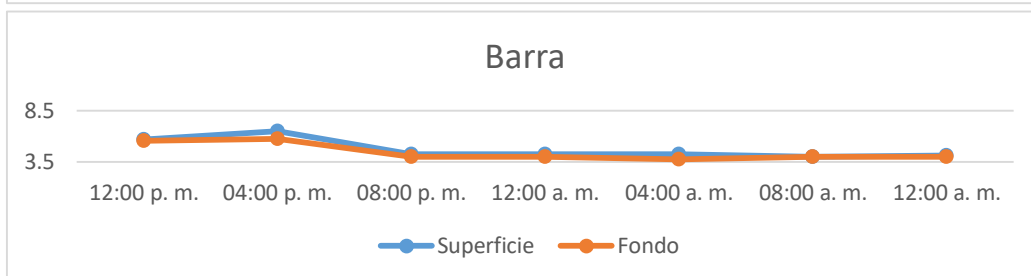
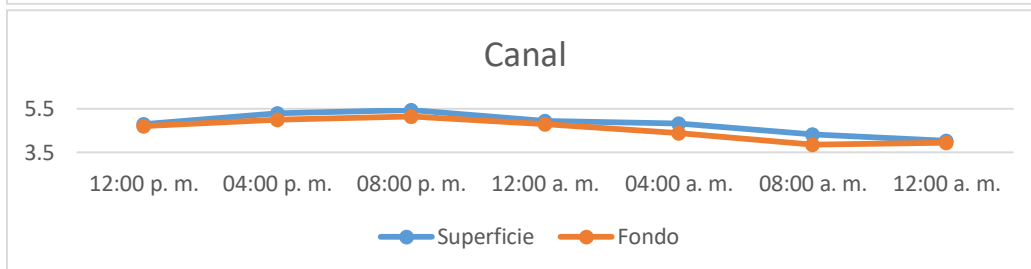
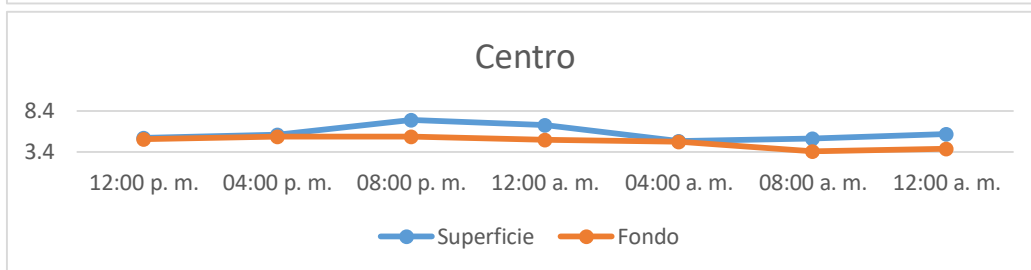
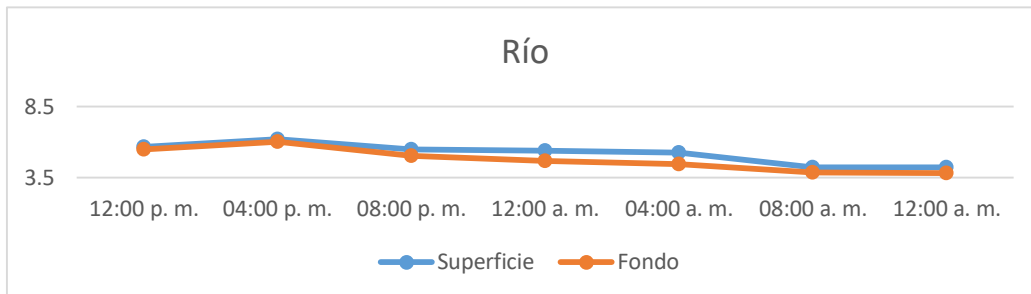
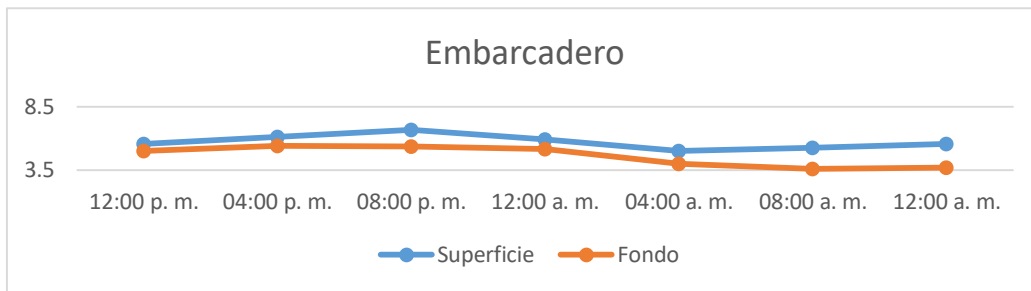
Noviembre



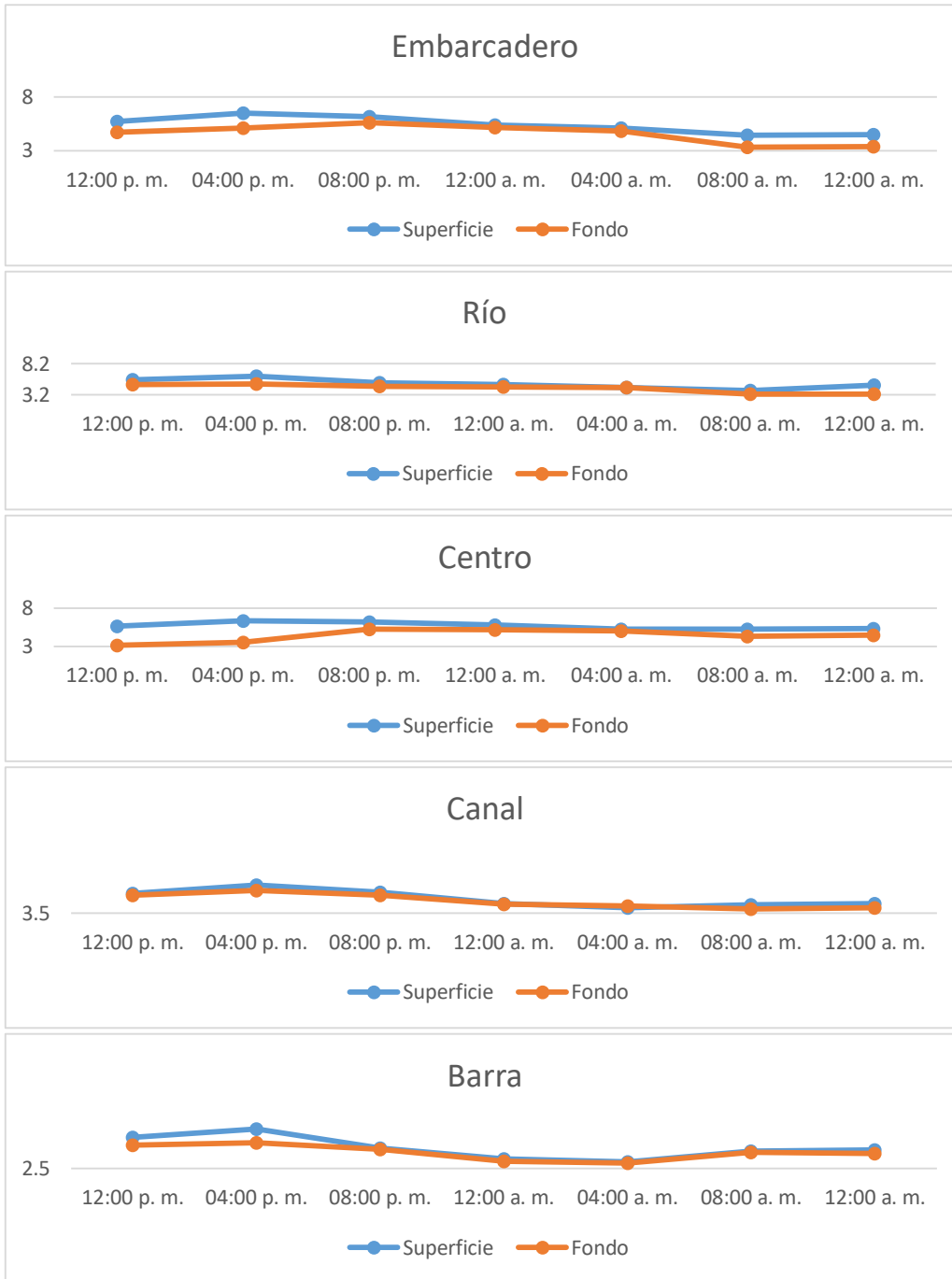
Diciembre



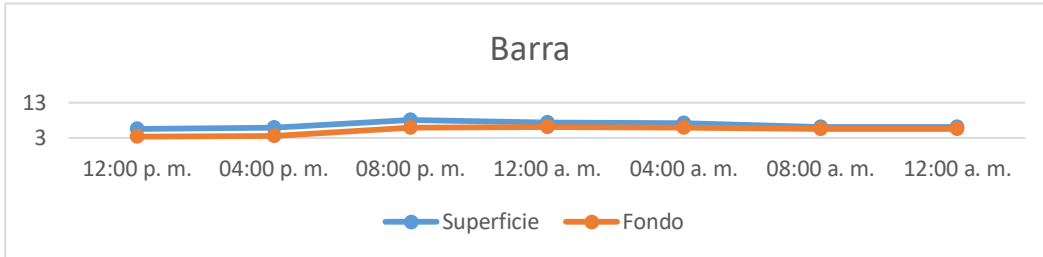
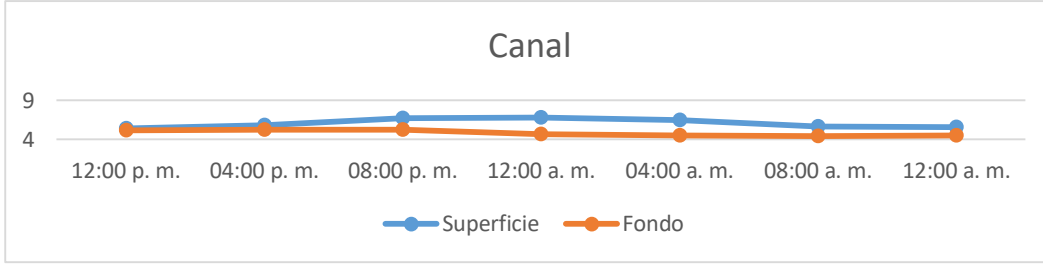
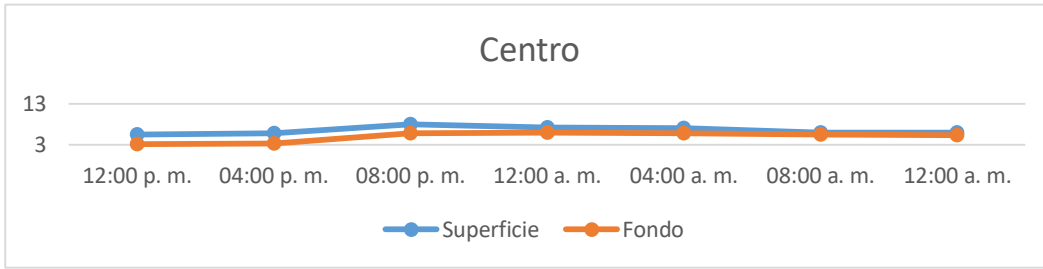
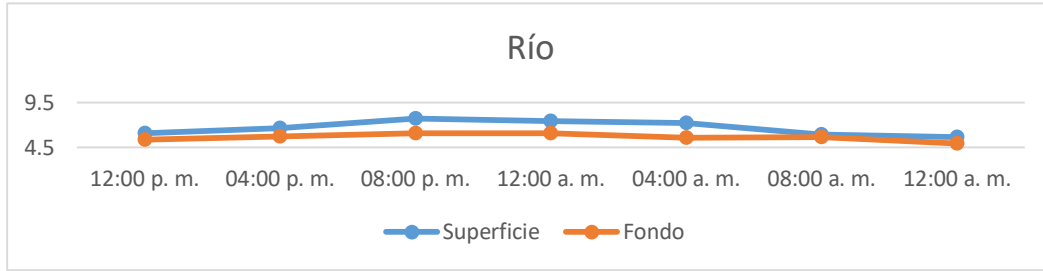
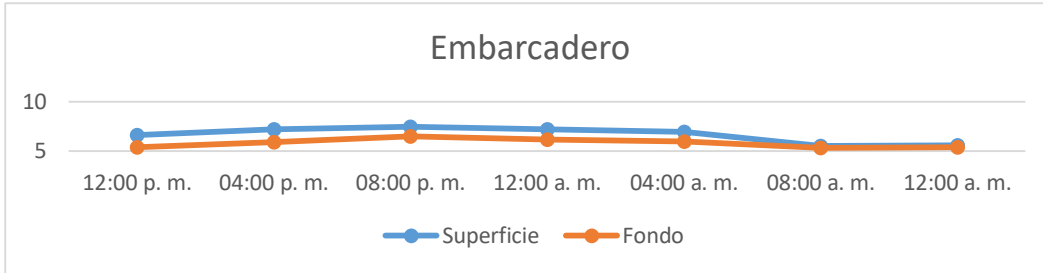
Febrero



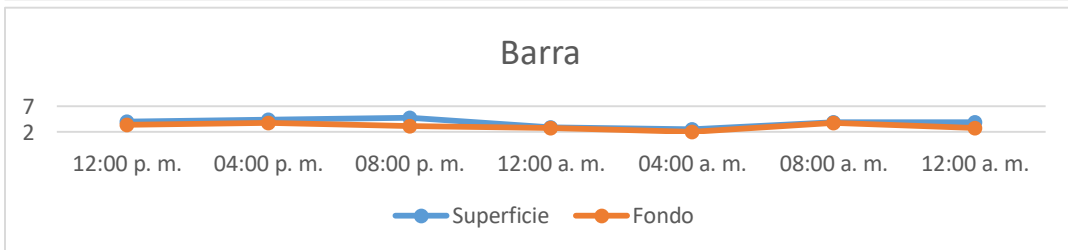
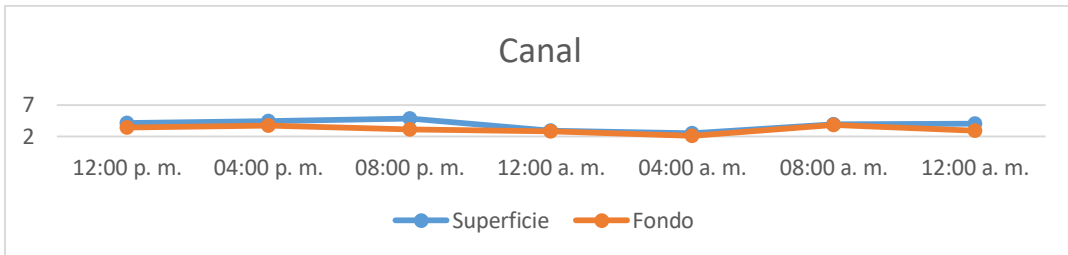
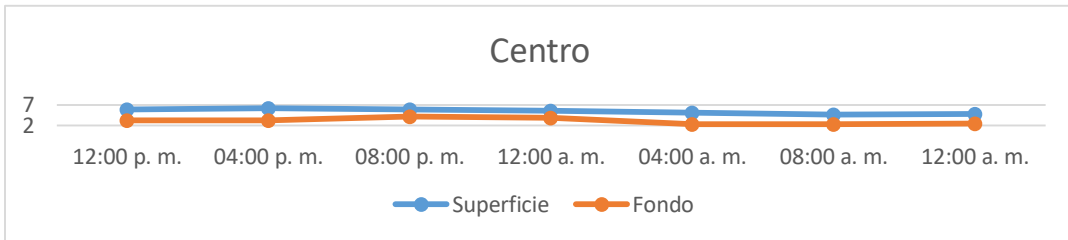
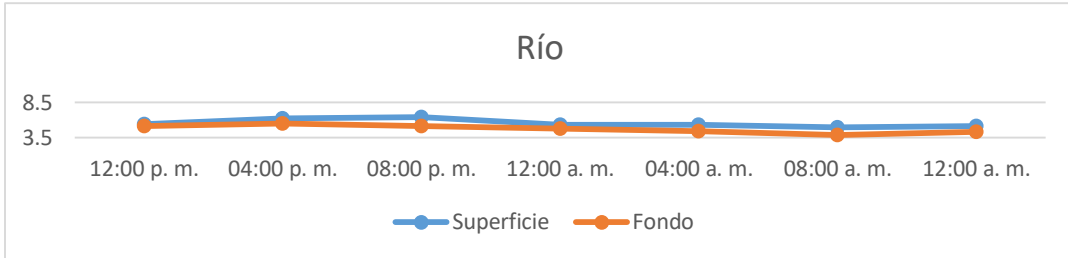
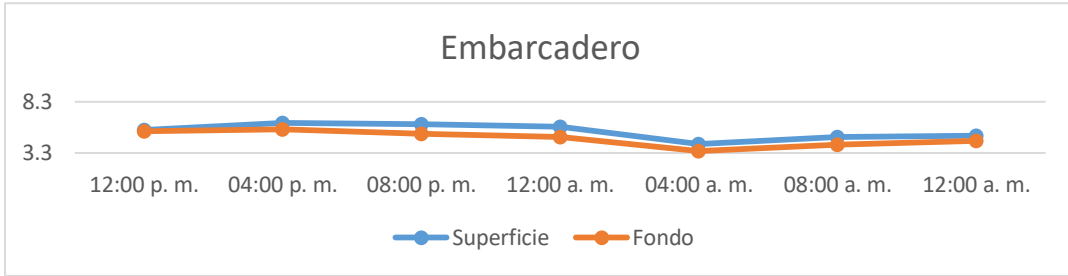
Marzo



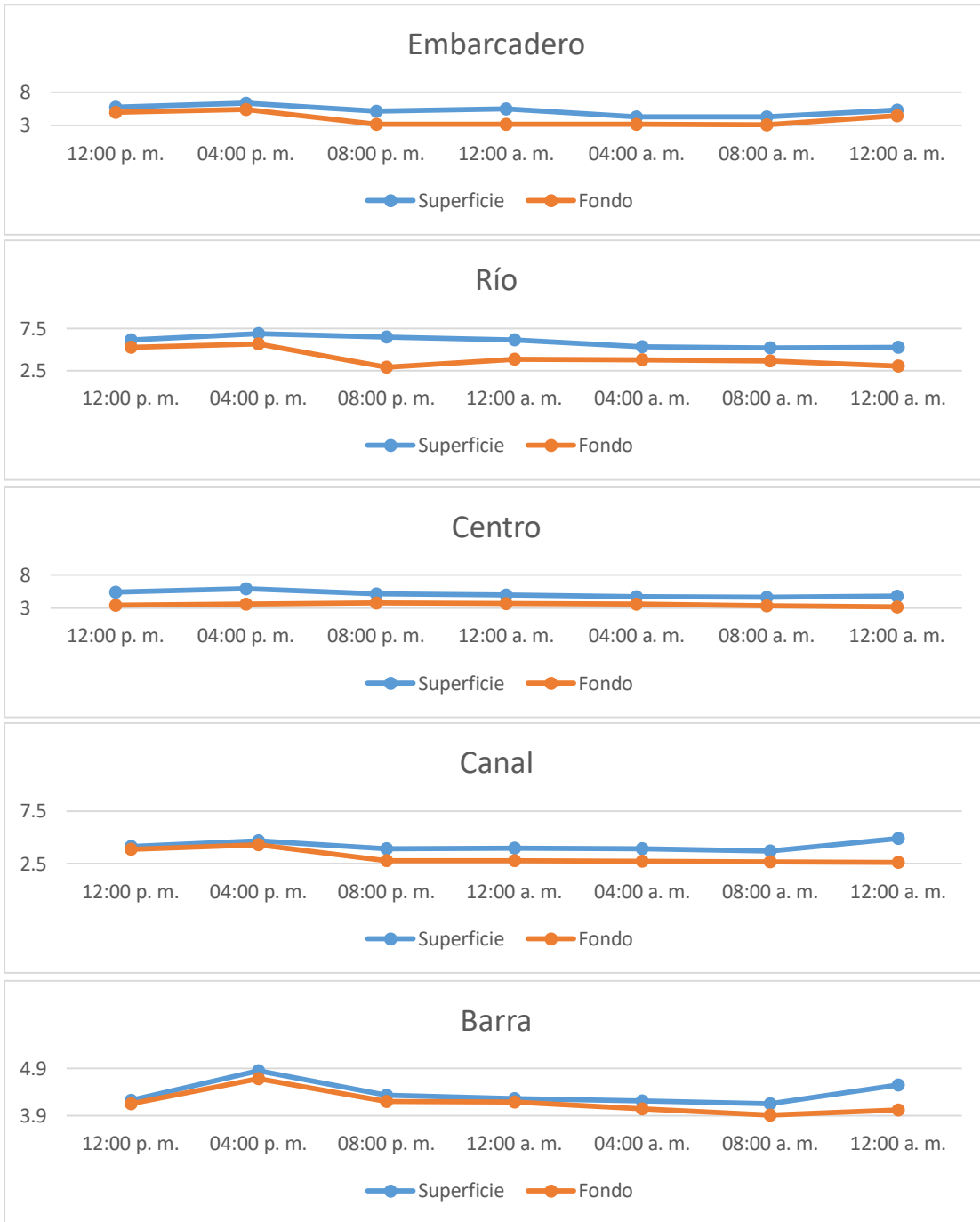
Abril



Mayo



Agosto



XII. Análisis Multivariado

Análisis de Componentes Principales (ACP)

El Análisis de Componentes Principales se utilizó para determinar cuáles fueron los parámetros que más influyeron sobre el comportamiento del sistema, se utilizaron 16 variables, obteniendo 4 componentes principales, de los cuales el componente uno obtuvo de Porcentaje de Varianza: 29.808 %, el componente dos 28.135 %, el tres 9.204 % y el cuatro 7.225 %, con un 74.371 % de porcentaje acumulado, como se observa en la tabla 5. El análisis indica que con dichos componentes, se puede explicar el comportamiento de más de la mitad de las variables evaluadas.

Análisis de Componentes Principales

Datos/Variables:

Temperatura
 Transparencia
 Profundidad
 pH
 OD
 DBO5
 DQO
 CO2
 Conductividad
 STD
 Nitritos
 Fosfatos
 Nitratos
 Amonio
 Clorofila
 Productividad

<i>Componente</i>		<i>Porcentaje de</i>	<i>Porcentaje</i>
<i>Número</i>	<i>Eigenvalor</i>	<i>Varianza</i>	<i>Acumulado</i>
1	4.76928	29.808	29.808
2	4.50155	28.135	57.943
3	1.47264	9.204	67.147
4	1.15594	7.225	74.371
5	0.922206	5.764	80.135
6	0.825172	5.157	85.292
7	0.577374	3.609	88.901
8	0.545292	3.408	92.309
9	0.377981	2.362	94.671
10	0.282016	1.763	96.434
11	0.185442	1.159	97.593
12	0.155466	0.972	98.565
13	0.098092	0.613	99.178
14	0.0759508	0.475	99.652
15	0.0314329	0.196	99.849
16	0.0241684	0.151	100.000

Tabla 5. Análisis de Componentes Principales

Para la determinación de las variables más relevantes se toma en cuenta la tabla de pesos de componentes principales (Tabla 6), en los cuales las variables y cargas de contribución por las que se encuentra representado el componente uno son DQO (0.37376), OD (0.338723), Nitritos (0.331926), DBO₅ (0.327065); las cuales nos

indican que existe un alto nivel de productividad, en relación a la cantidad de materia orgánica rica en nutrientes y de la cual se produce una alta cantidad de oxígeno disuelto debido al requerimiento significativo de oxígeno utilizado para la degradación de la materia orgánica. En el componente dos las variables principales son STD (0.402942); el cual tiene influencia directa con transparencia, conductividad (0.397782), así como la distribución de calor (Temperatura), CO₂ (-0.370447), Profundidad (0.343497) del cual depende la distribución y disponibilidad de nutrientes y gases disueltos, principalmente el oxígeno. Refutados en los componentes tres y cuatro, en donde las variables más relevantes son nutrientes y los parámetros físicos, los cuales presentan mayor influencia y correlación en la Producción Primaria en el sistema al favorecer o no la proliferación de organismos fitoplanctónicos.

Tabla de Pesos de los Componentes

	<i>Componente</i>	<i>Componente</i>	<i>Componente</i>	<i>Componente</i>
	1	2	3	4
Temperatura	0.167755	0.135233	0.361357	0.44262
Transparencia	-0.236582	-0.176887	-0.170996	0.372705
Profundidad	-0.193707	0.343497	0.150711	-0.0465458
pH	0.245208	0.328967	-0.234809	-0.0762969
OD	0.338723	-0.216263	0.056799	-0.0189788
DBO5	0.327065	-0.268547	-0.00328301	-0.0905455
DQO	0.37376	-0.0464061	-0.0510063	-0.0878614
CO2	-0.234907	-0.370447	0.198168	0.0852356
Conductividad	0.184937	0.397782	-0.140057	-0.0309746
STD	0.162074	0.402942	-0.163318	0.064111
Nitritos	0.331926	0.0101935	0.410072	0.159493
Fosfatos	0.2232	-0.0538479	0.324107	-0.454193
Nitratos	0.175385	-0.259582	-0.28714	0.0846244
Amonio	0.183685	0.0801945	0.00866956	0.618903
Clorofila	0.296209	-0.18805	0.0696285	0.0674244
Productividad	0.170156	-0.182123	-0.557098	0.0458265

Tabla 6. Tabla de Pesos de los Componentes

En la figura 91 se muestra gráficamente el comportamiento de las variables, el gráfico consta de cuatro cuadrantes numerados en contra de la manecilla del reloj (cuadrante I a cuadrante IV). En este caso las variables se ordenan conforme a la relación que guardan entre sí y su magnitud determina el grado de importancia para ambos componentes. Para este análisis de componentes principales se forman dos grupos importantes que explican el comportamiento de la Laguna. Por un lado (Cuadrante IV) del gráfico, tenemos un grupo de variables formado por nitratos, fosfatos, DQO, OD, DBO₅, Productividad y Clorofila, lo que representa claramente una elevada carga de materia orgánica debido a la disponibilidad de nutrientes, el cual es un factor determinante en la Productividad Primaria y el grado trófico de la Laguna, por otro lado en los cuadrantes I, II y III destacan las variables que representan el comportamiento fisicoquímico del sistema de los cuales destacan; temperatura, conductividad, STD, temperatura, CO₂ y profundidad

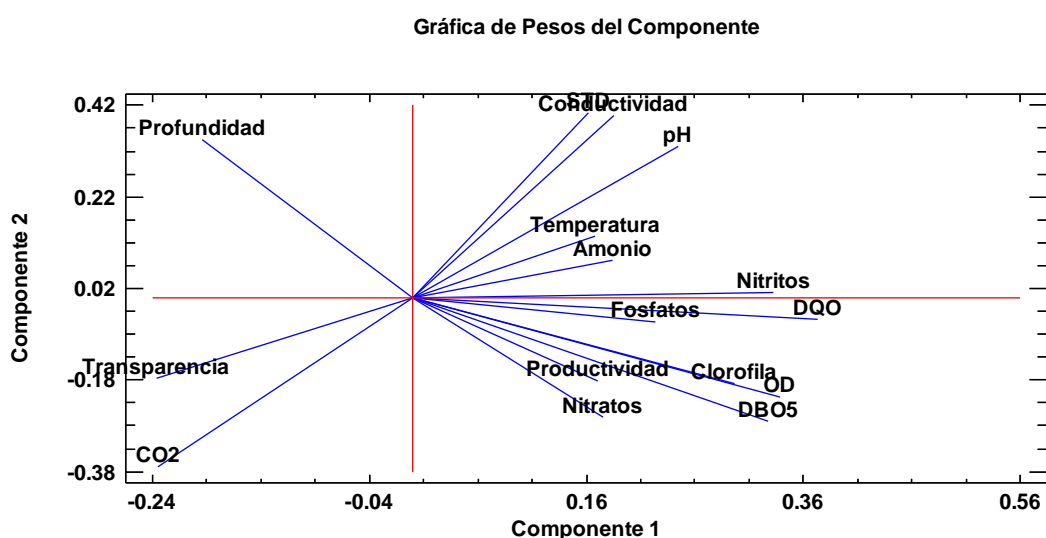


Figura 91. Análisis de Componentes Principales

Análisis de Correlación de Pearson

Con dicho análisis se muestra la relación lineal entre los dieciséis parámetros utilizados para evaluar el grado de contaminación de la Laguna, muestra variables con un mayor grado de correlación ($r \approx 1$) de las cuales se pueden destacar las siguientes (Anexo B, tabla 7).

Profundidad y DQO ($r=0.0422$): ya que la profundidad es determinante para la DQO, pues a mayor profundidad menor la degradación de materia debido a la poca incidencia de luz, además de la capacidad de dilución por lo profundo de determinados puntos.

CO₂ y DQO ($r=0.0402$): en relación con la degradación de materia orgánica y disposición de gases, los organismos autótrofos toman el bióxido de carbono

disuelto en el agua y lo reducen a compuestos orgánicos mediante el proceso fotosintético.

Conductividad Eléctrica y Temperatura ($r=0.0386$): pues la conductividad del agua depende a su vez de la temperatura, mientras más temperatura, mayor será la conductividad eléctrica, esta aumenta entre 2-3 % por un grado centígrado de temperatura del agua, por lo que muchos medidores de temperatura se estandarizan en 25 °C.

Fosfatos y Nitritos ($r=0.0423$): nutrimentos que a determinados umbrales puede causar eutrofización, ambos presentes en el ciclo de Producción Primaria, utilizados por los organismos degradadores de materia orgánica.

Tomando en cuenta la variable en la cual se enfoca el trabajo de investigación la Productividad Primaria presentó más relación con Profundidad ($r=0.0070$), DBO_5 ($r=0.0016$), DQO ($r=0.0132$), (Nitratos ($r=0.0034$) Clorofila ($r=.0300$): parámetros que son determinantes en la Productividad Primaria Fitoplanctónica, los cuales están directamente relacionados con la materia orgánica que es degradada por los organismos productores, los cuales presentan clorofila para hacer la fotosíntesis posible, en donde influye la profundidad por la relación que tiene en la incidencia de luz (Anexo B, tabla 8).

Análisis de Conglomerados

Para este análisis se utilizaron 16 variables: parámetros físicos, químicos y biológicos, en los cuales se incluyen Clorofila y Productividad Primaria. Todos evaluados en los cinco puntos de monitoreo a lo largo de la Laguna, con los valores de estos parámetros se formaron conglomerados entre los sitios de muestreo, esto a partir de la mayor cantidad de semejanzas entre el comportamiento de los parámetros.

La relación entre ellos se muestra en la figura 92, en la cual se establece cuáles son los sitios monitoreados que tienen un comportamiento semejante, otorgándoles un valor de relación el cual siendo el más cercano a cero significa más variables con un comportamiento similar. El primer conglomerado está formado por: Centro y Canal, pues su distancia que marca su relación es menor a cinco, lo que nos indica que dichos sitios presentan el comportamiento más similar, esto debido a que ambos sitios están ubicados en la zona centro de la Laguna y presentan una profundidad mayor en comparación a los demás, además de que reciben casi la misma cantidad de descargas que los otros puntos que tienen un mayor impacto. Seguido de éste, el segundo conglomerado se encuentra formado por el anterior pero además incluye al punto de la Barra, esta debido a que la cantidad de descargas recibidas proviene en su mayoría de dicho punto, relacionándolo así con la parte centro que deriva del canal meándrico. El tercer conglomerado está formado por el Embarcadero y el Río, puntos que presentan una mayor relación en la

mayoría de parámetros debido a su proximidad con el perímetro de la Laguna, presentando una menor relación con el comportamiento central de la misma, siendo estos puntos los que presentan una mayor cantidad de descargas de materia orgánica e inorgánica por actividades antropogénicas, acompañados del punto de la Barra, por lo que son los más afectados y a su vez los más contaminados.

Dendograma
Método del Vecino Más Cercano, Euclidea Cuadrada

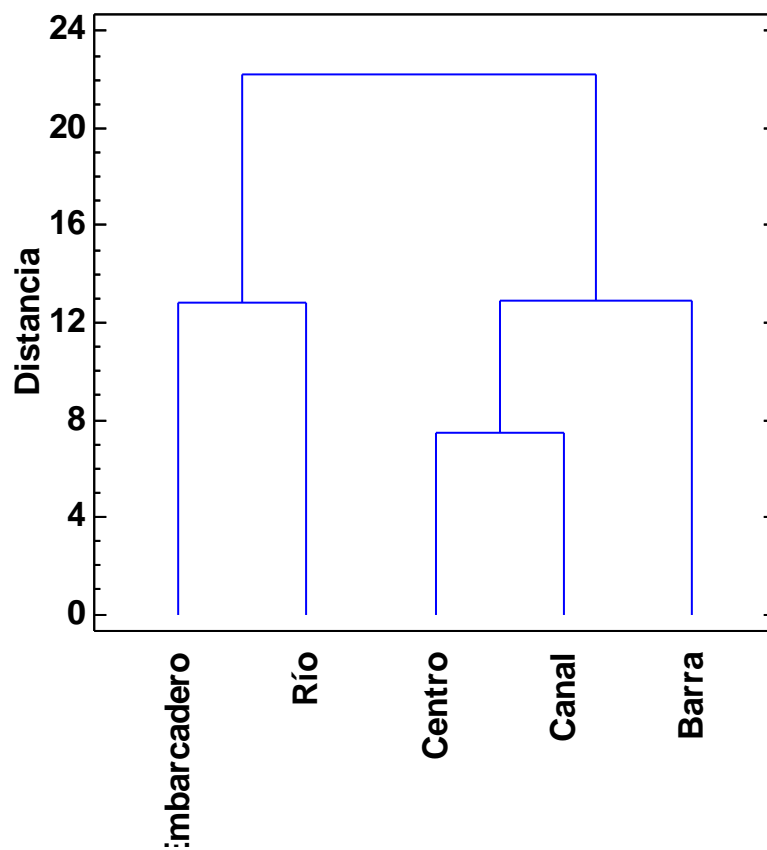


Figura 92. Análisis de Conglomerados

XIII. Conclusiones

- La Laguna de Coyuca de Benítez es un sistema oligohalino, estratificado en los puntos del Embarcadero, Río y Centro, presenta una ligera alcalinidad con una tendencia a ser ligeramente ácido en puntos cercanos a la Barra donde la Laguna entra en contacto con el agua de mar.
- Las variables físicas y químicas se encuentran fuera de los límites máximos permisibles establecidos de acuerdo a los Criterios Ecológicos para la Calidad del Agua (CE-CCA-001/89): Transparencia, STD, Nitratos, Nitritos y Fosfatos.
- El comportamiento de los parámetros físicos y químicos del sistema en promedio temporal es relativamente similar, sin embargo, éste varía de manera significativa en algunos meses, debido a las estaciones que conllevan a fenómenos meteorológicos que alteran directamente el comportamiento del cuerpo de agua.
- En la Laguna se encontró una elevada carga orgánica, lo que aumenta significativamente la disponibilidad de nutrientes: amonio, nitritos, nitratos y fosfatos, las cuales son la base de la elevada proliferación planctónica.
- Las actividades antropogénicas son las principales fuentes de aporte de materia orgánica, debido a que los puntos en los cuales los nutrientes así como algunos parámetros físicos y químicos son más elevados en puntos donde éstas se desarrollan a mayor escala, los puntos son: Embarcadero, Río y Barra.
- En la evaluación de los nutrientes, comparando los nitritos y nitratos en la tabla establecida por Esteves (1998), se determina a la Laguna como *“mesotrófica”*.
- El sistema no ha variado significativamente su comportamiento nutricional, sin embargo el aumento de la concentración de materia orgánica puede acelerar su proceso de eutrofización.
- La concentración de Clorofila *a* se encuentra a un nivel elevado en puntos de mayor aporte de materia orgánica, los cuales presentan una alta concentración de nutrientes, favoreciendo la proliferación de la misma; estos puntos tienen una actividad antropogénica significativa.

- La concentración de clorofila *a*, determina a la Laguna de Coyuca de Benítez como “*mesotrófica*” al compararla en la Tabla de estado trófico propuesta por Carlson (1997).
- La Productividad Primaria al igual que la concentración de Clorofila *a* es mayor en puntos de mayor aporte de materia orgánica, los cuales presentan una alta concentración de nutrimentos, afectados por la actividad antropogénica.
- La Productividad Primaria determina a la Laguna de Coyuca de Benítez como “*mesotrófica*” al compararla en la Tabla de estado trófico propuesta por Boulion y Hakanson (2003).
- Tomando en cuenta lo anterior, se establece a la Laguna de Coyuca de Benítez como “*mesotrófica*” con una ligera tendencia a la “eutrofia” debido a que en los parámetros evaluados a pesar de no rebasar los niveles de este grado trófico todos se encuentran en el límite, lo que puede llegar a sobrepasarlo con el continuo aporte orgánico debido a la creciente actividad antropogénica.

XIV. Recomendaciones

Es necesario complementar éste análisis con evaluaciones de bacterias patógenas (coliformes totales, fecales y *Escherichia coli*) puesto a que estos organismos afectan directamente a la salud al ser causantes de enfermedades infecciosas para el ser humano.

Se recomienda un monitoreo permanente en la Laguna para los parámetros físicos y químicos, ya que se establece que este sistema presenta características mesotróficas, con una cierta tendencia hacia la eutrofia, así como de los nutrimentos, pues si estos se ven afectados de manera significativa puede alterar el ciclo del nitrógeno en la columna de agua, provocando que la cadena y pirámide trófica se vean afectados de manera permanente.

De igual manera es recomendable realizar los estudios efectuados en este trabajo para los cuerpos de agua aledaños para establecer una potencial relación entre estos y ver cómo se ven afectados por las actividades económicas, turísticas y asentamientos a lo largo de la costa.

Por último es vital considerar técnicas de tratamiento de aguas mediante organismos biológicos preferentemente en efluentes que abastecen a la Laguna de Coyuca de Benítez; una opción recomendada es la implementación de humedales artificiales.

XV. Bibliografía

- Alegria, W. (2016). *Texto básico para profesional en ingeniería forestal en el área de fisiología vegetal*. Iquitos: FCF-UNAP.
- Álvarez S.C., Torres A. (2013.) Composición y abundancia del zooplancton de la Laguna de Coyuca, Guerrero, México. *Hidrobiología* 23 (2): 241 – 249.
- Aguirre G. R. (2001). Caracterización óptica de la laguna costera de Coyuca de Benítez. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía. UNAM* 46: 78 – 97 p.
- Antonio Aznar Jiménez. (2000). DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE CALIDAD DE LAS AGUAS. Instituto Tecnológico de Química y Materiales “Álvaro Alonso Barba”. Universidad Carlos III. Avd. de la Universidad 30. 28911-Leganés. Madrid
- A.P.H.A. (1996). *En standard methods for the examination of water and waste water*. 17th Edition. Ed. American Public Health Association. New York
- Aranda-Cirerol, N. (2001). Alimentando al mundo, envenenando al planeta: eutrofización y calidad del agua. *Avance y Perspectiva* 20: 293-303.
- Arce M., (1994). Contaminación de nitratos en aguas superficiales y subterráneas. Efectos sobre el medio natural y medidas correctoras. Universidad Politécnica de Madrid. 38-42 pp.
- Arredondo Figueroa J.L. (1986). Breve descripción de los criterios y técnicas para el manejo de la calidad del agua en estanques de piscicultura intensiva. Secretaria de Pesca, Dirección General de Acuicultura. 182 p. (ISBN9688170577).
- Arocena, R., & Conde, D. (1999). *Métodos en Ecología Acuática Continental. Con ejemplos en Limnología en Uruguay*, 233pp. Facultad de Ciencias, Montevideo.
- ASCLME. (2012). *National Marine Ecosystem Diagnostic Analysis. Mozambique*. 64 p.
- Askew Ew. (1996). *Water*. Cap. 10. pp. 98. En: Ziegler EE, Filer LJ (ed) ILSI.
- Aznar, J. (2000). Determinación de los parámetros físicos-químicos de calidad de las aguas. *Revista Interdisciplinaria de Gestión Ambiental*, 2 (23), 13 -16.
- Ball P. (2008). Water as an active constituent in cell biology. *Chem Rev*; 108(1):74-108.
- Brennes R, Rojas. (2005). El agua: sus propiedades y su importancia biológica. *Acta academica*.
- Brianh. (1962). *How to Survive in the bush, on the coast, in the mountains of New Zealand*. Wellington, Government Printer.

- Bossingham M.J., CARNELL NS, CAMPBELL WW. (2005). Water balance, hydration status, and fat-free mass hydration in younger and older adults. *Am J Clin Nutr*; 81(6):1342-50.
- Cannon Wb. (1943). Biographical Memoir of LJ Henderson. 1878- 1942. National Academy of Sciences. Vol. XXIII.
- CAI, W. J.; Xinping Hu , Wei-Jen Huang , Michael C. Murrell , John C. Lehrter , Steven E. Lohrenz , Wen-Chen Chou , Weidong Zhai , James T. Hollibaugh , Yongchen Wang , Pingsan Zhao , Xianghui Guo, Kjell Gundersen , Minhan Dai and Gwo-Ching Gong. (2011). "Acidification of subsurface coastal waters enhanced by eutrophication". *Nature Geoscience*. DOI:10.1038/NCEO1297
- Carbajal A, GONZÁLEZ M. (2003). Funciones biológicas del agua en relación con sus características físicas y químicas. En: «Agua. El arte del buen comer». pp: 249-256. Academia Española de Gastronomía. Barcelona.
- Carbajal P. J. L., Chavira M. D. (1985). *La contaminación en los sistemas lagunar – estuarino de las costas mexicanas*. Elementos, 10 (2), 58 – 64.
- Carlos-Rivera., Ángela-Zapata-A., Gabriel-Pinilla, Jhon-Donato, Beatriz-Chaparro, Paola-Jiménez, (2005), COMPARACIÓN DE LA ESTIMACIÓN DE LA CLOROFILA-A MEDIANTE LOS MÉTODOS ESPECTROFOTOMÉTRICO Y FLUOROMÉTRICO, *Acta Biológica Colombiana*, Departamento de Biología, Unidad de Ecología y Sistemática, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá. Corporación Autónoma y Regional de Cundinamarca. 96 p.
- Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* 22: 361-369.
- Chapman, D. (1992). *Water quality assessments*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, World Health Organization, United Nations Environment Programme, E & FN Spon, Londres.
- Chen, M., schliep, M., Willows, R., Zheng-Li, Cai, Neilan, B., & Scheer, H. (2010). A Red-Shifted Chlorophyll. *Science*. Vol. 329, Issue 5997, pp. 1318-1319.
- CNA. (2005) *Estadísticas del Agua en México, Síntesis*. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. ISBN 968-817-561-7
- CONAGUA. (2015). *Contaminación acuática*. Recuperado <http://www.gob.mx/Conagua>.
- Confederación hidrográfica del Ebro, Eduardo Vicente, Caridad de Hoyos, Pedro Sánchez, Jaime Cambra. (2005). "Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la directiva MARCO del agua, protocolos de muestreo y análisis para fitoplancton", Ministerio de medio ambiente, URS, Zaragoza, 9 p.

- Contreras, F., Castañeda, L., García, N., (1993). La clorofila a como base para un índice trófico en las Lagunas Costeras Mexicanas. Análisis del instituto del mar y limnología. UNAM.
- Contreras, F., Castañeda, L., Barbará-Macías, E., & Pérez, H. (2002). Caracterización e importancia de las Lagunas Costeras. En IPN/U. Ver. (Ed.), La Pesca en Veracruz y sus perspectivas de desarrollo (p. 31-40). Veracruz, México: U. Veracruzana.
- Contreras E., O.-Castañeda L., R.Torres-Alvarado y F.-Gutiérrez-M., (1996), Nutrientes en 39 lagunas costeras mexicanas, Rev. BioL Trop., 44(2): 417-425, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.Depto. de Hidrobiología. Apdo. Postal 55-532. c.P. 09340., México, D.F.
- Cruz, P. (2013). *Calidad del Agua en la Laguna de Coyuca de Guerrero y Geovisualización de los paisajes Asociados*. Tesis de licenciatura publicada, UNAM, Distrito Federal, México.
- Davila Z., J. J., (1987). Distribución y abundancia de comunidades fitoplanctónicas en la laguna Coyuca de Benítez, Guerrero.Res. VII Cong. Nal. Oceanog. 183.
- Delgadillo C.E.A. (1986). Evaluación de la materia orgánica particulada en la laguna de Coyuca de Benitez, Gro. Durante el ciclo otoño 1983 – verano – 1984 y su relación con percepción remota. Tesis profesional. Fac. Cienc. UNAM. 82 p.
- De la Lanza, E. G. (1990). Algunos conceptos sobre hidrobiología y calidad del agua. La acuicultura en México: de los conceptos a la producción. México (DF): Instituto de Biología, 181-199.
- De la Lanza E., (2004). Gran escenario de la zona costera y oceánica de México, En: *Ciencias* 76: 4-13.
- Drijver, C.A., y M. Marchand. (1985). *TamingtheFloods: Environmental Asocets of Flood plain Development in Africa*, Leiden, Países Bajos: Centro de Estudios ambientales.
- Esteves Jeppsen. (1998). The ecology of shallow lakes. Tropich interactions in the pelagial. Doctor's dissertation (Dsc) Silkeborg.
- Ferrera, G., Centéllanos, P., & Garza, M. (2007). Variation of benthic heterophic bacteria community with different respiratory metabolism in Coyuca de Bénitez Coastal Lagoon, (Guerrero, México). *Revista Bioloía Tropical*. 55 (1), 157-169.
- Fonseca R.M., Lozada P. L. (1993). No. 1. Laguna de Coyuca. Estudios florísticos en Guerrero. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Francisco Contreras E., (1994), Manual de técnicas hidrológicas, editorial Trillas S. A. de C. V., México, 65, 99p.

- Francisco-Contreras, (1985). Las Lagunas Costeras Mexicanas, Centro de Ecodesarrollo, SEPESCA, D.F.253 p.
- Francisco-Contreras-E., O.-Castañeda L., R.Torres-Alvarado y F.-Gutiérrez-M., (1996), Nutrientes en 39 lagunas costeras mexicanas, Rev. BioL Trop., 44(2): 417-425, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.Depto. de Hidrobiología. Apdo. Postal 55-532. c.P. 09340., México, D.F.
- Fullerton G.D. (2007). Cameron IL. Water Compartments in Cells. Methods in Enzymology. 428:1-28.
- Gaarder, T. y H. H. Gan, Rapp Cons. Explor. Mer. (1927). Investigations of the production of planckton in the Islo Fjord. 24-29.
- García M.E. (1988). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Offset Larios. 4ª edición. México, 153 p.
- García M.E. (1988). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Offset Larios. 4ª edición. México, 153 p.
- Gómez, J. (2011). *Manual de Análisis de aguas naturales y su aplicación a Microescala*. FES-Zaragoza, UNAM, México, p. 86.
- Gómez M.J.L., Blancas A.G., Constanzo C.E., Cervantes S. E. (2014). *Análisis de calidad de aguas naturales y residuales con aplicación a la microescala*. Primera edición. UNAM, Fes Zaragoza, México.
- Gómez, R. A. (2001). Caracterización Óptica de la Laguna Costera de Coyuca de Benítez. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, 46, pp.78-97.
- González de Infante, A. (1988). El plancton de las aguas continentales. O. E. A. Monografía No 33. Serie Biología. Washington DC 130 p.
- Gonzalez, F., Zoppi de Roa, E., y Montiel, E. (2006). Productividad primaria del fitoplancton en la bahía de Mochima, Venezuela. *Investigación Marina*, 34, 37-45.
- Google Earth, consulta en 25/08/2016
- GRANDJEAN AC, REIMERS KJ, BUYCKX ME. (2003). Hydration: issues for the 21st century. Nutr Rev.; 61(8):261-71
- GRAY, N.F. (1996). Calidad del agua potable. Ed. Acribia. S:A. Zaragoza. Pp 365
- Gregor J. (2004). Freshwater Phytoplankton Quantification by Chlorophyll a: A Comparative Study of in vitro, in vivo and in situ Methods. Water Res.;38 : 517-522.
- Guillermo A. Blancas Arroyo Ernesto Constanzo Casillas Armando Cervantes Sandoval José Luis Gómez Márquez, (2011), Manual de análisis de aguas naturales y su aplicación a la microescala, UNIVERSIDAD NACIONAL

AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA CARRERA DE BIOLOGÍA, PAPIME PE200810.

- Guzmán A. M. S., Mañon O., Ortiz M.A. (1986). Afinidad limnológica del sistema lagunar costero del estado de Guerrero, México. Bol. Inst. Geog. UNAM 16: 61 – 76 p.
- Hugo Fernández P., Lawrence D. (1978). Mee. Técnica para la determinación de la producción orgánica primaria en aguas de alta turbidez: Nota Científica. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro del Mar y Limnología. UNESCO/PNUD/MEXICO. Contribución 183 del Centro de Mar y Limnología, UNAM.
- Inapesca, (2004). Carta nacional pesquera 2004. Ecosistemas lagunares costeros (en línea), Diario oficial de la federación, quinta sección.
- INE-SEMARNAT. (2000). La calidad del agua en los ecosistemas costeros de México 1°. México. p. 16-36.
- INEGI, (2010). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. México.
- JUSTIC, D. RABALAIS, N. N., TURNER, R. E. (2005). "Coupling between climate variability and coastal eutrophication, evidence and outlook for the northern Gulf of Mexico". Journal of Sea Research., Vol. 54, p. 25-35.
- Klimek R., (1988). The hydrochemistry, productivity and sea water interaction of three coastal tropical lagoons in the south of Mexico. (Hidroquímica, productividad e interacción del agua de mar en tres lagunas costeras tropicales en el sur de México. *Res. Joint Oceanography Assembly*. 53.
- Kraemer A. R, Choudhury K. y E. Kampa, (2001). *Protecting Water Resources: Pollution Prevention*, Thematic Background Paper – International Conference on Freshwater Bonn 2001, Secretariat of the International Conference on Freshwater Bonn 2001 (Ed) Bonn, 2001, ([http://: www.water-2001.de](http://www.water-2001.de))
- Lankford R.R., (1976). Coastal lagoons of Mexico: their origin and classification, in: Estuarine Processes, Volume II, M. Wiley (editor), Academic Press, New York, N.Y., 182-215.
- Lara J. R., (2005). Distribución de clorofila y producción primaria por clases de tamaño en la costa del Pacífico mexicano, *Ciencias Marinas* (2005), 31(1A): 11–21
- López A., F. J. B., (1986). Caracterización hidrológica para evaluar la calidad de la laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero, durante el ciclo anual otoño de 1983 - verano de 1984 y la aplicación de técnicas de recepción remota. Tesis profesional. Fac. Ciencias. UNAM. 79 p.
- JUSTIC, D. , RABALAIS, N. N., TURNER, R. E. (2005). "Coupling between climate variability and coastal eutrophication, evidence and outlook for the northern Gulf of Mexico". Journal of Sea Research. Vol. 54, p. 25-35.

- Manchado A. A., Castillo M. 2009. *La importancia de las lagunas costeras*. Acta Biológica Venezolana. Vol. 29 (1-2)
- MANN KH & JRN LAZIER (1991) Dynamics of marine ecosystems. Blackwell Scientific Publications, Inc., Oxford.
- Margalef R., (1984) Facts about life and the environment not to forget in preparing schoolbooks for our grandchildren. In: Trends in ecological research.
- Marra, J. (2002). Approaches to the measurements of plankton production. En: P. J. le B. Williams, D. N. Thomas & C. S. Reynolds (eds.). Phytoplankton productivity: carbon assimilation in marine and freshwater ecosystems. Blackwell Science, New York, pp. 78-108.
- Martínez R, Rodríguez J, Sánchez L. (2007). Química, un proyecto de la American Chemical Society, Ed. Reverte.
- MELESSE, A. M., KRISHNASWAMY, J. ZHANG, K. (2008). "Modeling coastal eutrophication at Florida Bay using neural networks". Journal of Coastal Research. Vol. 24, p. 190-196.
- Mendoza, M., Martínez, A., Espinoza, M., Peralta, O., & Castro, T. (2013). Caracterización de dos Lagunas Costeras del Pacífico Tropical Mexicano en la relación con el contenido de carbono y la captura y emisión de CH₄ y CO₂. *Revista de Comunicación Ambiental*, 29 (2). 145-154.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2000). *Guía para la elaboración de estudios del medio físico, contenido y metodología*. Ministerio del Medio Ambiente, Madrid, Centro de Publicaciones.
- Monreal, P. A. (1991). Evaluación de la concentración de la clorofila a fitoplanctónica estacional en la laguna de Coyuca de Benítez. Guerrero, utilizando técnicas hidrobiológicas y de percepción remota. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 175 pp.
- Montecino, V. (2001). Alometría y biodiversidad en fitoplancton en relación con la productividad primaria en ecosistemas pelágicos. En: K. Alveal & T. Antezana (eds.). Sustentabilidad de la biodiversidad, un problema actual, bases científico-técnicas, teorizaciones y proyecciones. Universidad de Concepción, Concepción, pp. 199-215
- Morales L. G., (2010). Evaluación de la calidad del agua en el río Magdalena, D.F. como servicio Ecosistémico. México, D.F
- NMX-AA-029-SCFI-2001. Análisis de Aguas – Determinación de fosforo total en aguas naturales y Residuales – Residuales Tratadas - Métodos De Prueba (Cancela a la NMX-AA-079-1986). P-1.
- NMX-AA-079-SCFI-2001. Análisis De Aguas - Determinación De Nitritos En Aguas Naturales, Potables y Residuales – Residuales Tratadas - Métodos De Prueba (Cancela a la NMX-AA-079-1986). p-1

- Northwest Pacific Action Plan Special Monitoring and Coastal Environmental Assessment Regional Activity Centre (NPAPSM&CEARAC). (2007). Disponible en línea: <http://cearac.nowpap.org/>.
- Nota de los editores. (1983). Las lagunas costeras. Ciencias 3, enero-marzo, 46-47. [En línea].
- Nixon, S. W. (1995). "Coastal marine eutrophication, a definition, social causes, and future concerns". Ophelia., Vol. 41, p. 199-219.
- Oliva M., (2014). Biodiversidad del fitoplancton de aguas continentales en México. Revista Mexicana de Biodiversidad, Supl. 85: S54-S61. México, D. F., México
- Pardo, F., Marañón, E. (1997). Contaminación química de las aguas. En: Contaminación e Ingeniería Ambiental. (Ed) FICYT, Oviedo, III. 6, pp 154 – 188.
- Peña Salamanca E.P., Palacios Peñaranda M.L., Ospina Álvarez N. (2005). *Algas como indicadoras de contaminación*. Universidad del Valle. Colombia. 51-71 p.
- Pérez Z., A. M., 1986. Productividad primaria fitoplanctónica de la laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero, en el periodo verano 1983-1984 y su posible detección por percepción remota. Tesis profesional. Fac. Ciencias. UNAM. 100 p.
- Pinto A, Von Sperling E, Moreira R. (2001). Chlorophyll-a Determination Vía Continuous Measurement of Plankton Fluorescence: Methodology Development. Water Res; 35(16):3977-3981.
- PRAT, N., RIERADEVALL, M., MUNNÉ, A. (1999). La qualitat ecológica del Llobregat, el Besos i el Foix. Informe 1997. Diputació de Barcelona, pp 154.
- Pritchard D.W., (1955). Estuarine circulation patterns, Journal of the Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Tech. Paper 717, 81: 1-11. Pritchard D.W., 1959. The movement and mixing of contaminants in tidal estuaries, in: Waste Disposal in the Marine Environment, Chesapeake Bay Institute, Contribution # 46, Pergamon Press, New York, N.Y., 512-525.
- Pritchard D.W., (1967). What is an estuary?: physical viewpoint, in: Estuaries, G.S. Lauff (editor), American Association for the Advancement of Science, Pub. # 3, Washington, D.C., 3-5.
- POET. (2009). Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial del Municipio de Coyuca de Benítez, Guerrero. Gobierno Municipal Constitucional de Coyuca de Benítez: <http://www.guerrero.gob.mx/?P=readart&ArtOrder =ReadArt&Article=11307>

- Portal Oficial del Gobierno del Estado de Guerrero (POGEG), Coyuca de Benítez, (2015), <http://www.coyucadebenitez.guerrero.gob.mx/>
- Rabalais, N. N., Turner, R. E., Diaz R. J., Justic, D. (2009). Global change and eutrophication of coastal waters. International Council for the Exploration of the Sea. Published by Oxford Journals. Vol. 66, p. 1528-1537.
- Ramírez Espíndola (1988). Laguna de Coyuca de Benítez, guerrero un sistema de Estudio integrado. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México. D.F, 67pp.
- Rigola L. M. (1990). *Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales*. Primera edición. Editorial Alfaomega. Barcelona, p. 160.
- Rivera C., Zapata A., Pinilla A., Donato J., Chaparro B., Jiménez P. (2005). Comparación de la estimación de la clorofila-a mediante los métodos espectrofotométrico y fluorométrico. Acta Biológica Colombiana, Vol. 10 No. 2, 95.
- Robinzon J. Water. (2002). Electrolytes and acid-base balance. En: Essentials of Human Nutrition. Mann J, Truswell S (eds). pp. 113-128. Oxford University Press.
- Román C. R., Rocha R. A., Cházaro O. S. (2007). Efectos del huracán “Pauline” (1997) sobre la fauna asociada a la planta *Eichhornia crassipes* en la Laguna Coyuca, Pacífico Sur de México. UNAM.
- Romero R. J. A., (1999). Calidad del agua, 2da edición. Alfaomega, grupo editor S.A. de C.V., México, D.F.
- Ryther, J. H. (1956). Photosynthesis in the ocean as a function of light intensity. Limnol. Oceanogr. 1:61-70.
- SANCHO J. (2007). Agua es Vida. Rev Real Academia de las Ciencias; 62:65-74.
- Sandoval-Rojó. L.F., Flores-Verdugo, U. Saragoza-Araujo, J.W. Day, y A. Estrada-Mercado. (1988). Phytoplankton Productivity in the Barra de Navidad Coastal Lagoon on the Pacific Coast of Mexico. Revue D'Hydrobiologie Tropicale 21:101–108.
- Schliep M., Caviglasso, G., Quinnell, R., Stranger, R. & Larkum, A. (2012). “Formyl group modification of chlorophyll a: a major evolutionary mechanism in oxygenic photosynthesis”. Blackwell Publishing Ltd, Plant, Cell & Environment.
- SCOR-UNESCO, (1980). Determination of chlorophyll in seawater. Unesco technical papers in marine science, No. 35.
- Silvia,C., & Alvarado,M. (2013). Composición y abundancia del zooplancton de la laguna de Coyuca, Guerrero, México. Hidrobiología, 23(1), pp.241-249.

- Spetter, C. V., Popovich, C. A., Arias, A., Asteasuain, R. O., Freije, R. H., Marcovecchio, J. E. (2013). *Role of nutrients in phytoplankton development during a winter diatom bloom in a eutrophic South American estuary (Bahía Blanca, Argentina)*. *Journal of Coastal Research*, 31(1), 76-87.
- S. E. Manahan, (2007), *Introducción a la química ambiental*, Editorial Reverté, España, 31 p.
- Tapia G. F. U., Herrera S., Aguirre M. M.L. (2008). *Water quality variability and eutrophic trends in karstic tropical coastal lagoons of the Yucatan Peninsula*, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 76: 418 – 430.
- Tebbutt T.H.Y. (2002). *Fundamentos de control de la calidad del agua*. 9ª edición. Ed. Limusa, México, p. 240
- Torres R.M. (1980). *Evaluación de la contaminación por detergentes en el río Coyuca de Benítez, Edo de Guerrero*. Tesis de Ing. Química Industrial. Esc. Sup. De Ing. Química e Industrias Extractivas, IPN.
- T. H. Y. Tebbutt, (1993), *Fundamentos de control de la calidad del agua*, Editorial Limusa S. A. de C. V., México, 13 p.
- USEPA, (2004). *Classification Framework for Coastal Systems*. Washington DC: U.S. Environmental Protection Agency, p. 66.
- Valencia, H., Cruz, M., López, C., Arcos, R., & Cantellano, R. (2003). *Calidad del agua en la Laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero*. Distrito Federal, México.
- Vicente, E, Hoyos, C. Sanchez. P., & Cambra J. (2005), *Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la Directiva Marco del agua: Protocolos de muestreo y análisis para fitoplancton*. Pp 11.
- Vivian-Montecino, Gemita-Pizarro, (2006), *Productividad primaria, biomasa y tamaño del fitoplancton en canales y fiordos australes: patrones primavera-verano*, Facultad de Ciencias. Universidad de Chile, Instituto de Fomento Pesquero, p 93.
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology. Lake and River Ecosystems*. 3rd. Ed. Academic Press, San Diego, California, 1006p.
- Yáñez-Arancibia, A. (1978), "Patrones ecológicos y variaciones cíclicas de la estructura trófica de las comunidades neotónicas en las lagunas costeras del Pacífico mexicano", *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología*, vol. 5, UNAM, México.

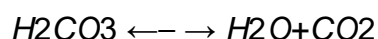
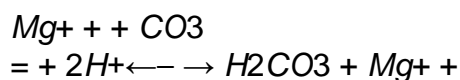
XVI. Anexos

Anexo A

Técnica de extracción y cuantificación de Clorofila a

Carbonato de magnesio en suspensión al 1 %

Se pesa 1 g de carbonato de magnesio en polvo y se disuelve en 100 ml de agua destilada almacenándose para su uso posterior. Esta solución deberá agitarse fuertemente antes de usarse. El empleo de $MgCO_3$ se recomienda ya que evita la acidificación de la muestra a través la siguiente reacción:



Además de retardar la formación de feofitina ayuda a un mejor filtrado y facilita la centrifugación.

Acetona al 90%

Deberá usarse acetona grado espectrofotométrico; una vez preparada deberá guardarse en un frasco de polietileno. Existen otros solventes como el metanol pero se recomienda el uso de acetona debido a las siguientes características: la clorofila es más estable en ella que en otro solvente, la banda de absorción en el rojo es más conspicua el coeficiente de extinción más alto.

Procedimiento

- a) Las muestras serán tomadas con una botella Van Dorn de 3 L.
- b) El volumen de la muestra dependerá del cuerpo acuático muestreado, de 4.5 a 5 L para agua marina y sólo 0.050 L para aguas estuarinas.
- c) El agua se filtra a través de un filtro de membrana Millipore (0.45 μm). Antes de iniciar el filtrado se añaden unas gotas de solución de $MgCO_3$, debido a que la sal afecta la solubilidad de los filtros (para aguas interiores no es necesario), estos deberán ser desecados tan rápido como sea posible después del filtrado.
- d) Doblar el filtro hacia adentro con pinzas y colocarlo en papel aluminio en un recipiente que contenga gel de sílice. Posteriormente serán congelados y podrán conservarse hasta un mes, aunque es preferible hacer la medición lo más pronto posible.
- e) Para la extracción, colocar el filtro en un tubo de centrifuga, añadir 2 a 3 ml de acetona al 90%, macerar el filtro y completar el volumen de acetona a 10 ml.
- f) Dejar los tubos en la oscuridad durante 24 horas a temperatura ambiente.
- g) Posteriormente centrifugar durante 10 minutos a 4000 rpm.

h) Extraer el sobrenadante con una pipeta Pasteur y colocarlo en una celda para llevar a cabo su lectura en el espectrofotómetro.

i) Las longitudes de onda a las cuales deberá ser leída la muestra son: 665, 645 y 630 nm, que son las máximas absorbencias para la clorofila α , β y c , respectivamente y 750 nm para correcciones por error de turbidez en las celdas.

Si se desea aplicar el índice de Margalef (D430/665), se deberá leer también a 430 nm, que es la absorbancia de los pigmentos amarillos.

Estas lecturas se llevarán a cabo contra un blanco de acetona al 90%, la misma que se utilizó para la extracción.

Datos y cálculos

Restar la extinción a 750 nm de las extinciones a 665, 645 y 630 nm (en su caso también a la de 430 nm); la concentración para cada clorofila en $\mu\text{g/L}$ ($=\text{mg/m}^3$) se obtendrá a partir de las siguientes ecuaciones (SCOR/UNESCO, 1980).

$$\text{Clorofila } \alpha = 11.64 E_{665} - 2.16 E_{645} + 0.10 E_{630}$$

$$\text{Clorofila } \beta = 20.97 E_{645} - 3.94 E_{665} - 3.66 E_{630}$$

$$\text{Clorofila } c = 54.22 E_{630} - 14.81 E_{645} - 5.53 E_{665}$$

Los valores obtenidos se multiplican por el volumen de la extracción en mililitros (10 mL) y se dividen por el volumen de la muestra de agua en litros.

Cuantificación de Productividad Primaria (Método de la botella clara y oscura)

Materiales y Equipos

- Botella Van Dorn de 3 L
- Botellas DBO
- Boya
- Oxímetro
- Estufa
- Balanza analítica
- Matraces Erlenmeyer de 25 ml
- Bureta
- Soporte y pinzas para bureta

- Pipeta de volumen variable de 1 a 10 ml
- Vasos de precipitados de 200 ml
- Reactivos

Reactivos

- Solución de Sulfato Manganeseo
- Disolución estándar de yoduro alcalino
- Solución de almidón
- Ácido sulfúrico concentrado
- Disolución de Yodato de Potasio (0.001 N)

Procedimiento

Las muestras de agua serán extraídas con una botella Van Dorn de 3 L y se verterán en botellas DBO (botellas que se utilizan para analizar la demanda bioquímica de oxígeno) de volúmenes conocidos (300 ml), ya que de esta forma cada submuestra contiene cantidades proporcionalmente iguales de zooplancton y fitoplancton del hábitat. Para mayor confiabilidad en los análisis se tomarán muestras en varios sitios y a diferentes profundidades. Se tomarán tres muestras de cada sitio, de las cuales la primera es para medir la cantidad de oxígeno inicial y las otras dos serán incubadas (se mantendrán dentro del cuerpo acuático en las condiciones a las que fue tomada la muestra, las botellas DBO se cierran herméticamente ya que cuentan con un tapón esmerilado). Es importante mencionar que una de las dos botellas que se dejarán en cada sitio deberá ser cubierta de tal manera que no incida la luz, para ello es necesario pintarla de negro, cubrirla con una bolsa negra, con papel aluminio o cinta de aislar. Las botellas se dejarán durante un tiempo conocido, contabilizado desde el momento que se introducen al agua. Se recomienda que para sistemas oligotróficos (poco productivos) el tiempo mínimo sea de 6 horas y en sistemas eutróficos (muy productivos) de 4 horas. El periodo de tiempo no debe exceder las 24 horas ya que tiempos más largos tienden a invalidar los resultados, debido a que al permanecer más de un día puede haber errores causados por el prolongado confinamiento de muestras con alto contenido de materiales en suspensión y disueltos debido al desarrollo de bacterias e inhibición del progreso fotosintético por los altos niveles del oxígeno generado. Para medir la concentración de oxígeno se puede utilizar un oxímetro o hacer la determinación por el método de Winkler. Por medio de éste método se cuantifica la concentración de oxígeno de manera indirecta a través de yodo, el cual desplaza al oxígeno proporcionalmente, mediante la adición de sulfato manganeso y un álcali de yoduro de sodio, fijado con ácido sulfúrico al 0.05 N. El contenido de yodo es equivalente al de oxígeno disuelto encontrado originalmente en la muestra y es titulado posteriormente con una disolución de

tiosulfato de sodio utilizando almidón como indicador. De este modo se estima indirectamente la concentración de oxígeno disuelto, la cual debe ser expresada en mg/L.

La tasa de respiración (R) en términos de consumo es calculada como:

$$R = (B_i - B_o)/\Delta t$$

Donde:

B_i = Concentración inicial de O₂ (en mg/L)

B_o = Concentración final de O₂ en la botella oscura (en mg/L)

Δt = Periodo de tiempo en el cual se lleva a cabo la respiración (tiempo de incubación).

Si Δt es medido en días, entonces R se expresará en mg O₂/L/día; si se expresa en horas, entonces R se representa como mg O₂/L/hora. La respiración y producción también se pueden expresar en metros cúbicos de agua, en lugar de litros. Sabiendo que un metro cúbico tiene 1000 litros, deberá multiplicarse por 1000 el resultado y se obtendrán valores en metros cúbicos (m³).

La productividad fotosintética o bruta de oxígeno PB, en mg O₂/L/día, es:

$$PB = (B_c - B_o)/\Delta t$$

Donde:

B_c = Concentración final de oxígeno en la botella clara

B_o = Concentración final de O₂ en la botella oscura

Δt = Periodo de tiempo en el cual se lleva a cabo la respiración.

La productividad neta de oxígeno (PN) expresada en mg O₂/litro/día u hora es:

$$PN = (B_c - B_i)/\Delta t \text{ (Gaarder y Gran, 1927)}$$

O bien:

$$PN = PB - R$$

Si las muestras de agua fueron obtenidas en diferentes sitios y profundidades de un cuerpo acuático, entonces el promedio de varios valores de R, PB y PN expresará tasas promedio de respiración, productividad bruta y productividad neta.

Para el cálculo de la productividad primaria en términos de biomasa, las fórmulas generales son:

$$PB = \frac{(B_c - B_o)}{\Delta_t} \times \frac{0.375}{1.2} \times 1000$$

$$PN = \frac{(B_c - B_i)}{\Delta_t} \times \frac{0.375}{1.2} \times 1000$$

$$R = PB - PN$$

Se expresan en mg/C/m³/hr

XVII. Anexo B

Matriz de Pearson Tabla 7.

Correlaciones

	Temperatura	Transparencia	Profundidad	pH	OD	DBO5	DQO
Temperatura		-0.1264 (35)	0.1491 (35)	0.1719 (35)	0.2114 (35)	0.1119 (35)	0.2371 (35)
		0.4694	0.3927	0.3235	0.2229	0.5223	0.1702
Transparencia	-0.1264 (35)		-0.1013 (35)	-0.4515 (35)	-0.1636 (35)	-0.1350 (35)	-0.2653 (35)
	0.4694		0.5624	0.0065	0.3478	0.4393	0.1235
Profundidad	0.1491 (35)	-0.1013 (35)		0.2553 (35)	-0.7188 (35)	-0.7102 (35)	-0.3453 (35)
	0.3927	0.5624		0.1388	0.0000	0.0000	0.0422
pH	0.1719 (35)	-0.4515 (35)	0.2553 (35)		0.0526 (35)	-0.0365 (35)	0.4496 (35)
	0.3235	0.0065	0.1388		0.7640	0.8349	0.0067
OD	0.2114 (35)	-0.1636 (35)	-0.7188 (35)	0.0526 (35)		0.8264 (35)	0.6539 (35)
	0.2229	0.3478	0.0000	0.7640		0.0000	0.0000
DBO5	0.1119 (35)	-0.1350 (35)	-0.7102 (35)	-0.0365 (35)	0.8264 (35)		0.5937 (35)
	0.5223	0.4393	0.0000	0.8349	0.0000		0.0002
DQO	0.2371 (35)	-0.2653 (35)	-0.3453 (35)	0.4496 (35)	0.6539 (35)	0.5937 (35)	
	0.1702	0.1235	0.0422	0.0067	0.0000	0.0002	
CO2	-0.2413 (35)	0.5099 (35)	-0.2662 (35)	-0.9005 (35)	-0.0471 (35)	0.0785 (35)	-0.3485 (35)
	0.1626	0.0018	0.1222	0.0000	0.7881	0.6540	0.0402
Conductividad	0.3511 (35)	-0.4721 (35)	0.3592 (35)	0.7890 (35)	-0.0768 (35)	-0.1488 (35)	0.1796 (35)
	0.0386	0.0042	0.0341	0.0000	0.6608	0.3936	0.3018
STD	0.3825 (35)	-0.4261 (35)	0.3928 (35)	0.7609 (35)	-0.1000 (35)	-0.1818 (35)	0.1453 (35)
	0.0234	0.0107	0.0196	0.0000	0.5675	0.2960	0.4051
Nitritos	0.4324 (35)	-0.5016 (35)	-0.1782 (35)	0.2294 (35)	0.4825 (35)	0.4536 (35)	0.5186 (35)
	0.0095	0.0021	0.3057	0.1850	0.0033	0.0062	0.0014
Fosfatos	0.1027 (35)	-0.2803 (35)	-0.1335 (35)	0.1812 (35)	0.3677 (35)	0.4492 (35)	0.5139 (35)
	0.5570	0.1029	0.4447	0.2977	0.0298	0.0068	0.0016
Nitratos	-0.0850 (35)	-0.0241 (35)	-0.5311 (35)	-0.0690 (35)	0.4650 (35)	0.4902 (35)	0.3181 (35)
	0.6273	0.8909	0.0010	0.6938	0.0049	0.0028	0.0626
Amonio	0.2616 (35)	-0.0421 (35)	-0.0752 (35)	0.3725 (35)	0.1236 (35)	0.0685 (35)	0.2747 (35)
	0.1290	0.8102	0.6677	0.0275	0.4793	0.6957	0.1103
Clorofila	0.1150 (35)	-0.2746 (35)	-0.5314 (35)	0.0026 (35)	0.5387 (35)	0.6431 (35)	0.3752 (35)
	0.5106	0.1104	0.0010	0.9881	0.0008	0.0000	0.0264
Productividad	-0.1466 (35)	0.1044 (35)	-0.4480 (35)	0.0569 (35)	0.2883 (35)	0.5126 (35)	0.4149 (35)
	0.4007	0.5504	0.0070	0.7452	0.0930	0.0016	0.0132

	CO2	Conductividad	STD	Nitritos	Fosfatos	Nitratos	Amonio	Clorofila
Temperatura	-0.2413	0.3511	0.3825	0.4324	0.1027	-0.0850	0.2616	0.1150

	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)
	0.1626	0.0386	0.0234	0.0095	0.5570	0.6273	0.1290	0.5106
Transparencia	0.5099	-0.4721	-0.4261	-0.5016	-0.2803	-0.0241	-0.0421	-0.2746
	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)
	0.0018	0.0042	0.0107	0.0021	0.1029	0.8909	0.8102	0.1104
Profundidad	-0.2662	0.3592	0.3928	-0.1782	-0.1335	-0.5311	-0.0752	-0.5314
	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)
	0.1222	0.0341	0.0196	0.3057	0.4447	0.0010	0.6677	0.0010
pH	-0.9005	0.7890	0.7609	0.2294	0.1812	-0.0690	0.3725	0.0026
	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)
	0.0000	0.0000	0.0000	0.1850	0.2977	0.6938	0.0275	0.9881
OD	-0.0471	-0.0768	-0.1000	0.4825	0.3677	0.4650	0.1236	0.5387
	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)
	0.7881	0.6608	0.5675	0.0033	0.0298	0.0049	0.4793	0.0008
DBO5	0.0785	-0.1488	-0.1818	0.4536	0.4492	0.4902	0.0685	0.6431
	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)
	0.6540	0.3936	0.2960	0.0062	0.0068	0.0028	0.6957	0.0000
DQO	-0.3485	0.1796	0.1453	0.5186	0.5139	0.3181	0.2747	0.3752
	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)
	0.0402	0.3018	0.4051	0.0014	0.0016	0.0626	0.1103	0.0264
CO2		-0.9227	-0.8844	-0.2570	-0.1102	0.1545	-0.2789	0.0386
	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)
		0.0000	0.0000	0.1361	0.5287	0.3756	0.1048	0.8255
Conductividad	-0.9227		0.9533	0.2166	0.0174	-0.2625	0.1819	-0.0404
	(35)		(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)
	0.0000		0.0000	0.2113	0.9211	0.1277	0.2956	0.8180
STD	-0.8844	0.9533		0.1558	-0.0879	-0.3059	0.2321	-0.0703
	(35)	(35)		(35)	(35)	(35)	(35)	(35)
	0.0000	0.0000		0.3716	0.6156	0.0740	0.1796	0.6883
Nitritos	-0.2570	0.2166	0.1558		0.3451	0.1269	0.4090	0.5732
	(35)	(35)	(35)		(35)	(35)	(35)	(35)
	0.1361	0.2113	0.3716		0.0423	0.4675	0.0147	0.0003
Fosfatos	-0.1102	0.0174	-0.0879	0.3451		0.0420	0.0445	0.2658
	(35)	(35)	(35)	(35)		(35)	(35)	(35)
	0.5287	0.9211	0.6156	0.0423		0.8108	0.7994	0.1228
Nitratos	0.1545	-0.2625	-0.3059	0.1269	0.0420		0.0907	0.4429
	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)		(35)	(35)
	0.3756	0.1277	0.0740	0.4675	0.8108		0.6043	0.0077
Amonio	-0.2789	0.1819	0.2321	0.4090	0.0445	0.0907		0.1839
	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)		(35)
	0.1048	0.2956	0.1796	0.0147	0.7994	0.6043		0.2904
Clorofila	0.0386	-0.0404	-0.0703	0.5732	0.2658	0.4429	0.1839	
	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	
	0.8255	0.8180	0.6883	0.0003	0.1228	0.0077	0.2904	
Productividad	0.0118	-0.0723	-0.0577	-0.0375	0.0016	0.4819	0.0752	0.3673
	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)	(35)
	0.9462	0.6797	0.7420	0.8307	0.9929	0.0034	0.6676	0.0300

Matriz de Pearson Productividad Tabla 8

	Productividad
Temperatura	-0.1466
	(35)
	0.4007
Transparencia	0.1044
	(35)
	0.5504
Profundidad	-0.4480
	(35)
	0.0070
pH	0.0569
	(35)
	0.7452
OD	0.2883
	(35)
	0.0930
DBO5	0.5126
	(35)
	0.0016
DQO	0.4149
	(35)
	0.0132
CO2	0.0118
	(35)
	0.9462
Conductividad	-0.0723
	(35)
	0.6797
STD	-0.0577
	(35)
	0.7420
Nitritos	-0.0375
	(35)
	0.8307
Fosfatos	0.0016
	(35)
	0.9929
Nitratos	0.4819
	(35)
	0.0034
Amonio	0.0752
	(35)
	0.6676
Clorofila	0.3673
	(35)
	0.0300
Productividad	

Correlación
(Tamaño de Muestra)
Valor-P