



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

CULTIVO DE *Oreochromis niloticus* EN AGUAS DE DESECHO DOMÉSTICAS TRATADAS, EN RELACIÓN CON LAS CONDICIONES FÍSICAS QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL EMBALSE.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRA EN CIENCIAS DEL MAR
(OCEANOGRAFÍA BIOLÓGICA Y PESQUERA)

P R E S E N T A:

ELOISA ADRIANA GUERRA HERNÁNDEZ

Director de Tesis: Dr. F. Alberto Abreu Grobois

Comité Tutorial: Dr. Federico Paéz Osuna
Dr. Francisco Flores Verdugo

Sinodales: Dra. Cristina Chávez Chávez
Dr. Isaías H. Salgado Ugarte



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.

*Soy otro cuando soy, los actos míos
son más míos si son también de todos,
Para que pueda ser he de ser otro,
salir de mí, buscarme entre los otros,
los otros que no son si yo no existo,
los otros que me dan plena existencia*

O. Paz

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México, la mejor de Latinoamérica, por ser pilar de mi formación académica, profesional y personal, además de darme la oportunidad de formar parte de su comunidad y ser orgullosamente UNAM.

Al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología por darme cabida en su programa de posgrado.

Al personal académico, administrativo y a la comunidad estudiantil, que conocí durante mi estancia en la Unidad Mazatlán, de los cuales siempre recibí el apoyo para lograr las metas y de muchos de ellos no solo eso, sino su amistad.

Al personal del Laboratorio de Genética y Bioquímica Marina, principalmente al Dr. F. Alberto Abreu Grobois, por su dirección, asesoría y apoyo, pero sobretodo por ser amigo. A la M en C. María de los Ángeles Herrera por su ayuda para realizar los análisis microbiológicos. A la M en C. Raquel Briseño, por su siempre buena disposición para apoyarnos en la realización del trabajo.

Al Dr. Federico Páez Osuna, por su confianza, sus enseñanzas, asesoría continúa y siempre atinadas sugerencias, además de permitirme utilizar el equipo del laboratorio de Geoquímica Marina.

Al Dr. Francisco Flores Verdugo, por haberme facilitado el uso de las instalaciones del laboratorio a su cargo, por sus comentarios y atinadas correcciones. Pero más que nada por su don de persona.

A la Dra. Cristina Chávez Chávez, por su disposición, revisión, cuestionamientos e invaluable comentarios.

Al Dr. Isaías Hazarmabeth Salgado Ugarte, por su revisión, sus sugerencias para mejorar el trabajo y desde luego por su amistad.

A todos y cada uno de los miembros del jurado por su ayuda para enriquecer este trabajo.

A la Administración de El Cid Golf & Country Club, especialmente al Ing. Blas Guzmán responsable de la Planta de Tratamiento durante el periodo de realización de este estudio y a la Sra. Lucy Reyna que nos brindo el apoyo para el trabajo de campo, en las instalaciones.

Al M en C. Roberto Cortés Altamirano, por permitirme el uso del Microscopio invertido para el análisis fitoplanctónico.

Al Biólogo Luis Samuel Campos Lince por su apoyo en la realización de los muestreos, el trabajo de laboratorio, y todas y cada una de las etapas de este estudio.

A la FES Zaragoza por las facilidades otorgadas para la conclusión de esta tesis.

Dedicatoria

A mi padre

Porque a pesar de su ausencia, está presente en todos y cada uno de los momentos de mi vida.

A mi madre

Por su gran fortaleza, cariño y ejemplo para siempre seguir adelante.

A Luis

Por tu apoyo para conquistar las metas a pesar de los obstáculos y los años. Porque para mí nada sería igual si no estuvieras a mi lado.

A mis más preciados tesoros

Anahí, Tania y Amaury, porque son la razón para lograr lo imposible. Nunca lo olviden.

A mi familia

Jorge, Laura, Ivonne y Arturo porque estando juntos, siempre estaremos bien.

Carmen, Reyna, Guille, Mago, Pepe y Aurelio porque me han enseñado que siempre puedo contar con ustedes.

Pamela, Alexis, Jorge, Daniel, Mariana, Yanin, Cintli y Oscar, porque con el ejemplo se dice más que con las palabras.

A mis amigos

Que afortunadamente no son tan pocos y a los cuáles no voy a nombrar, porque lamentaría omitir a alguno de ellos involuntariamente. Por sus acciones, por sus palabras, por ser amigos.

GRACIAS, LOS AMO

CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
MARCO TEÓRICO	5
TIPOS DE AGUAS RESIDUALES	6
TRATAMIENTO DE AGUAS	9
LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	13
PISCÍCULTURA EN AGUAS RESIDUALES Y TRATADAS	15
ANTECEDENTES	17
SELECCIÓN DE ESPECIES PARA SISTEMAS CON APROVECHAMIENTO DE DESECHOS	17
APROVECHAMIENTO DE DESECHOS ORGÁNICOS EN ACUICULTURA	18
APROVECHAMIENTO DE AGUAS DE DESECHO	20
RIESGOS AMBIENTALES EN EL CULTIVO DE TILAPIA	24
OBJETIVOS	26
OBJETIVO GENERAL	26
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
HIPÓTESIS	28
DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	29
CLIMA	30
FISIOGRAFÍA	30
GEOLOGÍA	30
VEGETACIÓN	31
HIDROLOGÍA	31
DIAGNOSIS Y CARACTERISTICAS DE LA ESPECIE <i>Oreochromis niloticus</i>	32
POSICION TAXONOMICA DE <i>Oreochromis niloticus</i>	34

MÉTODOS	35
CONSTRUCCIÓN Y COLOCACIÓN DE JAULAS FLOTANTES	35
PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS	37
FITOPLANCTON	39
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO	40
CULTIVO PISCÍCOLA	42
RESULTADOS	45
SITIO DE ESTUDIO	45
PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS	46
COMPARACIÓN ENTRE CONCENTRACIONES DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO Y LA POZA DE OXIDACIÓN	61
PRODUCTIVIDAD PRIMARIA	65
FITOPLANCTON	67
CULTIVO PISCÍCOLA	73
ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES	92
DISCUSIÓN	96
PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS	97
PRODUCTIVIDAD PRIMARIA y FITOPLANCTON	108
CULTIVO PISCÍCOLA, DESARROLLO, CRECIMIENTO Y CONDICIÓN	112
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO	117
ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES	120
CONCLUSIONES	122
REFERENCIAS	125
ANEXO 1	136

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Principales especies cultivadas en aguas de desecho y tratadas	17
Cuadro 2.	Temperaturas medias entre 1986 y 1995.....	31
Cuadro 3.	Densidad de organismos por m^3	43
Cuadro 4.	Concentraciones promedio de la Descarga de la Planta.....	62
Cuadro 5	ANDEVA para comparación de dos niveles y descarga.....	62
Cuadro 6	Variación mensual de organismos / m^3 en cada jaula y densidad.....	74
Cuadro 7	Porcentaje de mortalidad por jaula y densidad.....	75
Cuadro 8.	Ecuaciones de la relación peso-longitud patrón y prueba de hipótesis.....	76
Cuadro 9	Incrementos promedio en Peso y Longitud patrón, por jaula y densidad.....	79
Cuadro 10	Valores de P, para pruebas de comparación de medianas en función de la densidad..	81
Cuadro 11	Tasas de Crecimiento y Porcentaje ganado en peso en las diferentes etapas.....	82
Cuadro 12	ANDEVA para las tasas de Crecimiento por mes.....	84
Cuadro 13	ANDEVA para las Tasas del crecimiento por jaula.....	85
Cuadro 14	Biomasa por jaula y densidad.....	87
Cuadro 15	Factor de condición múltiple por jaula.....	89
Cuadro 16	Densidad bacteriana para cada órgano Técnica NMP.....	91
Cuadro 17	Densidad bacteriana para cada órgano. Conteo en placa.....	92
Cuadro 18	Componentes Principales.....	93
Cuadro 19	Variables con mayor peso en cada uno de los componentes.....	94
Cuadro 20	Comparación de tasa de crecimiento y producción en diferentes tipos de cultivo.....	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Fases de tratamiento de aguas, reutilización y reciclaje	8
Figura 2	Diagrama de usos según el Índice de calidad de aguas renovadas	10
Figura 3	Clasificación de los estanques de estabilización	13
Figura 4	Principales componentes de los estanques de oxidación	14
Figura 5	Ubicación de la zona de estudio. Estanque de oxidación. Club de golf "El Cid"	30
Figura 6	Variedad de color rojo <i>Oreochromis niloticus</i>	35
Figura 7	Diseño de las jaulas flotantes construidas	37
Figura 8	Construcción y colocación de jaulas flotantes	37
Figura 9	Toma de muestras en la poza de oxidación	40
Figura 10	Cultivo bacteriológico para conteo en placa	42
Figura 11	Determinación de datos biométricos de <i>Oreochromis niloticus</i>	43
Figura 12	Cultivo de <i>Oreochromis niloticus</i> , variedad roja	45
Figura 13	Poza de oxidación. Club de golf "El Cid"	46
Figura 14	Fotografías de la Planta de tratamiento	47
Figura 15	Promedio mensual para cada parámetro. Superficie y profundidad de 1m	48
Figura 16	Variación del Oxígeno en ambos niveles.	49
Figura 17	Distribución del Oxígeno disuelto	49
Figura 18	Variación térmica mensual	50
Figura 19	Promedio de la temperatura del agua. Superficie.	51

Figura 20	Promedio de la temperatura del agua. Fondo	51
Figura 21	Variación temporal de la temperatura. Superficie.	52
Figura 22	Variación temporal de la temperatura. Fondo	52
Figura 23	Variación temporal de la transparencia	52
Figura 24	Promedio del oxígeno disuelto. Superficie.	53
Figura 25	Promedio del oxígeno disuelto Fondo	53
Figura 26	Variación temporal del oxígeno disuelto. Superficie.	53
Figura 27	Variación temporal del oxígeno disuelto	53
Figura 28	Promedio del pH. Superficie.	54
Figura 29	Promedio del pH. Fondo	54
Figura 30	Variación temporal del pH. Superficie.	55
Figura 31	Variación temporal del pH.	55
Figura 32	Promedio de Alcalinidad. Superficie.	55
Figura 33	Promedio de Alcalinidad Fondo	55
Figura 34	Variación temporal de la alcalinidad. Superficie.	56
Figura 35	Variación temporal de la alcalinidad	56
Figura 36	Promedio del amonio. Superficie.	57
Figura 37	Promedio del amonio Fondo	57
Figura 38	Variación temporal del amonio. Superficie.	57
Figura 39	Variación temporal del amonio	57
Figura 40	Promedio de nitritos. Superficie.	58
Figura 41	Promedio de nitritos. Fondo	58
Figura 42	Variación temporal de nitritos. Superficie.	58
Figura 43	Variación temporal de nitritos	58
Figura 44	Promedio de nitratos. Superficie.	59
Figura 45	Promedio de nitratos Fondo	59
Figura 46	Variación temporal de nitratos. Superficie.	59
Figura 47	Variación temporal de nitratos	59
Figura 48	Dinámica del nitrógeno inorgánico. Superficie.	60
Figura 49	Dinámica del nitrógeno inorgánico Fondo	60
Figura 50	Promedio de ortofosfatos. Superficie.	61
Figura 51	Promedio de ortofosfatos Fondo	61
Figura 52	Variación temporal de ortofosfatos. Superficie.	61
Figura 53	Variación temporal de ortofosfatos	61
Figura 54	Promedio para sólidos suspendidos. Superficie.	63
Figura 55	Promedio para sólidos suspendidos Fondo	63
Figura 56	Variación temporal de sólidos suspendidos. Superficie.	63
Figura 57	Variación temporal de sólidos suspendidos	63
Figura 58	Promedio del carbono total disuelto. Superficie.	64
Figura 59	Promedio del carbono total disuelto Fondo	64
Figura 60	Variación temporal de carbono total disuelto. Superficie.	64
Figura 61	Variación temporal de carbono total disuelto	64
Figura 62	Promedio de carbono orgánico particulado. Superficie.	65
Figura 63	Promedio de carbono orgánico particulado Fondo	65
Figura 64	Variación temporal del carbono orgánico particulado. Superficie.	65
Figura 65	Variación temporal del carbono orgánico particulado	65

Figura 66	Variación temporal de la productividad primaria	66
Figura 67	Promedio de clorofila "a"	67
Figura 68	Variación temporal de la clorofila "a"	67
Figura 69	Densidad absoluta del fitoplancton	68
Figura 70	Variación temporal de las divisiones del fitoplancton	69
Figura 71	Sucesión de temporal de géneros fitoplanctónicos	69
Figura 72	Densidad relativa de géneros y especies fitoplanctónicas por mes	70
Figura 73	Fotografías de los géneros fitoplanctónicos encontrados	73
Figura 74	Regresión lineal entre longitud total y longitud patrón	75
Figura 75	Relación peso-longitud patrón. Población total (1ª y 2ª etapa)	76
Figura 76	Relación peso-longitud por jaula	77
Figura 77	Incremento en peso por jaula. (1ª y 2ª etapa)	78
Figura 78	Diagrama de cajas de la variación del peso en función de la densidad	80
Figura 79	Gráficos de medidas del peso con intervalos con 99% de confianza	80
Figura 80	Diagrama de cajas de la variación de la longitud patrón en función de la densidad	80
Figura 81	Gráficos de medianas de la longitud patrón con intervalos al 99% de confianza	80
Figura 82	Diagrama de cajas de la variación de la altura en función de la densidad	80
Figura 83	Gráficos de medianas de la altura con intervalos con 99% de confianza.	80
Figura 84	Variación del peso y longitud patrón. Población total	81
Figura 85	Variación de las tasas de crecimiento y porcentaje en peso	82
Figura 86	Diagramas de caja para la tasa de crecimiento en función de la densidad	83
Figura 87	Tasa de crecimiento por jaula para las tres etapas del cultivo	83
Figura 88	Diagrama de cajas- variación mensual de la tasa de crecimiento para las tres etapas del cultivo	84
Figura 89	Diagrama de cajas- variación mensual de la tasa de crecimiento para las tres etapas del cultivo	85
Figura 90	Tasa de crecimiento relativo con jaula para las tres etapas del cultivo.	86
Figura 91	Porcentaje de peso ganado mensualmente por jaula para las tres etapas del cultivo	86
Figura 92	Producción de biomasa promedio en función de la densidad	88
Figura 93	Relación peso-longitud patrón-altura	89
Figura 94	Factor de condición múltiple (KM) en función de la densidad	90
Figura 95	Gráfico de medianas con 95% de confianza	90
Figura 96	Comparación de KM en función de la densidad	91
Figura 97	Variables del componente 1 versus componente 2	95
Figura 98	Variables del componente 3 versus componente 4	95
Figura 99	Fotografías de la poza de oxidación, en diferentes momentos del estudio	115

RESUMEN

El aprovechamiento de las aguas tratadas en nuestro país es limitado, por lo cual deben realizarse estudios para su uso de manera óptima y productiva. Con esta intención se llevó a cabo el cultivo de *Oreochromis niloticus* comparando cuatro diferentes densidades, en jaulas flotantes colocadas en una poza de oxidación alimentada con efluentes de un primer estanque de estabilización para el agua proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales del Fraccionamiento y Club de golf "El Cid", en Mazatlán, Sinaloa. Se registró un periodo de crecimiento de los peces, de 14 meses, desde su introducción a la obtención de una talla comercial; con un monitoreo físico, químico y biológico del sistema durante siete meses. El embalse presentó un comportamiento polimíctico cálido continuo, muy productivo, con concentraciones de oxígeno adversas para la acuicultura, frecuentemente a las 6 am, el pH rebasa los niveles óptimos para el crecimiento de los peces. Las concentraciones de nutrientes provenientes de la planta de tratamiento impactan en el comportamiento del embalse, la dinámica de mineralización es activa pero requiere de mayor oxigenación para la nitrificación, el fósforo soluble favorece el crecimiento algal y la alimentación de los peces. La relación carbono total disuelto-carbono orgánico particulado y la productividad primaria sitúan al embalse como inestable, eutrófico en alto grado. El fitoplancton estuvo representado en orden de importancia por las siguientes divisiones Cyanophyta, Bacillariophyta y Chlorophyta; la especie dominante fue *Chroococcus dispersus*.

La densidad en las jaulas presentó un efecto significativo en el crecimiento en peso, longitud patrón y altura, así como en la tasa de crecimiento específico y el factor de condición múltiple registrado por los peces, este crecimiento fue de tipo isométrico. La producción de biomasa se encontró dentro del intervalo registrado en otros cultivos con suministro de alimento suplementario. El peso promedio obtenido para los organismos en 8 meses de cultivo fue de 145 g y el obtenido en la tercera etapa con 14 meses de cultivo fue de 250 g y una talla de 20 cm; sin embargo la velocidad de crecimiento fue más lenta que en otros cultivos realizados bajo condiciones similares. Las concentraciones de coliformes totales y fecales se registraron en orden decreciente en el tracto digestivo, piel, hígado y músculo y rebasan los límites establecidos para alimentos frescos y agua de acuerdo a la normatividad mexicana, lo que impide su consumo directo

De acuerdo al análisis de componentes principales la temperatura tiene una influencia determinante en el crecimiento en peso de *Oreochromis niloticus*. El amonio y los ortofosfatos desempeñaron un papel fundamental en el comportamiento trófico del embalse.

Las lagunas de oxidación son sistemas altamente productivos susceptibles de ser usados para cultivo de peces y microalgas, el cultivo de Tilapia en aguas tratadas es factible en México; sin embargo el uso de este tipo de cultivos para la producción de proteína animal a bajo costo, como biotecnología para la utilización y mejoramiento de las aguas de desecho está en discusión en función de las implicaciones para la salud que un inadecuado control puede generar.

ABSTRACT

The use of treated wastewater in our country is limited, for this, the studies about the alternatives should be performed to optimally use and productive. For this purpose carried out the cultivation of *Oreochromis niloticus* comparing four different densities in floating cages placed in an oxidation pond effluent fed to a first stabilization pond water from treatment plant wastewater of residential and golf club "El Cid" in Mazatlan, Sinaloa. There was a growth period for fish of 14 months from its introduction to obtaining a commercial size, with monitoring physical, chemical and biological system for seven months. The reservoir presented a continuous warm polymictic behavior, very productive, with adverse oxygen concentrations for aquaculture often at 6 am, The pH is over the optimal levels for fish growth. Concentrations of nutrients from the treatment plant impact on the reservoir behavior, the mineralization dynamics is active but requires more oxygen for nitrification, soluble phosphorus promotes algal growth and fish feed. The total dissolved carbon to particulate organic carbon-primary productivity of the reservoir located unstable, highly eutrophic. Phytoplankton was represented in order of importance for the following divisions Cyanophyta, Bacillariophyta and Chlorophyta, the dominant species *Chroococcus dispersus*.

The density in the cages had a significant effect on growth in weight, standard length and height, as well as the specific growth rate and condition factor by fish multiple records, this growth was isometric. Biomass production was within the range reported in other crops to supply supplemental feed. Weight average score for the organisms in 8 months of culture was 145 g and obtained in the third stage with 14 months of culture was 250 g and a size of 20 cm, but the growth rate was slower than in other crops grown under similar conditions. The concentrations of total and fecal coliforms in descending order were recorded in the digestive tract, skin, liver and muscle and exceed the limits for fresh food and water according to Mexican law, which prevents direct consumption.

According to principal component analysis temperature has a decisive influence on the growth in weight of *Oreochromis niloticus*. The ammonium and orthophosphates had a role in the trophic behavior of the reservoir.

The oxidation ponds are highly productive systems that can be used for fish farming and micro-algae growing in treated water *Tilapia* is feasible in Mexico, but the use of such crops for animal protein production at low cost as biotechnology for the use and improvement of wastewater is discussed, for the health implications.

INTRODUCCIÓN

Hace 10,000 años nuestros antecesores utilizaban la mayor parte de su tiempo en la búsqueda de su diario sustento, lo que impedía el avance de la civilización (arte, ciencia, tecnología, política y sociedad). Esto se supera cuando el hombre descubre su capacidad para cultivar (agricultura, ganadería, etc.) y controlar el desarrollo de otros organismos. A partir de ese momento se inicia la producción de alimentos por el hombre, actividad que evoluciona día con día. Sin embargo, se ha generado una competencia entre el incremento poblacional y la producción de alimentos, la acuicultura representa una alternativa real para ampliar la oferta alimentaria en el país, contribuyendo a la seguridad alimentaria, generación de divisas y crear fuentes permanentes de empleo, estimulando el desarrollo regional y participa en la producción pesquera nacional con poco más de 12 por ciento de la producción nacional. De acuerdo a las perspectivas a nivel internacional, la acuicultura podría representar en nuestro país más de 40 por ciento de la producción pesquera total en un plazo de entre diez y quince años (FAO, 2006-2010). En 1990 la producción global de alimentos fue de aproximadamente 4,600 millones de toneladas brutas y 2,300 millones de toneladas de peso seco comestible. El 98% fue producido en tierra y el 2% en océanos y aguas interiores. Si el consumo actual de alimentos per cápita permaneciera constante, para el año 2025 se requeriría una producción alimentaria 57% mayor a la registrada en 1990. Si además se tomara en cuenta una mejoría en la dieta de la población mal nutrida, la demanda mundial debería aumentar un 100% por año (Bourlaug y Enkerlin, 1997). Es importante considerar estos datos y estudiar las alternativas para la producción de alimento suficiente para satisfacer las necesidades, en forma ecológica y económicamente sostenible.

Para solucionar este problema, además de las opciones tradicionales como la agricultura y la ganadería, se presentan alternativas viables como la acuicultura que, entendida como el cultivo de plantas y animales acuáticos, es una práctica muy antigua. Se sabe que desde hace 4,500 años en Egipto se cultivaban peces dulceacuícolas y se cree que esta actividad fue introducida en el lejano oriente y algunas ciudades asiáticas por los inmigrantes chinos. Se ha practicado tradicionalmente en algunos países, pero mundialmente su desarrollo ha sido aislado y descoordinado. En las últimas décadas se han definido planes y políticas que han favorecido su crecimiento e industrialización razón por la cual en algunas ciudades ha generado una economía de mercado. El incremento en los rendimientos obtenidos, por los cultivos acuícolas, ha contribuido a generar interés por esta práctica. De 1970 a 2008 la producción de alimento generada por acuicultura presentó una tasa promedio anual de 8.3 %, mientras que la población presentó una tasa de crecimiento de 1.6% por año. En el 2009 la producción acuícola en México fue de 156,957 ton. Se considera que la acuicultura contribuye con el 45.7% a la producción de productos pesqueros para consumo humano en el mundo. China es el mayor productor y contribuye con el 62.5% de los productos pesqueros que se consumen y provienen de la acuicultura continental (FAO, 2010).



Por lo anterior la acuicultura juega un papel muy importante en la producción alimentaria, pero sus objetivos deben ser claros y en función de las condiciones económicas y de sustentabilidad del ambiente según el lugar en el que se realiza. A través de ella se puede lograr:

- a) Incrementos en la producción de proteína animal
- b) Producción de alimento cercano a los centros de consumo
- c) **Aprovechamiento de desechos orgánicos para la producción de alimento y manejo ambiental**
- d) Desarrollo de áreas rurales a través de proyectos integrales (incluyendo acuicultura)
- e) Repoblación de organismos que forman parte de las pesquerías
- f) Uso de tierras poco productivas
- g) Generación de empleo en áreas rurales
- h) Promoción de desarrollo industrial de productos pesqueros
- i) Creación y mantenimiento de actividades de pesca deportiva

No obstante, la acuicultura también enfrenta problemas, tales como:

- a) El costo económico, aumenta en función de la intensidad de los cultivos. A medida que el sistema se intensifica los insumos se incrementan (la fertilización inorgánica, los alimentos suplementarios, aireadores, control estricto de la calidad del agua, etc.), y por lo tanto también aumenta el costo de la producción. En los cultivos extensivos el costo es casi nulo.
- b) El impacto ambiental que genera, se incrementa en función de la intensificación del cultivo. Se presenta en los componentes bióticos por la alteración de la dinámica de las comunidades presentes y en los abióticos, por el deterioro en la calidad del agua. Sin embargo, la intensificación de los cultivos permite obtener mayor producción en menor tiempo y un producto con mayor calidad.
- c) Lograr la consolidación en la diversificación de los sistemas y su integración, para aumentar la producción del alimento sin afectar el ecosistema. Existen todavía en nuestro país recursos naturales abundantes que tienden a decrecer en forma indiscriminada, lo que es necesario evitar; es pertinente la armonización entre los aspectos ecológico y económico según el fin que se persigue. También es primordial desarrollar patrones que reduzcan la perturbación del ecosistema a través del reciclado de materia orgánica, la minimización del uso de recursos no renovables y maximizar la eficiencia de los recursos en procesos agro-industriales.



MARCO TEÓRICO

La acuicultura en el país existe desde la época prehispánica. El señorío de Tenochtitlán fue testigo de la producción pesquera en el lago de Texcoco. El valle de Netzahualcóyotl no sólo cantó a las aves y las plantas, sino también a los peces coloridos que marcaban, mes a mes, las ceremonias. (Herrera-Peña, J., 1981).

La piscicultura entre los antiguos mexicanos y consistía en depositar simplemente los animales o su hueva en estanques especiales o canales con cercos, para lograr su desarrollo y su reproducción. Mucho tiempo antes de que se crearan los primeros jardines botánicos europeos- que fueron el de Padua en 1543 y el Pisa en 1546- ya existirán instituciones semejantes asociadas a las llamadas casas de animales en el México Antiguo establecidas por los acoluhas en Hutectpan y Cillen; lo mismo que el bosque de Cuauhyacac, todo bajo la jurisdicción de Nezahualcóyotl (de Gortari, 1979).

Existen evidencias de cultivos de peces y crustáceos por los mayas en la región del Petén, por los chontales en Tabasco y por los nahuas en el valle de México (Xochimilco). Estudios sistemáticos de la agricultura maya hacen mención de las evidencias de las redes de canales, camellones de cultivo en los pantanos, pesca, caza y piscicultura que se desarrollaban para el sostenimiento de la densa población existente (Harrison y Turner, 1978). También Birriel (2006) hace referencia a la producción de alimentos en el espacio comunitario de la aldea maya, a través del cuidado de más de 20 especies de frutas y la producción de aves, cerdos, vacunos y peces.

Durante el periodo virreinal; se sabe que en algunos conventos se cultivaron peces nativos con el fin de producir alimento, utilizando técnicas empíricas en estanques; sin embargo no fue sino hasta finales del siglo XVII, cuando se realizaron diversos intentos de organización para los cultivos en aguas interiores, a causa de problemas significativos de comercio y manejo del producto pesquero, requerimiento de víveres y escasez de pescado.

En 1858 se incluyó en el Código Civil la clasificación de los viveros de animales, como los estanques de peces, considerándolos bienes inmuebles y de esta forma se incorpora la acuicultura al derecho. Durante el gobierno de Porfirio Díaz se funda la oficina de Piscicultura, dentro de la Secretaría de Fomento para impulsar esta actividad. Chazarí en 1884 escribe el libro Piscicultura de agua dulce y logra en 1886 la aprobación del decreto del congreso para la introducción de esta actividad en México, además propone un curso de piscicultura en la escuela de Agricultura iniciándose la educación formal en este campo, además impulsó el cultivo de peces exóticos y los programas de piscicultura rural para autoconsumo.

En 1884. Alfredo Lamotte construye la primera estación piscícola de México en Chimaleapan. Distrito de Lerma, para el cultivo de trucha. (Cifuentes-Lemus y Cupul-Magaña, 2002)



El recurso indispensable para el desarrollo de la acuicultura, es el agua, compuesto que sustenta la vida con características específicas como su gran estabilidad, que permiten considerarla como el disolvente universal además de representar una gran fuente de energía química. Dadas sus cualidades la importancia que tiene este compuesto a nivel mundial es obvia. Sin embargo, a través del tiempo, la planeación en su administración y manejo ha sido deficiente y ha generado su escasez. Por lo tanto es importante enfocar la atención hacia los mecanismos para su tratamiento y reúso.

Tanto en pequeñas localidades como en grandes ciudades se han utilizado aguas residuales crudas y tratadas, advertida o inadvertidamente, sin embargo el aprovechamiento intencional de éstas es limitado en comparación con el potencial que representan, algunos factores que pueden ayudar a mejorar el manejo de este recurso son: conocer la procedencia de las aguas residuales, separarlas según su origen, someterlas a diferentes tecnologías de tratamiento con base en su procedencia, aplicar criterios de calidad (física, química y biológica). Según el uso al que vayan a ser destinadas evaluar los riesgos y aplicar la legislación vigente; actualmente algunos de estos rubros solo se realizan en forma parcial y esto impide un aprovechamiento óptimo y generalizado del recurso.

Las aguas residuales o aguas negras son en esencia las aguas de abastecimiento de una población después de haber sido empleadas y contaminadas por materiales que provienen de diversas fuentes como son:

- * Desechos humanos y animales
- * Desperdicios caseros
- * Corrientes pluviales
- * Desechos agrícolas
- * Desechos industriales

Conocer el volumen de agua potable que se utiliza en las diversas actividades, permitiría plantear posibles alternativas para un mejor manejo como: su sustitución por aguas tratadas en aquellas actividades que así lo permitan, en función de la calidad obtenida. (Figura 1).

TIPOS DE AGUAS RESIDUALES

Las aguas de desecho tienen sólidos disueltos y suspendidos, la cantidad de estos en ellas es variable pero representa uno de los mayores problemas para su tratamiento y disposición adecuados, estos contaminantes son orgánicos e inorgánicos y la proporción de cada uno de ellos permite que las aguas negras se dividan según su composición en:

- a) **Aguas negras fuertes** que son aquellas que contienen una mayor cantidad de sólidos orgánicos
- b) **Aguas negras débiles** que presentan sólidos inorgánicos en mayor porcentaje.

También contienen cantidades pequeñas y variables de gases disueltos dentro de los que se encuentran principalmente el oxígeno, el bióxido de carbono, el nitrógeno, amonio, metano, etileno



(gas hilarante), hidrógeno y el ácido sulfhídrico; en cuanto a su composición biológica presentan incontables organismos vivos como insectos, plancton, bacterias, hongos (micobacterias) y virus que representan un problema de salud sobre todo, para su disposición. En función de lo anterior las aguas residuales se pueden clasificar en tres tipos (Hilleboe, 1980).

1. **Aguas crudas:** Son las aguas de desecho inmediatamente después de haber sido contaminadas por los sólidos donde el oxígeno disuelto presente en el agua de abastecimiento propicia la descomposición aeróbica, su aspecto es turbio de color grisáceo con sólidos en suspensión y olor desagradable.
2. **Aguas sépticas:** Son aquellas en las que el oxígeno disuelto se ha agotado y se lleva a cabo la descomposición anaeróbica con la consecuente producción de gases, su color es oscuro, con sólidos suspendidos negros, y tienen un olor fétido
3. **Aguas estabilizadas:** Son aquellas donde los sólidos se han descompuesto casi en su totalidad, el oxígeno disuelto vuelve a presentarse, tiene muy pocos sólidos suspendidos y su olor es muy ligero o nulo.

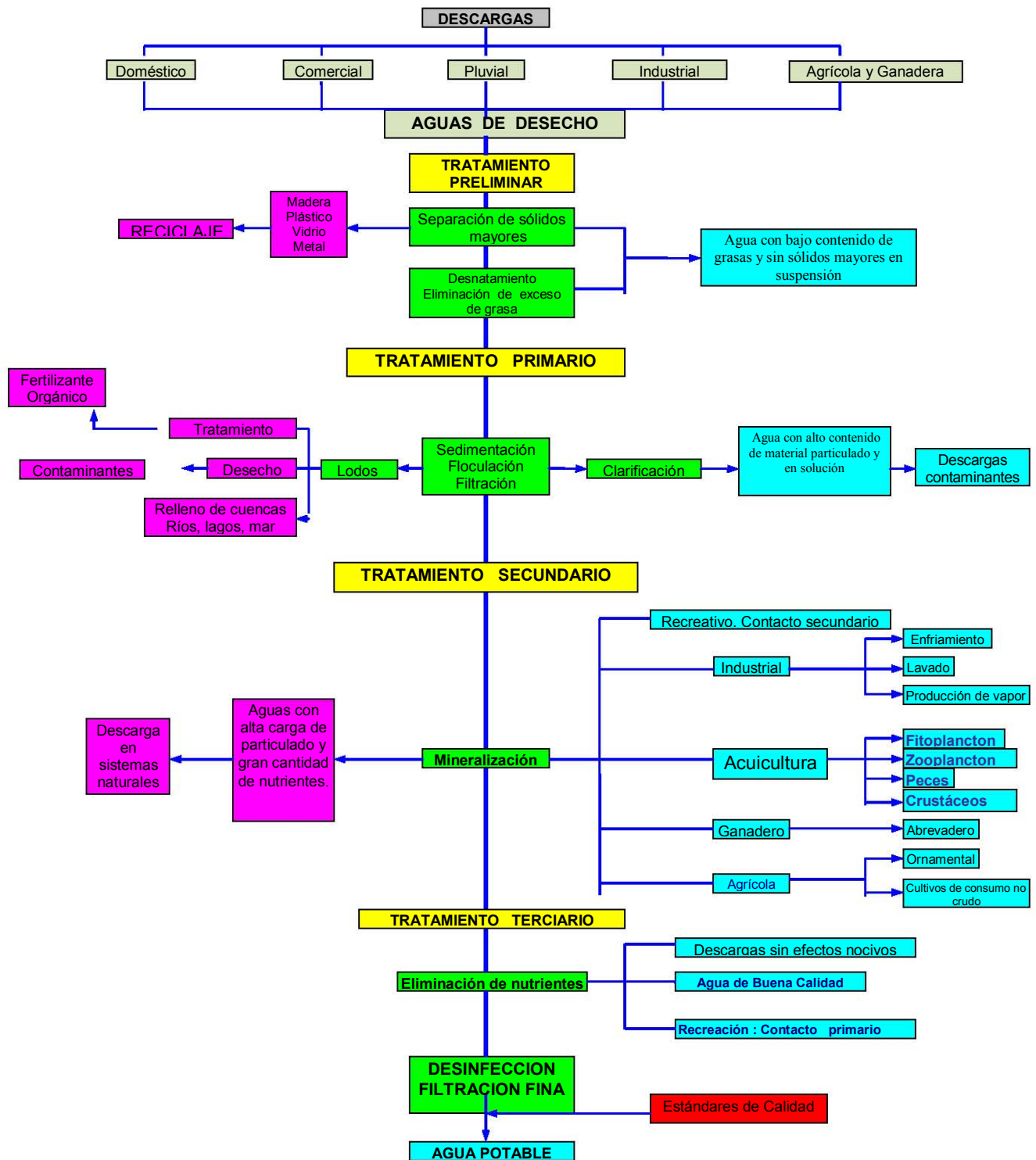


Figura 1. Fases del tratamiento de aguas, reutilización y reciclaje.



TRATAMIENTO DE AGUAS

Para que estas aguas puedan ser vertidas en sistemas naturales o reutilizadas deben ser sometidas a un tratamiento previo a su disposición, los métodos para tratamiento son muchos y con diferentes tecnologías sin embargo en forma convencional se puede decir que se dividen en los siguientes: (Hammer, 1977; Romero, 2005)

- * **Tratamiento preliminar.** El cual consiste en eliminar o separar los sólidos mayores o flotantes, los sólidos inorgánicos pesados así como cantidades excesivas de grasas y aceites, para lo cual se utiliza comúnmente rejillas de barras o cribas, molinos o trituradores, desarenadores y tanques de preaireación
- * **Tratamiento primario.** En él se separan del 40 a 60 % de sólidos suspendidos mediante el proceso físico de filtración o sedimentación, en algunos casos se utiliza tratamiento químico para eliminar los sólidos coloidales o propiciar su sedimentación lo que se entiende como el asentamiento de las partículas en el fondo de un tanque, en este proceso se reduce el contenido bacteriano del agua y se intensifica su claridad, para ello se utilizan diferentes tipos de tanques, clarificadores, mezcladoras y floculadores.
- * **Tratamiento secundario.** Este se lleva a cabo cuando las aguas presentan más sólidos orgánicos en suspensión que los que pueden ser asimilados por las aguas receptoras. Este tratamiento consiste principalmente en la descomposición de los sólidos orgánicos por organismos aerobios hasta transformarlos en sólidos inorgánicos u orgánicos estables en este paso se lleva a cabo el proceso de lodos activados. Este tratamiento secundario se hace generalmente a través de filtros, tanques de sedimentación secundaria, tanques de aireación, filtros de arena intermitentes y estanques de estabilización.
- * **Cloración.** En ciertas plantas de tratamiento este paso es parte del tratamiento secundario, en otras es intermedio entre el secundario y terciario, y en otros más se lleva a cabo en las tres fases. La adición de cloro tiene diferentes propósitos: desinfección, reducción del olor, auxiliar en la operación de la planta, reducción de la demanda bioquímica de oxígeno, etc.
- * **Tratamiento terciario.** Esta fase del tratamiento involucra la remoción de nutrientes inorgánicos mediante filtración, que se lleva a cabo a través de arena y puede ser rápida o lenta, para remoción de hierro, manganeso y bacterias, la suavización de las aguas favorece la remoción de calcio y magnesio, además se elimina el cloro residual. Estos procesos permiten clarificar, reducir o eliminar el olor y el sabor del agua y mejorar la calidad de las aguas de desecho tratadas para su reúso. Los diferentes usos para los cuales pueden ser destinadas, según el índice de calidad de aguas renovadas, con el cual son obtenidas se presentan en el diagrama (Figura 2).

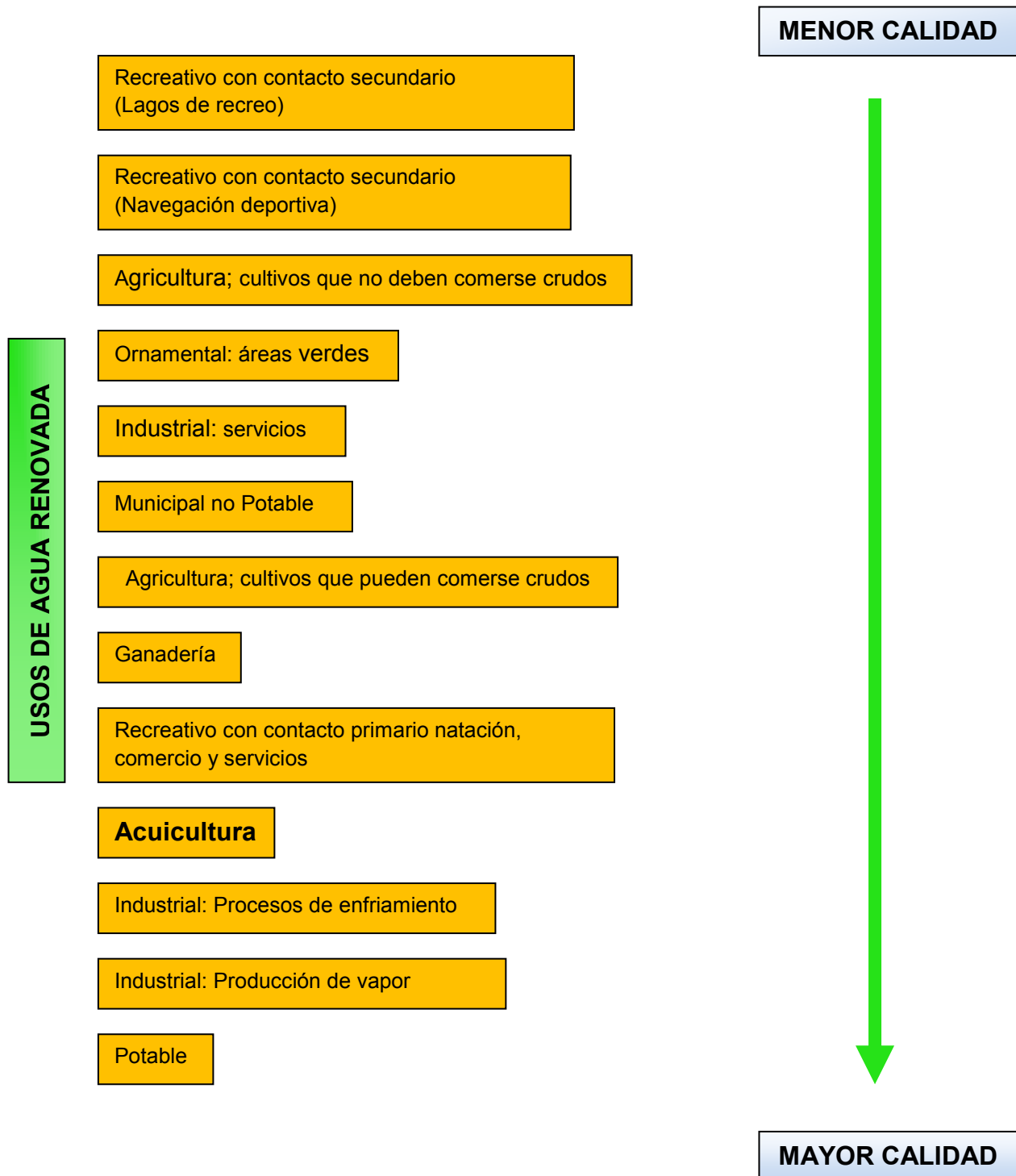


Figura 2. Diagrama de usos según el Índice de calidad de aguas renovadas (Guerrero, *et al.*, 1988)



En la República mexicana se colectan $209.1 \text{ m}^3\text{seg}^{-1}$ de aguas en los sistemas formales de alcantarillado municipales. Existen actualmente 2186 plantas de tratamiento en operación que procesan un caudal de $93.5 \text{ m}^3\text{seg}^{-1}$ que equivale al 44.8% del caudal colectado. En su mayoría solo se proporciona un tratamiento primario o secundario. Sin embargo el verter aguas crudas del caudal no tratado en sistemas naturales, produce una alta contaminación y se desaprovecha un recurso de gran potencialidad como son las aguas tratadas (CONAGUA, 2010)

El tratamiento terciario donde se logra la remoción de 50 a 100% del fósforo y nitrógeno remanente del tratamiento secundario convencional, es muy costoso. Hasta el momento no se han definido métodos óptimos para la reducción de nutrientes a bajo costo, aunque se han probado algunos como: mezcla artificial, cosecha de algas y plantas acuáticas, control químico, bombeo y actualmente el tratamiento con humedales, naturales o artificiales, donde se utilizan la carga de nitrógeno y fósforo disponible para cultivos de ornato principalmente. Es indispensable crear y probar tecnología que permita el tratamiento de un mayor volumen de agua residual sin incremento del costo, o bien proponer nuevas alternativas para el uso del agua tratada en sus diferentes calidades.

La combinación de acuicultura y disposición de desechos se ha realizado tradicionalmente en algunos países como China, Israel, India, etc., donde los granjeros piscícolas fertilizaban sus estanques con subproductos y desechos (inclusive de origen humano). La producción acuacultural disminuye en gran medida su costo utilizando esta práctica, al no asumir el alto costo de la fertilización inorgánica y los alimentos suplementarios. Sin embargo es importante mencionar que es uso de aguas residuales sin un tratamiento previo, para prácticas agrícolas o acuícolas, es un problema grave debido a los riesgos epidemiológicos que esto implica, la presencia de virus, bacterias, hongos y parásitos, así como la presencia de sustancias químicas no inocuas como plaguicidas, hormonas y metales pesados ha dado lugar a la restricción del uso de aguas residuales de manera directa (Seoánez, 2002)

En la actualidad, debido a la crisis energética y la necesidad de incrementar la producción de alimentos, cobra fuerza y genera interés el lograr un mejor aprovechamiento. Los desperdicios animales tienen un alto valor energético, por su contenido rico en proteínas, aminoácidos y nutrientes, siempre y cuando sean procesados para ser utilizados de forma segura. Aunque depende del tiempo de radiación solar, el almacenaje, el tipo de suelo, la calidad del agua de cultivo, las dimensiones del estanque, y las especies cultivadas (Porrás, 1981). Los desechos orgánicos administrados directamente solían ser aprovechados de dos formas. La primera, al ser ingeridos por los peces como alimento lo cual resulta con un máximo aprovechamiento de los nutrientes contenidos. La segunda constituida por las partículas no ingeridas que al ser degradadas por la acción bacteriana producen una gran cantidad de nutrientes inorgánicos disueltos en el agua que favorecen el crecimiento de algas. Estas últimas son consumidas en algunos casos por los peces y en la mayoría de las ocasiones por el zooplancton, que se desarrolla como parte de una cadena trófica, aprovechada posteriormente por la población íctica. En esta última se tiene un menor aprovechamiento, ya que en cada nivel trófico se pierde parte del valor energético y alimenticio (Pretto, 1980), sin dejar de lado el control de calidad de los



productos obtenidos, en función de su concentración de sustancias nocivas para el consumo como plaguicidas, metales pesados, hormonas, antibacterianos, antimicóticos, etc.

El uso de aguas residuales domésticas en los estanques para cultivos piscícolas se ha llevado a cabo desde tiempos remotos en países como China, Indonesia, Japón, Filipinas, Malasia, India, Sri Lanka, Tailandia, Bangladesh, etc. (Feachem *et al.*, en: Garry, 1977) y fue considerada como una de las mejores formas de abonar, a través de tres diferentes métodos:

Aplicación directa: Es el uso por repartición o esparcimiento directo de las aguas residuales sobre la superficie de estanque destinados al cultivo.

Dilución: En esta fase los estanques son llenados en forma parcial con agua limpia y se completa con agua de desecho, generalmente se deja que pase un tiempo para introducir a los organismos.

Pretratamiento: El cultivo se realiza con agua de desecho que ha sido sometida a algún tratamiento. En la mayoría de estos casos el tratamiento consiste en procesos de sedimentación y filtración. En plantas de tratamiento de aguas residuales el lugar adecuado para hacer un cultivo son las pozas de oxidación destinadas al tratamiento biológico y depuración de las aguas, en ellas se metaboliza la materia orgánica superficial por procesos aeróbicos, mientras que en el fondo se dan transformaciones anaeróbicas

El agua proveniente de zonas urbanas o agrícolas cuando es mezclada con el agua de estanques para cultivo, además de favorecer el tratamiento de estas aguas residuales plantea el aprovechamiento de un medio ambiente contaminado en un recurso útil, sin llegar a ser la solución perfecta, ya que presenta **ventajas** para el cultivo como son la presencia de nutrientes inorgánicos básicos que alimentan al fitoplancton y algunas macrófitas que servirán de punto de partida en la cadena trófica, a su vez estos organismos vegetales proporcionaran oxígeno al ecosistema, las partículas sólidas suspendidas son utilizadas directamente por el zooplancton y algunos peces, además de que estas aguas favorecen el crecimiento microbiano que incide en el crecimiento del zooplancton; sin embargo, se presentan **desventajas** que deben ser tomadas como un factor de alta prioridad al establecer la calidad del producto obtenido, como la presencia de compuestos tóxicos para los organismo, la carga microbiana nociva, la presencia de parásitos, etc. No obstante, los éxitos obtenidos son dignos de tomarse en cuenta.

El utilizar aguas tratadas para el cultivo de peces puede representar grandes beneficios a bajo costo, ya que con la mínima inversión en las instalaciones existentes se puede obtener una alta producción de biomasa planctónica y piscícola lo que representa un 50% de proteína sobre la base de su peso seco (Edwards *et al.* , 1981) y para esto pueden ser usados los **estanques de estabilización** utilizados en las plantas de tratamiento los cuales están destinados a la depuración biológica de las aguas de desecho, en los que se presenta degradación aeróbica propiciando la mineralización, estos nutrientes generados servirán para el desarrollo de la población algal que a su vez consumirá el bióxido de carbono y producirá oxígeno. En contraposición en el fondo de la poza se pueden presentar procesos anaeróbicos los cuales si no son controlados pueden llegar a ser muy tóxicos. Estos estanques se consideran la opción más apropiada para la reutilización de



las aguas residuales en ciudades desarrolladas, la utilización de estos efluentes en la acuicultura se ha realizado exitosamente en muchas ciudades alrededor del mundo (El-Gohary, *et al.*, 1995).

LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Se denominan también estanques de estabilización o pozas de oxidación, y se clasifican según la actividad biológica que ocurre en ellos (Romero, 1999):

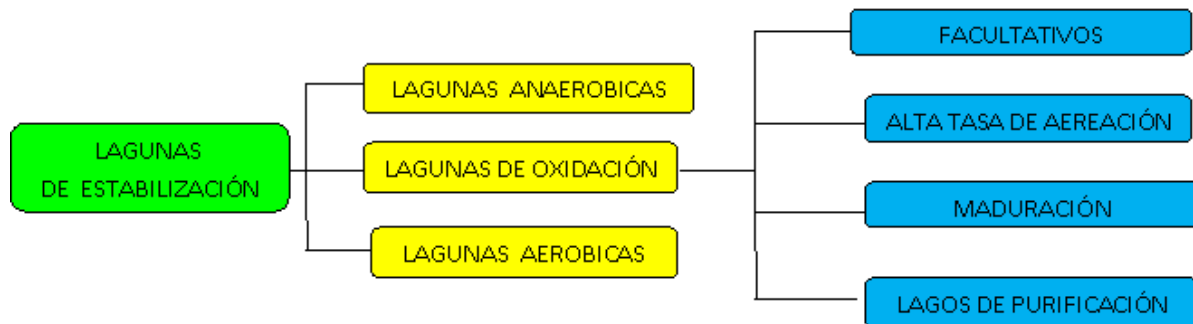


Figura 3. Clasificación de los estanques de estabilización (Basado en Romero, 2005)

LAGUNAS O ESTANQUES ANAERÓBICOS

Están diseñados para procesos predominantemente anaeróbicos que se desarrollan en capas de lodos activos biológicamente, en ellos la cantidad de oxígeno en la interfase aire-agua no es importante. Generalmente tienen una profundidad superior a 4 m y su área superficial no debe ser muy grande de tal manera que provoque la reducción de la tasa de reaeración y pérdida de calor en todo el sistema. En ellas se identifican comúnmente tres capas, una superior formada por residuos de grasas y aceites que aísla el sistema, previene la pérdida de calor, suprime el olor, y mantiene las condiciones anaeróbicas en la siguiente capa; una intermedia de contenidos sobrenadantes y aproximadamente 0.1% de sólidos volátiles y la tercera de lodo anaeróbico con 3 a 4% de sólidos volátiles. Estas lagunas se utilizan en el tratamiento preliminar con gran carga de desechos orgánicos.

ESTANQUES DE OXIDACIÓN

Facultativos.- En ellos se presentan reacciones de descomposición aerobia y anaerobia. La materia orgánica en la superficie es degradada por las bacterias liberando nitrógeno, fósforo y bióxido de carbono, las algas aprovechan esos nutrientes inorgánicos para desarrollarse, y utilizan la energía del sol, para liberar oxígeno que al quedar en solución puede ser utilizado nuevamente por las bacterias y por otros organismos. En el fondo la materia orgánica se descompone bajo condiciones anaeróbicas, produciendo nutrientes inorgánicos y compuestos con olor desagradable como los ácidos orgánicos y el sulfuro de hidrógeno. Estos compuestos pueden ser oxidados en la superficie minimizando su emisión a la atmósfera, sin embargo esto no siempre sucede y algunas veces el olor fétido se propaga en los alrededores. Los estanques facultativos que tratan solo aguas de desecho domésticas operan libres de olor excepto en un periodo corto de la primavera,

pero las lagunas donde son vertidas aguas municipales que incluyen desechos industriales producen olores desagradables y persistentes, dentro de sus desventajas también esta que sus efluentes solo cuentan con los requerimientos mínimos para ser vertidas en aguas superficiales. El papel de las algas en estos sistemas es fundamental, ya que el oxígeno consumido en la degradación aeróbica es suministrado casi en su totalidad por la actividad fotosintética. Los estanques facultativos son los más efectivos en cuanto al tratamiento biológico en remoción de nutrientes y reducción de eutrofización de las aguas recibidas (Gray, 1989).

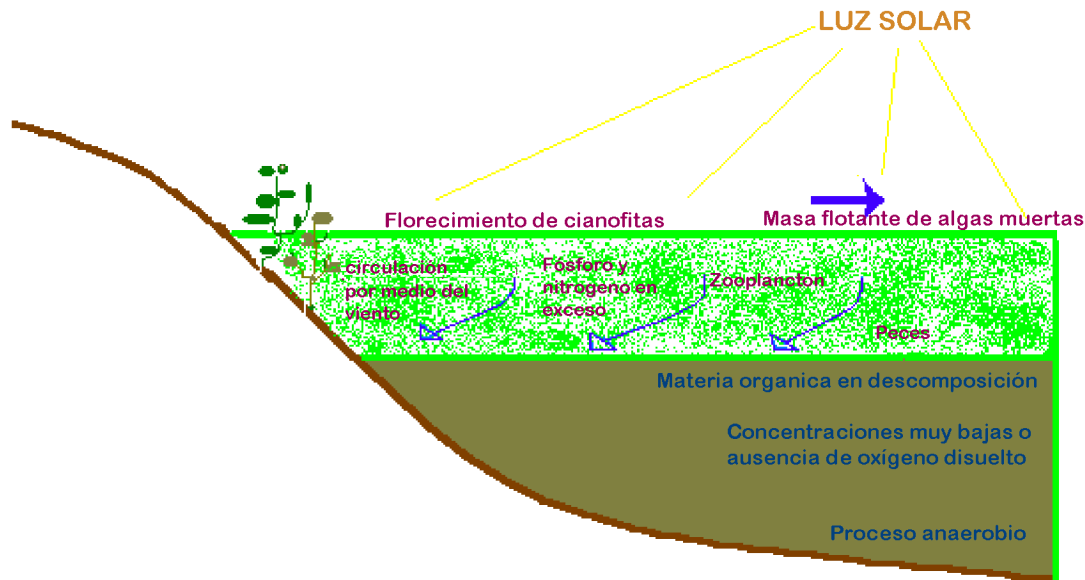


Figura 4. Principales componentes de los estanques de oxidación

Estanques con alta tasa de aireación.- Estos estanques no están diseñados para una eficiencia óptima de purificación, pero si para máxima producción algal, son lagunas someras con profundidad entre 20 y 50 cm, con periodo de retención de 1 a 3 días. Las condiciones aeróbicas se mantienen por la gran concentración algal y la mezcla mecánica, para prevenir la formación de lodo, se debe evitar cantidades grandes de materia orgánica que inhiban la fotosíntesis, por altas concentraciones de amonio.

Estanques de maduración.- Sirven para el procesamiento en el tercer grado de los efluentes provenientes de tratamiento secundario. La estabilización se hace por retención, y la superficie de aireación reduce la cantidad de sólidos suspendidos, DBO, microorganismos fecales y amonio, su profundidad se encuentra entre 0.5 y 1 m para favorecer la mezcla en la columna de agua y la penetración de luz.



LAGUNAS AERÓBICAS

Hay una mezcla completa, usualmente posteriores a los estanques facultativos que son usados en la primera etapa del tratamiento de aguas municipales. Su profundidad va de 3 a 3.7 m, en ellos se usan aireadores artificiales para mezclar los microorganismos en suspensión y generar oxígeno disuelto, el proceso biológico no incluye algas, ni estabilización orgánica. Según el diseño y la temperatura, el periodo de aireación puede ir de 3 a 8 días. Uno de los principales problemas en los estanques de oxidación es la alta producción de biomasa algal con la cual se incrementan los valores de DBO, por lo tanto para evitar la eutrofización de los estanques es necesario disminuir la población fitoplanctónica y una forma eficiente de hacerlo es por medio del cultivo de peces fitófagos u omnívoros (Pillay, 1992).

PISCÍCULTURA EN AGUAS RESIDUALES Y TRATADAS

El cultivo de peces en sistemas de tratamiento de aguas residuales puede mejorar la capacidad de tratamiento de los mismos, ya que la presencia de los peces reduce la demanda bioquímica de oxígeno de las aguas, permite la reducción de nutrientes y puede favorecer el ritmo de desinfección. (Allen and Heper *in*: Pillay and Dill, 1979). Es indispensable comentar los riesgos que esta práctica conlleva dentro de los cuales se encuentran: las bajas concentraciones de oxígeno disuelto en el agua, la presencia de sustancias tóxicas en las aguas residuales, el olor o sabor desagradable en los peces cultivados, la presencia de organismos patógenos en los peces y los problemas que en cuanto a salud pública se pueden presentar, el cumplir con las normas establecidas para los efluentes y principalmente la aceptación por parte del público a este tipo de sistemas. Tomando en cuenta los puntos anteriores es difícil iniciar estudios en esta área sobretodo en lugares donde no se tiene tradición en este tipo de cultivos, sin embargo el considerar el rápido crecimiento demográfico, en áreas cada vez más limitadas origina crecientes problemas de contaminación y de salud, por lo que en algunos países como Egipto, haciendo a un lado la actitud social y las políticas, se considera que las aplicaciones de la reutilización de aguas residuales utilizando estanques de estabilización, son un opción altamente viable, con obtención de organismos libres de coliformes y estreptococos fecales, huevos de helmintos y quistes de protozoarios, parásitos y por lo tanto seguros para el consumo humano (Shereif, *et al.*, 1995).

Para realizar cultivos piscícolas en aguas tratadas es muy importante la selección cuidadosa de las especies por las condiciones adversas que se presentan en las pozas de estabilización, dentro de las más utilizadas están las carpas, las tilapias y lisas. Particularmente la Tilapia, originaria de África, tiene una gran adaptabilidad, actualmente presenta una distribución mundial de forma que se ha convertido en el cultivo más importante de las aguas templadas (FAO, 1989). Son altamente resistentes a enfermedades y condiciones adversas del medio, presentan un crecimiento rápido e ininterrumpido, se adaptan a todo tipo de alimento, tienen un alto índice reproductivo y baja mortalidad como consecuencia de estos últimos genera enanismo en su especie deteriorando el medio y afectando a otras especies que se encuentren en el lugar (Sepesca, 1994).

Para que la acuicultura en aguas residuales sea fructífera, se debe contar con información básica y entender diversos procesos como la dinámica físico-química de los estanques, con relación a las necesidades fisiológicas de las especies en cultivo y las interacciones biológicas que se presentan, así como estudiar la función que tienen estos sistemas en zonas templadas y



tropicales, además de los agentes patógenos y contaminantes químicos que afectan al hombre. (Allen and Hephher *In*: Pillay, 1979)

En México se tienen pocos registros del aprovechamiento de aguas residuales en la acuicultura, se sabe que se realiza a nivel piloto en Hidalgo y Guerrero en aguas tratadas mediante humedales (Castro, 2011; Cantellano, comunicación personal). La intención de este trabajo es contribuir al conocimiento biotecnológico en esta área ya que en nuestro país debido a la creciente población día con día se desechan grandes volúmenes tanto de aguas negras como parcialmente renovadas y esto provoca una continua contaminación de los sistemas terrestres y acuáticos. Por lo tanto desarrollar tecnologías para la reutilización de las aguas de desecho, al igual que la producción de alimentos deben ser temas prioritarios, enfatizando que los productos generados para ser destinados al consumo deberán cumplir con estrictas normas de calidad y mantenerse libres de contaminantes químicos y biológicos.

En este estudio, se llevó a cabo el cultivo de *Oreochromis niloticus* en una poza de oxidación de una planta tratadora de aguas negras domésticas, para dar seguimiento al desarrollo de los peces y su relación con las condiciones físicas, químicas y biológicas del sistema, antes y durante el tiempo de cultivo.

La importancia de realizar este cultivo representa:

- a) El aprovechamiento de un recurso subutilizado hasta el momento en nuestro país y que normalmente ocasiona trastornos ecológicos
- b) El aprovechamiento de los nutrientes presentes generando producción de biomasa con alto contenido proteico
- c) Una alternativa para la reducción de la eutrofización y azolvamiento del sistema al ser aprovechada la materia orgánica en forma directa o indirecta por la especie del cultivo.
- d) La obtención de datos acerca del comportamiento que presentan los estanques de estabilización o pozas de oxidación a través del tiempo que con el fin de establecer un modelo básico que permita definir una estrategia adecuada para el aprovechamiento y manejo de la cadena trófica en el sistema.



ANTECEDENTES

SELECCIÓN DE ESPECIES PARA SISTEMAS CON APROVECHAMIENTO DE DESECHOS

Realizar cultivos piscícolas en aguas de desecho, o parcialmente tratadas requiere de una cuidadosa selección de las especies, por las condiciones adversas que se presentan en estos sistemas de cultivo. Dentro de las especies que se han utilizado en estas prácticas están:

Cuadro 1. Principales especies cultivadas en aguas de desecho y tratadas

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	POSICIÓN EN EL ESTANQUE	HÁBITOS ALIMENTARIOS
<i>Aristichthys nobilis</i>	Carpa cabezona	Capas superiores	Fitoplancton, zooplancton y sólidos suspendidos
<i>Ctenpharyngodon idella</i>	Carpa Espejo	Toda la columna de agua	Omnívoros
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpa común	Fondo	Fitoplancton, zooplancton, larvas de insecto, detritus.
<i>Gambusia affinis</i>	Pez mosquito	Superficie	Algas, larvas de insectos y zooplancton.
<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	Carpa plateada	Capas superiores	Fitoplancton
<i>Ictalurus spp.</i>	Bagre	Fondo	Crustáceos, algas, peces y larvas de insectos.
<i>Ictiobus spp.</i>	Pez búfalo	Fondo	Crustáceos, detritus y larvas de insecto.
<i>Mylopharyngodon piceus</i>	Carpa negra	Fondo	Crustáceos, mejillones y caracoles
<i>Notemigona crysoleucas</i>		Fondo	Fitoplancton, zooplancton e invertebrados.
<i>Phinephales promelas</i>		Fondo	Fitoplancton, zooplancton e invertebrados.
<i>Tilapia spp., Sarotherodon spp., Oreochromis spp.</i>	Tilapia	Toda la columna de agua (según especie)	Plancton, plantas, detritus e invertebrados.

Los parámetros que se pueden considerar críticos para el cultivo de peces en estos sistemas son: la temperatura, los niveles de oxígeno disuelto, la presencia de amoníaco, un valor de pH fuera del intervalo de tolerancia (6.5 a 9), salinidad, metales, sustancias tóxicas y presencia de patógenos o microorganismos nocivos para la salud (Ronald, 1988).

De las especies mencionadas con anterioridad, el grupo íctico conocido comúnmente como Tilapia comprende tres géneros *Tilapia*, *Sarotherodon* y *Oreochromis*. Su cultivo en forma comercial y experimental se ha logrado en todo el mundo, tiene alta resistencia y buen crecimiento, constituye una fuente de proteína a bajo costo, lo que la hace atractiva para ser cultivada en sistemas con fertilización orgánica, que se logra con el aprovechamiento de desechos sólidos o bien de aguas



de desecho. La experiencia en su cultivo indica que tienen mayor eficiencia en sistemas fertilizados orgánicamente, con altas densidades y sin alimento suplementario con abundantes cosechas, que en aquellos que se realiza fertilización inorgánica, las tilapias pueden clasificarse en especies macrófagas y micrófagas en condiciones de cultivo, presentan hábitos alimenticios flexibles por lo que se consideran alimentadores facultativos, y utilizan tanto el fitoplancton suspendido, como el material sedimentado de origen planctónico, el mecanismo por el cual ingieren su alimento es debatible y se discute sobre si utilizan sus dientes o mandíbulas o sí simplemente lo hacen por inhalación respiratoria al propiciar que la corriente hacia la boca, algunas especies poseen glándulas secretoras de moco que sirven como adhesivos a los alimentos y pasan a los huesos faríngeos, algunas especies cuentan con finas proyecciones laterales denominadas microbranquiespinas y pueden ser una adaptación y refinamiento de este método, cuando el arco branquial se abre y cierra, se cierran las microbranquiespinas y el agua pasa a través de ellas reteniendo partículas pequeñas, este puede ser el camino por el cual es colectado el fitoplancton, las partículas se retienen en el fondo del opérculo y pasan a la boca con una corriente inversa que filtra el material hacia la mucosa de la cavidad bucal.

La amplia distribución de las microbranquiespinas además protege las agallas, de la acción abrasiva de partículas finas y es una ventaja en las especies que colectan su alimento en el fondo. Desde el punto de vista evolutivo es aceptado que todos los cíclidos eran primitivamente alimentadores del fondo; sin embargo sus características pueden haber sido utilizadas posteriormente para la recolección del plancton.

La Tilapia ha sido cultivada en sus diferentes géneros y variedades durante muchos años, en épocas más recientes su cultivo ha sido intensivo, semi-intensivo y extensivo; sin embargo su optimización siempre será importante. Mjoun, *et al.* (2010) realizaron una revisión sobre los requerimientos nutricionales y ambientales para el mejor desarrollo de estos peces.

Actualmente en la acuicultura urbana se considera la posibilidad de este tipo de cultivos en zonas marginadas y periurbanas. Vega, *et al.* (2010) mostró los resultados que fueron comparados con datos de una producción comercial encontrando que el peso promedio final y la tasa de crecimiento porcentual no difirieron significativamente entre ambos

APROVECHAMIENTO DE DESECHOS ORGÁNICOS EN ACUICULTURA

Como ya se mencionó los orígenes de esta práctica se remontan varios siglos atrás, pero en la actualidad se hace necesario realizar investigaciones que la optimicen, para alcanzar mayores beneficios en la producción acuicultural. Algunos estudios sobre el cultivo piscícola con aprovechamiento de materia orgánica son los siguientes:

En 1974, Shroeder en un cultivo de peces calculó la cantidad ideal de fluido de estiércol vacuno a aplicar, sin producir anoxia. Para densidades de 5000 peces/ha encontró un crecimiento 25 a 100% mayor, que en estanques no fertilizados con el estiércol, y con tasas de crecimiento de 3.3 a 4 g/día.

Stickney *et al.* (1979) cultivaron *Tilapia nilotica* e *Ictalurus punctatus* en estanques de 0.04 ha, en diferentes periodos, utilizando estiércol porcino para fertilizar directamente el agua de los cultivos.



Posteriormente hicieron un estudio con el propósito de determinar el efecto del pasado histórico acerca de la fertilización los estanques, en el crecimiento y sobrevivencia de los peces. Utilizaron seis estanques, sobre cada uno de ellos exceptuando el último, colocaron 2 cerdos en periodo de crecimiento y finalización para fertilizar los cultivos de 200 organismos de *Tilapia nilotica*, que se introdujeron con un peso promedio de 0.6 g, el cultivo duró 3.5 meses. En los primeros cinco estanques se obtuvo un peso promedio de 187 g por organismo y en el último estanque que no recibió ningún tipo de fertilización, ni alimento suplementario, la diferencia fue significativa, con peso promedio de 63.7 g.

Algunos de los parámetros físico-químicos medidos se mantuvieron en los siguientes intervalos

Temperatura	29 ± 3 °C	Oxígeno disuelto	4 - 15.2 mg L ⁻¹
pH	7 - 10	Alcalinidad total	310 - 470 mg CaCO ₃ / L ⁻¹
Nitrato	0 - 0.2 mg L ⁻¹	Dureza Total	30 - 50 mg CaCO ₃ L ⁻¹
Amonio	0.1 - 0.78 mg L ⁻¹	Ortofosfato	0.11 - 0.14 mg L ⁻¹

Collins y Smitherman (1979) en la Universidad de Auburn, Alabama, cultivaron experimentalmente machos híbridos de *Tilapia nilotica* y *Tilapia hornorum* en densidades de 10,000 peces/ ha, aplicando 2 tratamientos con 3 réplicas. En el primer tratamiento se suministró estiércol vacuno (19% de proteína cruda) y en el segundo una dieta comercial (36% de proteína cruda), la ganancia en peso diaria fue de 1.7 y 2.8 g para el primer y segundo tratamiento, con una conversión de materia seca de 3.3 y 1.3 y de proteína cruda 0.62 y 0.48 respectivamente. El período de estudio fue de 103 días con una producción promedio de 16 Kg/ha/día con 28,381 Kg/ha de estiércol fresco y de 25.8 kg/ha/día con 3521 Kg de dieta comercial. El análisis estomacal mostró el aprovechamiento directo del estiércol como alimento de los peces. La evaluación organoléptica no indicó diferencia significativa en el sabor y textura de los peces cultivados con ambos tratamientos. La concentración de oxígeno disuelto en las mañanas fue baja.

Burns (1980) llevó a cabo un cultivo de *Tilapia aurea* en cuatro estanques que recibían únicamente desechos avícolas, en un período de 150 días obtuvo organismos con un peso promedio de 304 g. mientras que en el estanque testigo que no recibió estos desechos el peso promedio fue de 46 g. La sobrevivencia fue de 95%. Tres organismos de cada estanque fueron sometidos a análisis microbiológico y estuvieron libres de *Salmonella sp.* El género de algas dominantes en el estudio fue *Anabaena*. Los parámetros físicos y químicos se mantuvieron en los siguientes intervalos.

Temperatura	20 - 28 °C	pH	7.2 - 9.3
Nitrato prom.	0.1 mg L ⁻¹	Alcalinidad total	80 - 140 mg CaCO ₃ L ⁻¹
Nitrato prom.	2.9 mg L ⁻¹	Dureza Total	125 - 265 mg CaCO ₃ L ⁻¹
Amonio máx.	2.4 mg L ⁻¹	Ortofosfato máx.	5.0 mg L ⁻¹

Noriega (1981) menciona la importancia del abono orgánico en China, razón por la cual la piscicultura se asocia con la ganadería y crianza animal. Los desechos se tratan como composta y después son aplicados a los estanques con los residuos líquidos de la fermentación. Tradicionalmente el excremento humano se utilizaba directamente como fertilizante, pero



actualmente por razones de sanidad, se somete a tratamiento anaeróbico previo a su uso como fertilizante constituyendo el 33% de los recursos totales de abono.

Ruíz (1981) realizó un cultivo múltiple con híbridos de Tilapia, carpas, guapotes y almejas en un estanque de 4000 m² de superficie y un metro de profundidad el cual se fertilizó con gallinaza en una cantidad de 28 a 42 Kg/d/4,000 m², después de ocho meses se alcanzó una producción superior a 8,000 Kg/ha/año.

Hernández (1987) en un policultivo con Tilapia y cuatro especies de carpa en un embalse temporal fertilizado con estiércol de ganado vacuno, obtuvo organismos con un peso aproximado de 185 g en un periodo de siete meses.

Mishra, *et al.* (1988) utilizaron malezas acuáticas y desechos animales para el cultivo de carpas, encontrando que el tratamiento con el desecho animal y el biogás generado incrementó la producción de peces en un 126 % comparado con el control donde se obtuvo un promedio de la producción bruta sobre la producción neta de 1409.5 / 1258.05 Kg/ha/año.

Greens, *et al.* (1989) experimentaron el efecto de desechos avícolas, vacunos y fertilizantes químicos en la producción de *Oreochromis niloticus* en estanques de tierra aplicando semanalmente cantidades equivalentes de nitrógeno y fósforo. La producción neta total promedio (1759 Kg/ha) después de 150 días fue mucho mayor en el tratamiento con residuos aviares.

Yi y Li (2000) resaltaron las ventajas que tiene el realizar cultivos simultáneos en jaulas y el estanque de forma integral. 1) Los desechos generados por las dietas altamente proteicas suministradas a los cultivos en jaulas, pueden ser aprovechados como fuente alimenticia para los peces en el estanque. 2) Los nutrientes en lugar de ser desechados son aprovechados y se disminuye la cantidad de ellos que sería liberada en los efluentes directa o indirectamente al medio. 3) Se utiliza en policultivos para disminuir costos. 4) En policultivos para maximizar el aprovechamiento y manejo de la época de crecimiento de forma más conveniente y fácil. 5) El costo para integrar a los peces comestibles como organismos comunes en las áreas urbanas, puede parecer caro, sin embargo su costo efectivo puede ser mínimo.

Yi *et al.* (2003) realizaron estudios sobre la viabilidad del cultivo de tilapia del Nilo al utilizar los desechos de un cultivo intensivo de bagre híbrido (*C. macrocephalus* y *C. gariepinus*), la cosecha en estas condiciones fue comparable a la obtenida en estanque fertilizados, la tilapia aprovecho las cantidades de nitrógeno y fósforo contenidas en los desechos del cultivo intensivo del bagre. Los autores sugieren que un sistema de recirculación entre bagre confinado en jaulas y la tilapia en un embalse de recirculación tendría un resultado efectivo además de reducir el contenido de nutrientes en los efluentes.

APROVECHAMIENTO DE AGUAS DE DESECHO

Los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales son una fuente primaria de nutrientes para los peces, según se ha considerado en diversos lugares. En Munich esto se realiza como el tratamiento terciario o de acondicionamiento para el drenaje de la ciudad con tasas de producción



de Carpa del orden de 400 - 600 Kg/ha/año, prácticas similares en Berlín y Holanda reportan producciones hasta 1300 Kg/ha/año (Mc Garry, 1977)

Jhingran (1974) obtuvo una producción de 3.2 ton/ha/año de Carpa de la India en un estanque fertilizado con aguas de desecho provenientes de la Cd. de Bengala, India.

Hepher y Schroeder (1977) demostraron los beneficios que se pueden adquirir al utilizar agua de desecho para cultivo de peces incrementando su producción en un 75%.

Edwards (1980) observó que la *Tilapia nilotica* tiene un buen crecimiento con algas producidas en un estanque fertilizado con aguas residuales tratadas, de donde concluye que el uso de estas aguas es clave para un incremento en la producción de peces en los trópicos con mínimas entradas de energía.

Edwards *et al.* (1981) estudiaron el crecimiento de *Tilapia nilotica* en estanques de concreto de 4 m³ alimentados con efluentes de un estanque con alta tasa de estabilización probando diferentes densidades y tiempos de retención en un periodo de 3 meses. Encontraron las relaciones entre el tiempo de retención, la concentración fitoplanctónica y el crecimiento de los peces.

Edwards *et al.* (1983) en el Instituto Asiático de tecnología de Bangkok hicieron 3 experimentos cada uno en 4 estanques rústicos de 200 m² y 1 m de profundidad; a los que se adicionó composta en tasas variables para el cultivo de *Oreochromis niloticus* durante 6 meses, a razón de 5 peces/m². Esta especie se alimentó directamente de composta y se obtuvo un factor de conversión alimenticia promedio de 7.4, lo que muestra que esta puede ser utilizada en los cultivos como alimento suplementario o fertilizante. La producción media extrapolada entre 856 y 3,572 kg/ha/año

Wong y Tam (1984) utilizaron algas unicelulares en suspensión cultivadas a partir de lodos de aguas residuales para alimentar langostino (*Cardinia sp.*) y carpa común (*Cyprinus carpio*). Realizaron una selección de cuatro medios de cultivo de las algas con base en su contenido proteico y de metales y un medio comercial como testigo. Los cultivos se hicieron en tanques de 48 L con una densidad de 20 crustáceos juveniles (2.0 - 2.5 cm) por tanque o 20 carpas de 3 cm de longitud, estas últimas fueron alimentadas con una dieta comercial, algas cultivadas en los medios seleccionados y langostinos alimentados con algas de los medios mencionados. Sus resultados demostraron la importancia del contenido proteico en las algas para el mejor cultivo del langostino, sin ser relevante la cantidad de metales ya que no se encontró diferencia en el contenido de metales pesados con el testigo. Sin embargo para las carpas el contenido de metales pesados en su alimento provoca efectos negativos en su crecimiento, el mejor crecimiento de la carpa (*Cyprinus carpio*) se obtuvo en las alimentadas con langostino que ingirió algas con bajo contenido proteico y de metales pesados.

Turner *et al.* (1986) utilizaron un efluente de aguas residuales con tratamiento secundario y clorado para el cultivo en agua salina del híbrido producido con *Oreochromis aureus* o y *Oreochromis niloticus* o en densidades de 8400 a 25000 peces /ha, con una cosecha de 3.9 a 8.1 ton/ha en cada estación de crecimiento (210 - 226 días).



Szlauer. y Szlauer. (1987) durante 4 años cultivaron carpa (no se menciona que especie) en estanques alimentados con efluentes de una planta química los cuales eran previamente alcalinizados y sometidos a tratamiento secundario. En una primera etapa llevaron a cabo esto en microestanques de 1 m³, a los que se adicionó urea (0.25 g/dm³), la producción obtenida fue de 1200 Kg/ha y la reducción de fosfatos del 90% en el agua. Posteriormente en 4 estanques de 500, 2500, 300 y 300 m² de área superficial y profundidad promedio de 0.5 m y fondo de tierra, el estanque que recibió directamente los efluentes fue el I y de ahí secuencialmente hasta el IV. Se iniciaba el llenado de los estanques en primavera y se drenaban en invierno. Las condiciones de un año a otro variaron y no siempre se cultivó carpa en los cuatro.

AÑO	1	2	3	4
Estanques para cultivo de carpa	II y III	II, III y IV	II	IV
Densidad (org m ⁻²)	1	9.8	0.1	1.5
Peso prom. de introducción (g)	.0.225	larvas	1.29	3.23
Tasa de supervivencia (%)	48	4.1	17.8	51.5
Producción (Kg/ha.)	229.3	140	57.2	300.8

Los resultados del cultivo de carpa fueron positivos, sin embargo la producción fue menor a la esperada y esto se atribuyó a falta de fertilización, además se registró un decremento en la concentración de fosfatos entre 81.6% y 85% y en la de amonio de 40% en el agua de los estanques

Saha, (1994) en Bangladesh, sometió el agua de desecho a tratamiento preliminar, en un tanque con 10 ppm de limo después de 5 días, realizó diluciones 1:1, 1:2, 1:3, en otros 3 tanques de 0.8 m³, donde cultivo *Oreochromis niloticus* con una densidad de 4 organismos /tanque y suministró 10 l. de agua residual cada 7 días. Después de un mes registró un incremento de 1.58, 1.43 y 1.30 g/día de biomasa íctica en cada uno de los tanques respectivamente. La temperatura se mantuvo entre 28-30 °C, el pH entre 6-8 y el Oxígeno disuelto entre 4-6 ppm.

Bhowmik et al., (1994) en India analizaron la abundancia de microbios en un ecosistema acuicultural de estanques alimentados con efluentes sometidos a tratamiento primario y en dilución 1:1, donde se cultivaron 7000 alevines/ha de 4 especies de peces. (Catla 30%, rohu 40%, mrigal 20 % y carpa plateada 10%) La supervivencia se mantuvo entre 64 y 90 %y la producción bruta fue de 2110.84 Kg /ha. El valor promedio de coliformes totales y fecales en el efluente alimentador fue de 2.2 x 10⁴/100 ml y 0.5 x 10⁴/100 ml, en los estanques después de 15 días de estabilización fue de 1.6 x 10⁴/100 ml y 0.3 x 10⁴/100 ml, durante el cultivo el número decreció a 1.2 x 10⁴/100 ml y no detectable, respectivamente. En los peces se encontró un alto número (3 x 10⁴) de bacterias heterotróficas en el riñón de todas las especies cultivadas, sin embargo no fueron observados coliformes en ningún órgano de estos organismos.

El-Gohary *et al.* (1995) en Egipto simularon a escala un sistema de estanques de oxidación con la intención de observar la factibilidad de tratamiento del agua de desecho municipal, y su uso en acuicultura. En el sistema se presentó una reducción en BOD₅ (89.7%), COD (71.2%), Sólidos en



suspensión (de 362 a 56 mg/l) y coliformes totales (de 6.1×10^{-6} /100 ml a 1.6×10^{-10} /100 ml), la estructura de la comunidad algal estuvo formada por *Chlorophyta*, *Euglenophyta*, *Cyanophyta* y *Bacillariophyta*. En cuanto a la población íctica se introdujeron organismos de *Hypophthalmichthys molitrix* los cuales presentaron síntomas de stress y una mortalidad de 100% la cual se atribuyó a la presencia de ion amonio, posteriormente se introdujeron organismos de *Oreochromis niloticus* los cuales en un periodo de 92 días registraron una tasa de crecimiento diaria de 1.43% de acuerdo a la masa corporal y una producción de 71.5 Kg/ha/d

Shereif *et al.* (1995) utilizaron paralelamente en la Cd. de Suez, dos sistemas de estanques para tratamiento de agua, el primero con agua tratada en un sistema con estanques de estabilización (Anaeróbico, facultativo y de maduración) y el segundo un sistema formado por 4 estanques planctónicos de diferentes dimensiones, el primer tratamiento por la calidad de sus efluentes se uso para el cultivo dos especies de peces, *Oreochromis niloticus* y *Mugil sehli*, la producción fue de 5-7 ton métricas/ha/año. Los efluentes tratados mostraron una reducción de nitrógeno total de 74.69% y fósforo total entre 40 y 60%. Se encontró que los peces estaban libres de parásitos nocivos para el hombre, la reducción de microorganismos dañinos de un estanque a otro, desapareciendo totalmente en el último estanque de estabilización dedicado al crecimiento piscícola han desaparecido los coliformes totales y fecales, estreptococos fecales, huevos de helmintos y quistes del protozoos.

El -S.-Easa *et al.* (1995), teniendo en cuenta que existe una tradicional resistencia al reutilización de aguas de desecho para cultivo de peces a estudiaron los aspectos de salud pública y seguridad en dos especies de peces (*Oreochromis niloticus* y *Mugil sheli*) cultivadas en efluentes de una planta de tratamiento convencional. El examen bacteriológico se realizó por conteo en placa aeróbica, coliformes fecales, *Staphylococcus aureus*, enterobacterias; además en la superficie del pez en diferentes tiempos del cultivo y el músculo, en ellos se hizo análisis para *salmonellae*, *shigella*, *E. coli* y *Aeromonas hydrophyla*. Se observó una disminución significativa en la cantidad de organismos analizados del inicio del cultivo al fin del mismo cuatro meses después. En cuanto al porcentaje de bacterias aisladas en los peces, en ambas especies se presentó *Aeromonas hydrophyla* tanto en superficie como en músculo; *Escherichia coli* y *Salmonella* en superficie 30% y 10% en *Mugil sheli* y 40 % y 12% en *Oreochromis niloticus* respectivamente; *Staphylococcus aureus* y *shigella* estuvieron ausentes. Además se registro la presencia de metales pesados (Pb, Cu, Zn y Cd) en niveles menores a los límites internacionales para consumo humano.

Moscoso, (1999), describe las experiencias realizadas en 1983-1998 sobre acuicultura con las aguas residuales tratadas en las Lagunas de estabilización de San Juan en Lima, Perú. Resalta grandes logros como la rentabilidad de la producción de pescado apto para el consumo humano, establecer los límites de calidad para efluentes tratados destinados a la crianza de peces y las ventajas que ofrecen las lagunas de estabilización para alcanzar estos niveles, y elaborar un modelo computarizado para formular proyectos integrales de tratamiento de aguas residuales y granjas piscícolas comerciales en zonas tropicales y subtropicales.

Moscoso (2002), hace una compilación de los aspectos técnicos de la acuicultura con aguas residuales, en donde se maneja *Oreochromis niloticus* en diferentes experimentos y resume la



selección de organismos, las características de los efluentes crudos y con tres niveles de tratamiento de las aguas residuales, las diferentes condiciones de los cultivos en experimentos varios, las ventajas de este tipo de cultivos, la producción obtenida, la calidad de los organismos como productos finales y el impacto social en este proyecto.

El-Shafai, *et al.*(2004), investigaron sobre la calidad microbiológica de *Oreochromis niloticus*, al cultivarla en 4 embalses con contaminación fecal, el primero con un promedio de 4×10^3 UFC/100 mL y utilizando como alimento lentejilla de agua cultivada en aguas de desecho tratadas, con un promedio de 4.1×10^2 y $1,6 \times 10^4$ UFC/g peso fresco de bacterias coliformes fecales adjuntas, el segundo con aguas residuales tratadas y como alimento salvado de trigo, el tercero con agua limpia y la misma lentejilla y el cuarto solo con aguas residuales con un promedio de coliformes fecales $2.1 \times 10^8/100$ mL. El promedio del conteo de coliformes fecales fue de 2.2×10^3 , $1,7 \times 10^3$, $1,7 \times 10^2$ y $9,4 \times 10^3$ UFC/100 mL, para cada uno de los estanques respectivamente, el tercer embalse presentó diferencia significativa con respecto a los otros tres. La calidad microbiana de los órganos de tilapia indica que todos los tejidos excepto el músculo estuvieron contaminados con coliformes fecales en el siguiente orden decreciente intestino, agallas, piel e hígado. El embalse con menor calidad del agua y presencia de amonio y nitritos presentó un mayor nivel de coliformes fecales con diferencia significativa a los otros embalses.

Bunting (2007), contrasta el uso de dos sistemas de tratamiento de aguas residuales, uno convencional y otro denominado racional en donde el proceso de evaporación juega un papel muy importante. Posteriormente al tratamiento el agua se reusa en el cultivo piscícola. La evaluación se centra en el rendimiento financiero, la retención de nutrientes y la producción pesquera. Aparentemente el sistema racional ofrecería mejoras, en la producción de peces, las oportunidades de empleo y condiciones de cultivo, aunque se requiere efectuar un monitoreo continuo de la calidad del agua; sin embargo el requerimiento de mayores espacios, las transformaciones necesarias en la infraestructura y la disminución en la retención de nutrientes, hace que social y ambientalmente sea poco probable su implantación.

RIESGOS AMBIENTALES EN EL CULTIVO DE TILAPIA

La acuicultura es una actividad pensada e impulsada para disminuir los problemas alimentarios y nutricionales de los pueblos. Su principal objetivo es el cultivo de especies con características importantes para ser consumidas de forma frecuente por la población en autoconsumo, cuando se realiza a través de cultivos extensivos o semintensivos; o bien para comercialización y exportación cuando su producción es mediante cultivos intensivos.

Uno de los mayores impactos causados por las actividades antropogénicas en los sistemas naturales ha sido la introducción de especies exóticas, sin un adecuado control y manejo. De acuerdo a los registros de la FAO (2010) la acuicultura ha representado el 40% del total de especies introducidas.

La transferencia de especies o poblaciones a un nuevo entorno, altera las interacciones ecológicas entre las especies. Además es importante considerar la posibilidad de hibridación entre especies relacionadas, sobre todo cuando la especie introducida invade el hábitat de especies endémicas.



En las últimas décadas del siglo XX, la tendencia en la acuicultura por diferentes gobiernos de Latinoamérica fue el impulso a paquetes tecnológicos para producción de especies exóticas, con gran capacidad de adaptación y buen crecimiento; sin embargo no fueron considerados los efectos negativos que esto generó, al desplazar a las especies nativas.

El impacto de las especies exóticas se ve reflejado en aspectos biológicos desde el punto de vista genético y ecológico, los cuales en su mayor parte han sido negativos, mientras que el impacto socioeconómico ha sido positivo. (www.fao.org, Soto *et al.* 2001, Gajardo and Laikre 2003, Pérez *et al.* 2003).

La alteración de los hábitat, la contaminación, la hibridación, la consanguinidad y la introducción de exóticos son actividades vinculadas a la acuicultura que conducen a la disminución de la biodiversidad en organismos acuáticos (Pérez, 1996). Se ha mencionado que las actividades de acuicultura fundamentada en especies exóticas puede ser un problema más que una solución (Pérez *et al.* 2000, 2003). Inevitablemente se han presentado escapes de las instalaciones de acuicultura y esto ha favorecido la invasión de estos organismos a cuerpos acuáticos continentales. Al respecto la FAO (1997) señaló que: "en el caso del medio acuático, la experiencia ha demostrado que los animales rebasan fácilmente los límites de las instalaciones dedicadas a su cultivo. Por lo tanto, la introducción de organismos para actividades acuícolas debe considerarse como una introducción deliberada en un espacio natural, aun cuando el centro de cultivo o la piscifactoría puedan ser un sistema cerrado".

Las tilapias poseen cualidades que las convierten en organismos de gran interés para la acuicultura, entre las cuales destacan: crecimiento acelerado, tolerancia a altas densidades, resistencia a enfermedades, carne de amplia aceptación y alta capacidad de hibridación que pudiera permitir el vigorizar caracteres deseables (Stickney, 1993). Estas aunadas a otras como la agresividad, tolerancia a amplias variaciones de salinidad, temperatura y concentraciones de oxígeno disuelto, amplitud de alternativas de alimentos, adaptabilidad ecológica, plasticidad fenotípica y sobre todo la alta eficiencia reproductiva debido al cuidado parental de huevos y de alevines, y la reproducción semipermanente y precoz, las convierten en organismos con un enorme potencial para competir exitosamente con especies nativas (Pérez *et al.* 2004)

Uno de los agravantes más importantes de las especies exóticas invasoras es que al no encontrar en el nuevo ambiente a sus predadores y parásitos naturales, pueden experimentar expansiones poblacionales. Por lo anterior y ante los riesgos que entraña el cultivo de tilapias, a causa de los escapes eventuales, desde los sitios de cultivo al medio natural, organizaciones como el International Council for the Exploration of the Seas, Environmental Protection Agency y Fish and Wildlife Service han propuesto códigos de procedimientos de manejo para mitigar los efectos devastadores de su introducción en ambientes no autóctonos (TED, 2001).

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la factibilidad del aprovechamiento de las aguas residuales domésticas por medio del cultivo en jaulas, con diferentes densidades de *Oreochromis niloticus*, en función de las condiciones físicas, químicas y biológicas prevalcientes en la poza de oxidación

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.- Determinar el crecimiento de *Oreochromis niloticus* cultivada en jaulas flotantes, en cuatro densidades diferentes y sin ningún alimento adicional a través de:

- Obtención de datos biométricos de los peces:
 - Longitud patrón y total
 - Altura
 - Peso

- Análisis del incremento en peso y longitud
 - Relación peso-longitud
 - Tasa de incremento en peso por día
 - Porcentaje de peso ganado

2.- Obtención del factor de condición múltiple (KM), (Medina, 1979)

3.- Analizar la variación temporal de los parámetros físicos y químicos en la poza de oxidación en dos niveles.

- Transparencia (al disco de Secchi)
- Temperatura ambiente
- Temperatura del agua
- Oxígeno disuelto
- Potencial Hidrógeno (pH)
- Alcalinidad
- Ortofosfatos (P - PO_4^{3+})
- Amonio (N - NH_4^+)
- Nitritos (N - NO_2^-)
- Nitratos (N - NO_3^-)
- Carbono total disuelto
- Carbono orgánico particulado
- Sólidos en suspensión.



4.- Evaluación de la productividad primaria por los siguientes métodos:

- Botellas claras y oscuras
- Cuantificación de clorofilas

5.- Determinación cualitativa y cuantitativa del fitoplancton

- Identificación a nivel de género
- Densidad absoluta y relativa

6.- Determinar la presencia de coliformes en el agua del estanque de estabilización y en los órganos de los peces cultivados

7.- Analizar el efecto de las fluctuaciones en los parámetros físicos, químicos y biológicos en la poza de oxidación sobre el crecimiento, condición y sobrevivencia de *Oreochromis niloticus*.

8.- Comparar el crecimiento de *Oreochromis niloticus* evaluado en las jaulas con diferente densidad.

9.- Comparar el crecimiento de *Oreochromis niloticus* que se obtenga en este cultivo con los reportados en otros estudios con diferentes tipos de alimentación

10.- Evaluar el potencial de este tipo de cultivos como biotecnología en el aprovechamiento de aguas residuales



HIPÓTESIS

Las pozas de oxidación de aguas negras, son sistemas que a través de procesos biológicos en distintos niveles tróficos favorecen y permiten condiciones adecuadas para el cultivo piscícola.

Tomando en cuenta lo anterior se consideraron las siguientes hipótesis de trabajo:

1. El cultivo de *Oreochromis niloticus* en pozas de oxidación es factible y el crecimiento de los peces será similar al obtenido en cultivos extensivos.
2. Al realizar este cultivo en jaulas y probar diferentes densidades, se espera que el crecimiento y condición de los peces sea mayor en las jaulas conforme disminuye la densidad de peces.
3. El sistema acuático es alimentado de manera continua por el efluente de la planta de tratamiento; sin embargo el embalse presenta una dinámica física y química propia que favorece el desarrollo de la productividad acuática y el crecimiento piscícola, logrando un comportamiento autónomo.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Este proyecto se llevó a cabo en un fraccionamiento residencial del Puerto de Mazatlán, Sinaloa, que cuenta con Club de Golf como parte de un complejo hotelero. La planta de tratamiento de aguas residuales en este lugar recibe aguas de desecho principalmente de uso doméstico y posteriormente a su tratamiento son usadas para riego del campo de Golf y jardines. El cultivo piscícola se realizó en las pozas de oxidación de la Planta de tratamiento del Fraccionamiento- El Cid Golf & Country Club, localizado a 800 m del área de costa.

La Ciudad de Mazatlán, se localiza a $23^{\circ} 14'$ de latitud Norte y a $106^{\circ} 25'$ de longitud oeste en el Océano Pacífico con una altitud media de 10 m. sobre el nivel del mar, a la altura del Trópico de Cáncer. La estación meteorológica se encuentra situada a $23^{\circ} 12'$ latitud Norte y a $106^{\circ} 25'$ longitud oeste, a una altitud de 3 m. sobre el nivel del mar.



Figura 5. Ubicación de la zona de estudio. Estanque de oxidación. Club de golf "El Cid"

La Bahía está limitada al norte por tierra firme, al este por el extremo de la Isla de la Piedra a la que se une por un rompeolas y a la Isla de chivos, al Oeste por una península que se extiende de Norte a Sur y termina en la Punta Pala, de la que parte un malecón que va a la Isla Azada unida a la isla Crestón por un bajo.



CLIMA

Su clima de acuerdo con el sistema climático de Köppen, modificado por García (1973), es de tipo Aw o (w)(e); cálido húmedo con lluvias de verano con un 75% de vapor de agua y un porcentaje de lluvia invernal de 5 a 10% de la total anual. Su temperatura media anual de 1986 a 1995 fue de 25°C, siendo los meses más calurosos julio, agosto y septiembre con un intervalo de temperaturas medias entre 27.5° y 29.1. Los meses que registran mayor precipitación son julio, agosto y septiembre con un promedio anual de 825 mm.

Cuadro 2. Temperaturas medias entre 1986 y 1995

	MESES	ENE.	FEB.	MAR	ABR.	MAY	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
TEMPERATURA MEDIA °C	AÑO MÁS FRÍO	18.8	20.3	21.2	24.2	24.7	27.9	28.8	28	28.3	27.5	25	21.8
TEMPERATURA MEDIA °C	AÑO MÁS CALUROSO	20.3	20.5	22.1	23.9	26.7	29.1	28.9	28.8	29	20.5	24.1	22.3
PRECIPITACIÓN MEDIA mm.		37.9	6.9	2	0.1	0	11.1	163.3	247.9	223.6	20.9	57.9	20.6

Los vientos dominantes provienen del Oeste y Noroeste, con una velocidad media entre 6 y 8 nudos, la máxima velocidad registrada fue de 120 nudos en un viento proveniente del Noroeste en el año de 1943. El puerto es afectado por las tormentas tropicales y huracanes que se forman en el Pacífico Nororiental.

FISIOGRAFÍA

El área del Puerto de Mazatlán se encuentra en la provincia fisiográfica VII llamada Llanura Costera del Pacífico y en la subprovincia Llanura Costera de Mazatlán con una cobertura de 8.39% de la superficie estatal, comprende una parte de la llanura costera del estado de Sinaloa y otra parte de la zona de transición entre esta y la subprovincia de la zona de Barrancas de la provincia de la Sierra Madre Occidental.

La topografía de la Llanura Costera en la zona está formada por una planicie que constituye un plano inclinado cuya pendiente máxima es normal a la línea de costa, y este arreglo es el factor que determina el drenaje hacia el mar.

GEOLOGÍA

La región consiste en una gran masa de carácter batolítico y de composición que varía de granito a diorita. Una gran parte es de composición granodiorítica con zonas transicionales hacia la acidez en forma de granito o hacia la alcalinidad en forma de diorita. En esta masa ígnea se encuentran sin regularidad aparente, pequeñas masas de rocas metamórficas, cuarcitas, esquistos, pizarras y mármoles, que representan restos de rocas pre-existentes, aparecen en pequeñas áreas aisladas, en zonas superficiales de la masa batolítica.



El basamento ígneo parece que estuvo cubierto totalmente por rocas volcánicas de edad terciaria que después de la denudación ha dejado expuesta la intrusión batolítica antes mencionada. La región ha sufrido fuertes movimientos tectónicos muy probablemente durante la revolución Laramide. La orientación general de las estructuras predominantes es de noroeste a sureste, atestiguada por el alargamiento de la masa intrusiva, así como por fallas predominantes de la región indicada por el alineamiento de rasgos topográficos en forma de ríos y cañadas. Conglomerados y aluviones más jóvenes se encuentran recubriendo parcialmente tanto las rocas intrusivas como las volcánicas

VEGETACIÓN

En la costa se presenta una faja arenosa paralela al mar sin vegetación arborescente, pero algunos tipos de vegetación rastrera típica de los médanos que se forman por la acción de los vientos, formando a veces dunas de gran altura sobre el nivel del mar.

Entre las plantas típicas se nota la existencia de la familia de las gramíneas como : *Panicum*, *Macrochlea*, *Paspalum*, *Triticum*, *Erdium*, *Lolium*, etc. De la familia de las Aráceas, *Ipomea*, se encuentra sobre las arenas de las dunas y distribuida en el interior y cerca de las lagunas, entrelazándose con otros tipos de vegetación.

En la zona entre la costa y la pradera interior localizada cerca y en las orillas de los esteros, existe otro tipo de vegetación constituida por *Prosopia chilensis*, *Stegnosperma halimifolium*, *Pachycereus pecten-aboriginum*, *Maytenus phyllanthoides* y *Rathbunia alamosensis*. En la pradera interior, donde se encuentra una mayor diversidad de plantas, abundan los ficus y la especie *Erythea sp.* Existe gran abundancia en la vegetación debida, a las condiciones edáficas con alto contenido de nutrientes y adecuada distribución de sales minerales y drenaje. Además por el uso del lugar existen numerosas plantas de ornato, algunos platanares y palmeras y pasto.

HIDROLOGÍA

Los principales ríos de la zona, son el Río Presidio al sur y el Quelite al norte, existen una serie de arroyos paralelos que desembocan casi perpendicularmente a la línea de costa, los dos ríos han alcanzado su condición de grado en esta zona formando extensas planicies de inundación que llegan a abarcar varios kilómetros. Se localizan en la región hidrológica RH11.

DIAGNOSIS Y CARACTERISTICAS DE LA ESPECIE

Oreochromis niloticus

En 1964 es introducida en México la tilapia procedente de Auburn, Alabama (Morales, 1974), las especies incluidas fueron *Tilapia melanopleura*, *Tilapia mossambica* y *Tilapia aurea*, posteriormente en 1978 se introdujo la *Tilapia nilotica* que fue traída de Panamá, todas ellas fueron depositadas en la estación piscícola de Temazcal, Oaxaca. En 1986 se hace una nueva introducción de *Tilapia nilotica* en dos variedades (negra y roja) procedente de la Universidad de Stirling, Inglaterra.

Oreochromis niloticus conocida anteriormente como *Tilapia nilotica* pertenece a la Familia Cichlidae, presenta peces con coloraciones atractivas, un solo orificio nasal a cada lado de la cabeza, su cuerpo es comprimido y frecuentemente discoidal, su boca es protráctil, generalmente ancha y con labios gruesos, presentan membranas branquiales unidas por 5 o 6 radios braquióstegos y un número variable de branquispinas según la especie. La parte anterior de la aleta dorsal y anal es corta y consta de una espina y radios suaves en la parte terminal, la aleta caudal esta redondeada, trunca y raramente escotada según las diferentes especies.

En los cíclidos la línea lateral se interrumpe dividiéndose en dos partes una superior del opérculo a los últimos radios de la aleta dorsal y la inferior que se inicia dónde termina la superior y se continua hasta el final de la aleta caudal. Sus escamas son de tipo cicloideo, la cantidad de vértebras varia con la edad y puede ir de 8 a 40.

Del gran número de especies existentes solo tres han logrado una amplia distribución y un gran desarrollo en sus cultivos: *Oreochromis aureus*, *Oreochromis mossambicus* y *Oreochromis niloticus*.

Por la gran diversidad de especies la posición taxonómica de las tilapias es compleja, por lo que ha variado a través del tiempo siendo reconocidos por la Dra. Trewavas (1983) 6 géneros distintos con base en origen, morfología hábitos alimenticios, dentición y hábitos reproductivos : *Tilapia*, *Tristamella*, *Danakilia*, *Sarotherodon*, *Oreochromis*, y *Pelmatochromis*

La introducción de especies exóticas en México ha generado diversos problemas por el desconocimiento de los aspectos biológicos y ecológicos, por lo que no se ha obtenido lo esperado por las instituciones públicas y privadas que lo llevaron a cabo .Las especies que se han adaptado adecuadamente aportan beneficios socio-económicos y alimenticios a las comunidades rurales aledañas (Arredondo, 1983).

La mojarra africana mejor conocida como tilapia es un pez que presenta rápido crecimiento, alta resistencia a condiciones adversas y enfermedades, y en ocasiones altos rendimientos a bajo costo, con alto contenido proteico.



Oreochromis niloticus fue introducida en México procedente de Panamá en 1978 e introducida en el Centro Acuícola de Tezontepec en Hidalgo y después enviada a Temascal, Oaxaca con fines reproductivos. Otra remesa de esta especie se donó a México por la Universidad de Stirling, Escocia, los organismos recibidos se donaron en 1986 al Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional y otro a la Secretaría de Pesca que la distribuyó en los Centros de Temascal, Oaxaca; Zacatepec, Morelos y Varejonal, Sinaloa, lugar de donde fueron obtenidos los organismos para este trabajo (Arredondo 1986; Morales 1991)

La especie ***Oreochromis niloticus*** presenta las siguientes características:

- De 19 a 22 branquias en el arco inferior del primer arco branquial.
- La aleta dorsal, tiene 16 a 17 radios duros y de 12 a 13 radios blandos
- La aleta anal tiene 3 espinas y de 10 a 11 radios
- De 3 a 4 hileras de dientes robustos y gruesos
- 31 a 33 escamas en serie longitudinal
- Cuerpo color verde olivo o metálico con vientre plateado o la variedad de color rojo
- Periodo prenupcial corto
- El macho muestra una coloración muy marcada en la época reproductiva y fija su territorio
- El macho tiene un comportamiento polígamo
- Construyen nidos en forma de cráter con un diámetro ligeramente superior a la longitud de la hembra y son utilizados para el cortejo y la fertilización de los huevos
- Sus gónadas son pequeñas.
- Los huevos son de color amarillo naranja (2.2 a 3 mm), contienen gran cantidad de vitelo y no presentan cubierta adhesiva externa
- El número de huevecillos es menor a 700 los cuales son incubados oralmente por las hembras, que continúan protegiendo a los alevines de 20 a 30 días.
- La sobrevivencia de las crías es alta
- Hábitos alimenticios micrófagos omnívoros presentando preferencia por el plancton
- Presentan una alta conversión alimenticia
- Crecimiento rápido e ininterrumpido a temperaturas superiores a 18° C



Figura 6. Variedad de color rojo *Oreochromis niloticus*

POSICIÓN TAXONÓMICA DE *Oreochromis niloticus*

Phylum	CHORDATA
Subphylum	VERTEBRATA
Superclase	GNATHOSTOMATA
Serie	PISCES
Clase	ACTINOPTERIGII
Super orden	ACANTHOPTERYGII
Orden	PERCIFORMES
Suborden	PERCOIDEI
Familia	CICHLIDAE
Género	<i>Oreochromis</i>
Especie	<i>O. niloticus</i> (Linneus 1766, Trewavas 1983)

MÉTODOS

En este estudio se decidió realizar el cultivo de *Oreochromis niloticus* en jaulas flotantes, con la ventaja de tenerlos confinados para obtener su biometría de forma frecuente y sencilla, manejarlos en función de las necesidades y monitorear su comportamiento en función de las condiciones bióticas y abióticas que se presentan en el embalse. Además de mantener control sobre los especímenes introducidos y evitar su dispersión por todo el sistema.

Los organismos fueron proporcionados por la Estación “El Varejonal” de la Secretaría de Pesca cercana a la Cd de Culiacán y fueron transportados en bolsas de polietileno con inyección de oxígeno, para ser acondicionados y seleccionados antes de su distribución en las jaulas para cultivo.

CONSTRUCCIÓN Y COLOCACIÓN DE JAULAS FLOTANTES

El diseño de las jaulas se realizó tomando en cuenta las necesidades y objetivos del estudio, fueron construidas 2 unidades con 4 jaulas cada una (Figura 7). Cada unidad estuvo conformada por los siguientes elementos:

- Flotador: Su función fue permitir que las jaulas se mantuvieran a flote en el estanque, fueron elaborados con tubo de PVC hidráulico formando una estructura rectangular con dimensiones de 3.2 m por 0.8 m dividido en 4 compartimentos cuadrados de 0.8 m por lado en cada uno de los cuales se montó una jaula.
- Jaulas: Su función fue mantener en cautiverio los peces dentro de la poza para poder manipularlos y registrar sus datos a través del tiempo. Se elaboraron con una red de pesca con luz de malla de 1 cm dándoles forma cúbica (con 0.8 m por lado) para que su forma fuera conservada al ser introducidas al agua se les colocaron pesas en las esquinas inferiores, lo que además permitió una buena circulación en el interior de la jaula. A cada una de las jaulas en la parte superior se le adaptó un marco de madera con salientes para ser colocadas sobre los flotadores.
- Marcos: Se utilizaron para dar rigidez a la parte superior de las jaulas y poder ser sostenidas por la unidad flotante, fueron construidos con tiras de madera formando un cuadrado con salientes en sus cuatro esquinas para ser apoyados en el flotador. Estos marcos se trataron con resina para reducir el deterioro que pudieran sufrir al estar en contacto permanente con el agua.
- Ganchos: Se usaron en dos tamaños. Unos pequeños con un diámetro de 3 cm cuya función fue cerrar las jaulas en la parte superior, y los grandes con un diámetro de 10 cm para asegurar los marcos y las jaulas sobre el flotador, todos fueron elaborados con alambre galvanizado.

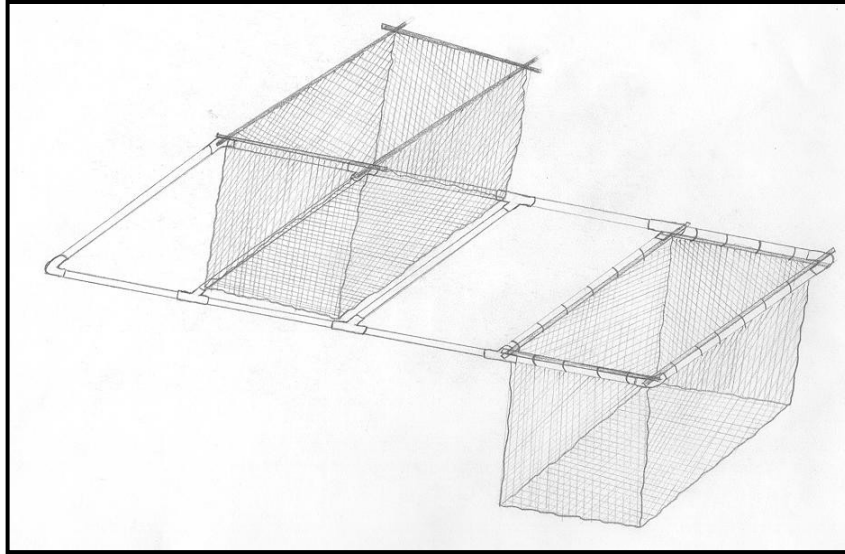


Figura 7. Diseño de las jaulas flotantes construidas

Una vez construidas las jaulas, se procedió a llevarlas a la poza de oxidación donde se situaron aproximadamente en la parte media del estanque (figura 8), lugar en el que fueron ancladas y se mantuvo en observación el sistema por un periodo de una semana, para detectar cualquier problema en el anclaje, soporte y deriva, que pudiese presentarse antes de la introducción de los peces



Figura 8. Construcción y colocación de jaulas flotantes



PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS

TOMA DE MUESTRAS

La toma de muestras de estos parámetros se efectuó mensualmente a nivel superficial y a un metro de profundidad a las 6, 10, 12, 16, 20 y 24 h, en la zona donde se encontraban ubicadas las unidades flotantes. La elección de las horas de muestreo se hizo sobre la base de dos muestreos prospectivos en donde se tomaron muestras con intervalos de dos horas durante todo el día y cuyos resultados se encuentran en la Tabla 1. El traslado de la orilla de la poza al lugar donde estaban situadas las jaulas se llevó a cabo en una lancha de aluminio con ayuda de remos. Así mismo se tomaron muestras diurnas y nocturnas del aporte de la planta de tratamiento.

La toma de muestras de agua para las determinaciones físicas y químicas se hizo con una botella van Dorn con capacidad de 2 L.

Se registró la temperatura ambiental y del agua en las dos profundidades establecidas, con la ayuda de un termómetro marca Taylor con escala de -10 a 50 ° C y precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$, se realizaron observaciones sobre nubosidad y se midió la transparencia al disco de Secchi en las horas en que la incidencia de luz en el lugar lo hizo posible.

La muestra para el oxígeno disuelto se fijó en la lancha y posteriormente en la orilla del embalse se realizó la determinación de acuerdo al método de Winkler utilizando la modificación de la azida de sodio (APHA, 1989). El pH se midió en forma inmediata con un potenciómetro marca Cole Palmer modelo M5850-00 con precisión de 0.01 log [H⁺] molar.

La determinación de alcalinidad se realizó *in situ*, de acuerdo al método volumétrico con dos indicadores. (Wetzel, 1979, Boyd, 1979). La muestra para nutrientes se filtró inmediatamente después de haber sido tomada, con un sistema portátil de filtración con vacío utilizando filtros GF/C con malla de 45 μm , posteriormente para las determinaciones de nitratos, nitritos se acidificaron las muestras a pH menor a 2 con ácido sulfúrico y se refrigeraron para ser analizadas lo más rápidamente posible en el laboratorio. (El tiempo de conservación nunca fue superior a 36 h), La muestra para determinación de amonio se congeló inmediatamente y fue la primera en procesarse ya en el laboratorio, para los ortofosfatos la muestra se refrigeró después de filtrada y se analizó posteriormente (en un tiempo nunca mayor a 36 h).

La muestra para la determinación de carbono total disuelto se conservó con acidificación a pH menor a 2, y se procesó en el laboratorio con el analizador automático de carbono.

Para la obtención de la muestra de sólidos en suspensión y carbono orgánico particulado se filtró un volumen específico de agua, a través de filtros que previamente habían sido secados a peso constante, cada uno de ellos se guardó de manera individual en una caja de petri y fueron secados al llegar al laboratorio.

Para la determinación de clorofila "a" se filtró con membrana de 45 μm , un volumen determinado, que fue acondicionado con gotas de carbonato de magnesio (Vollenweider, 1969), posteriormente



el filtro fue doblado y guardado en papel aluminio en un recipiente oscuro y frío con sílica gel (APHA, 1989).

La productividad primaria por el método de botellas claras y oscuras, se tomó la muestra de agua y se llenaron las botellas con las precauciones necesarias para no introducir ninguna burbuja de aire; se determinó el oxígeno disuelto en ese momento y después de la incubación, que se llevó a cabo durante 5 h (entre las 10 y las 16 h), siempre por duplicado. (Wetzel, 1979 y APHA, 1989).

Procesamiento de muestras de los parámetros químicos

Para obtener las concentraciones de los nutrientes se procesaron las muestras al día siguiente.

El amonio fue evaluado en el laboratorio en un tiempo entre 10 y 28 h después de haber tomado la muestra con el método colorimétrico con sal de fenol y nitroprusiato de sodio descrito por Strickland y Parsons (1979)

Los nitratos se transformaron a nitritos mediante el método de reducción con cadmio, posteriormente los nitritos originados en este proceso y los ya presentes en la muestra original se determinaron por el método de diazotado con sulfanilamida y acoplamiento con dihidroclorhidrato de N-(1-naftil)-etilendiamina midiendo el color desarrollado con el espectrofotómetro (APHA, 1989. Strickland y Parsons, 1979). La determinación de ortofosfatos disueltos se realizó colorimétricamente por el método del ácido ascórbico (APHA, 1989).

Para todas las determinaciones colorimétricas se utilizó un espectrofotómetro digital con celdas de 1 cm³ con longitudes de onda variables a elegir según las necesidades.

La concentración de carbono orgánico disuelto se obtuvo con ayuda del analizador automático de carbono (TOC) mediante el método descrito para este sistema (Manual del analizador TOC y APHA, 1989).

Los filtros para evaluar sólidos suspendidos y carbono orgánico particulado se secaron en una estufa a 110 °C y 75 °C respectivamente hasta lograr su peso constante. La muestra para carbono orgánico particulado ya seca, se trató por el método de oxidación húmeda con dicromato de potasio (Strickland y Parsons, 1979).

Los filtros con las muestras de clorofilas, que permanecieron libres de luz, en condiciones secas y frías, son macerados para hacer la extracción con una solución de acetona al 90 % según se indica en el APHA (1989). Una vez realizada la extracción y eliminado el filtro se leen las muestras en el espectrofotómetro en las diferentes longitudes de onda requeridas para obtener la concentración de clorofila a, b y c.

Una vez realizados los análisis en el laboratorio se procedió a calcular las concentraciones en mg L⁻¹ o µg L⁻¹ según se requiere para cada uno de los diferentes parámetros. Posteriormente se establecieron las relaciones existentes entre ellos y con los parámetros biológicos, a través del análisis tabular, gráfico y estadístico del comportamiento encontrado.



La obtención de la concentración de clorofilas se obtuvo mediante las fórmulas utilizadas por Strickland y Parsons (1979) después de una comparación previa con las utilizadas en SCOR-UNESCO y encontrando una mayor exactitud en las primeras.



Figura 9. Toma de muestras en la poza de oxidación

El procedimiento y las ecuaciones utilizadas para el cálculo de la productividad primaria neta, de acuerdo a Wetzel y Likens (1979) y APHA (1989) fueron;

Productividad primaria bruta (PPB)

$$PPB = PPN + R$$

Respiración (R)

$$R = O_i - O_o$$

Productividad primaria neta (PPN)

$$PPN = O_c - O_i$$

Donde;

O_i = Oxígeno disuelto inicial

O_c = Oxígeno disuelto Botella clara

O_o = Oxígeno disuelto Botella oscura

FITOPLANCTON

TOMA DE MUESTRAS PARA FITOPLANCTON

La muestra de agua para el análisis fitoplanctónico se tomó una sola vez en cada muestreo de forma manual, en una botella de polietileno con capacidad de 500 ml y fue fijada con acetato de lugol para su revisión en el laboratorio.

Se tomaron alícuotas de 1 a 3 ml de las muestras homogeneizadas y se colocaron en cámaras de sedimentación adicionándoles 1 gota de acetato de lugol, dejándolas en reposo 24 h, para ser revisadas en el microscopio invertido y realizar el conteo de los organismos vegetales. (Uthermöl, 1938 citado por Schwoerbel, 1975), los registros se hicieron en unidades físicas por unidad de



volumen (μ/v) considerando como una unidad física a una cadena, colonia u organismo individual. La identificación de los organismos se realizó en forma simultánea con ayuda de los trabajos de Prescott (1978), Smith (1950) y Ortega (1984).

DETERMINACIÓN DE DENSIDAD DEL FITOPLANCTON

Para determinar la densidad relativa y absoluta del fitoplancton se utilizaron las siguientes fórmulas de acuerdo a Odum (1980):

$$\text{Densidad absoluta} = \text{Número de organismos de cada grupo} / \text{m}^3$$

$$\text{Densidad relativa} = \text{Densidad de cada grupo} / \text{Densidad total}$$

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Estas muestras solo fueron tomadas al final del cultivo cuando los peces fueron cosechados. La muestra de agua se tomó en botellas estériles, se refrigeró y traslado de inmediato al laboratorio para realizar la siembra.

La muestra de peces para este análisis estuvo formada por 15 organismos, elegidos al azar, los cuales se conservaron en refrigeración y una vez en el laboratorio fueron procesados en condiciones de asepsia (APHA, 1989).

El análisis realizado fue para determinar la presencia de coliformes totales y fecales, según la técnica de fermentación en tubos múltiples con dilución de la muestra por medio del NMP y placas de conteo. Para la muestra de agua se utilizaron diferentes diluciones y para los peces un macerado de cada uno de los órganos, que se consideraron importantes para este análisis (Piel, tracto digestivo, músculo e hígado) y sus respectivas diluciones. Una hora después de haber extraído a los organismos del lugar de cultivo, se separaron los tejidos mencionados de cada uno de los peces y se maceraron de forma independiente en un mortero, una vez homogenizado el material de cada órgano se procedió a realizar las diluciones y las siembras, para su posterior incubación (APHA, 1989).

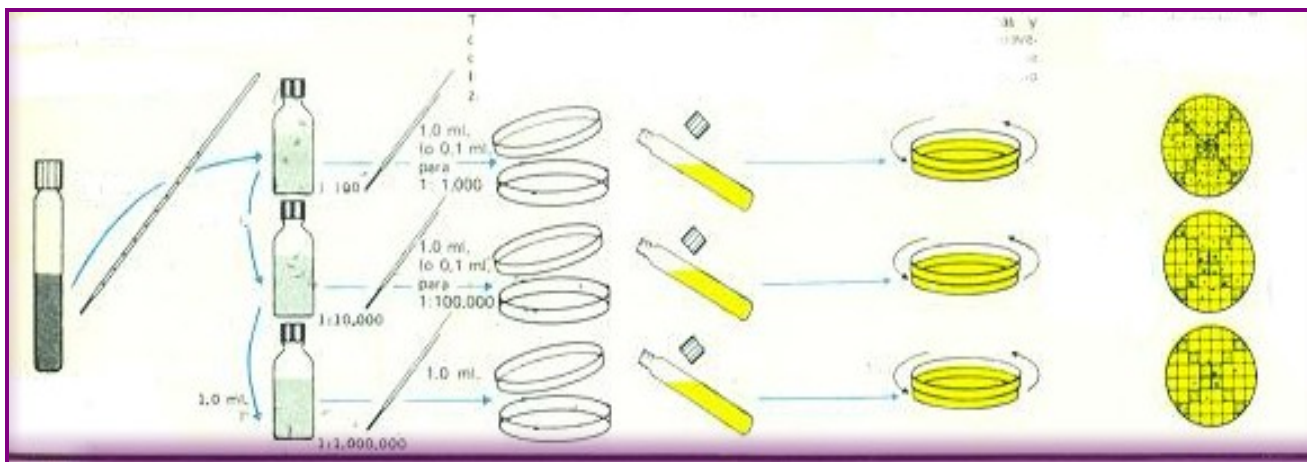


Figura 10. Cultivo bacteriológico para conteo en placa



Con los resultados derivados de los cultivos microbiológicos, se procedió a estimar el NMP, con la siguiente ecuación (APHA, 1989), así como a determinar la existencia de coliformes totales y/o fecales y posteriormente realizar el conteo en placa.

$$\text{Valor NMP (tablas)} \times \frac{10}{\text{Mayor volumen estudiado}} = \text{NMP} / 100 \text{ ml}$$

CULTIVO PISCÍCOLA

MANEJO DE LOS PECES Y OBTENCION DE DATOS BIOMETRICOS

Los organismos fueron seleccionados con una talla aproximada de 6 - 8 cm y transportados en bolsas de plástico con oxígeno directamente a la poza de oxidación en el Club de Golf "El Cid", en donde estaban colocadas las series de 4 jaulas c/u con dimensiones de 0.5 m³. Se hizo la aclimatación de los organismos en las bolsas de plástico utilizadas para la transportación y después de aproximadamente 2.5 h se procedió a realizar la distribución. Se distribuyeron en las tres unidades flotantes manejando diferentes densidades, sin embargo en el primer mes de muestreo se presentaron problemas con la población íctica (debido al acceso de extraños al sistema), por esta razón se llevo al cabo la redistribución de los organismos en solo dos series o unidades según se muestra en la siguiente tabla:

Cuadro 3. Densidad de organismos por m³

	Densidad 1	Densidad 2	Densidad 3	Densidad 4
Jaula	1	2	3	4
Serie I	80	60	40	20
Jaula	5		6	7
Serie II	80	---	40	20

Mensualmente se tomaron en el lugar del cultivo las medidas biométricas de los peces (Altura, longitud total y patrón) con ayuda de un ictiómetro convencional con precisión de ± 1 mm. El peso se obtuvo con una balanza de analógica con precisión de ± 1 g. Estos parámetros se registraron para cada uno de los peces en la introducción y en todos los muestreos.



Figura 11. Determinaciones biométricas de *Oreochromis niloticus*



RELACIÓN PESO - LONGITUD

Se estimó esta relación con el peso y la longitud patrón de los organismos con el siguiente modelo potencial (Weatherley, 1971, Ricker, 1975, Young and Everhart, 1975, Lagler, 1977 y Bagenal, 1978):

$$W = aL^b$$

W = Peso

L = Longitud patrón

a y b son constantes

La ecuación se linealizó mediante la transformación logarítmica:

$$\log W = \log a + b \log L$$

El cálculo de los valores de *a* y *b* se obtuvo por el análisis de regresión utilizando el método de mínimos cuadrado, con intervalos de confianza del 95%.

TASA DE CRECIMIENTO

La Tasa de crecimiento se obtuvo registrando el incremento en gramos por día con la fórmula presentada por Norbet (1991):

$$T_c = (W_t - W_o) / t$$

- a) La tasa específica de crecimiento Watanabe (1990) o tasa de crecimiento relativa (Wrigley, 1988) se calculó según

$$T_{cr} = \frac{(\ln W_t - \ln W_o)}{t} \times 100$$

Dónde:

T_c = Tasa de crecimiento

T_{ec} = Tasa específica de crecimiento

W_o = Peso inicial

W_t = Peso final

t = tiempo

ln = logaritmo natural

- b) Porcentaje de Peso ganado (Teshima *et. al.*, 1978)

$$\text{Peso ganado \%} = \frac{W_t - W_o}{W_o} \times 100$$

- c) Obtención del Factor de Condición Múltiple **KM**



Esto se hizo a través del modelo planteado por Medina (1980), que evalúa la relación entre peso, longitud y altura, estimando lo que él llama robustez en el pez (KM).

$$KM = \frac{\text{Peso}}{\text{Longitud}^b \text{Altura}^c}$$

b y **c** son constantes de la relación múltiple y se obtienen por la resolución de ecuaciones simultáneas.

Los diferentes análisis estadísticos se realizaron con el Programa Statgraphics Centurion XV.II



Figura 12 Cultivo de *Oreochromis niloticus*, variedad roja

RESULTADOS

SITIO DE ESTUDIO

La poza de oxidación presentó un área de aproximadamente 9 500 m², y una profundidad entre 1.8 y 2.0 m en la estación donde fueron instaladas las jaulas flotantes, cabe mencionar que el volumen del embalse se mantiene a un nivel casi constante durante el ciclo anual y a pesar de la época de estiaje, por la alimentación continua de las aguas provenientes de la planta de tratamiento y el embalse previo.



Figura 13. Poza de Oxidación. Club de Golf El Cid

Este trabajo se realizó en la zona noroeste de la Cd. de Mazatlán, donde se localiza embalse en el cual se llevó a cabo el cultivo, es el segundo de los estanques seriados que forman parte de la planta de tratamiento del Fraccionamiento residencial y Club de Golf “El Cid”, la poza se encuentra rodeada de jardín cubierto con pasto y algunas especies arbustivas y arbóreas de ornato, con una exposición total a la luz solar y desempeñando como función principal el proceso de oxidación, en la fase final del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, además de esto es un elemento armónico del paisaje y del diseño del campo de golf. Las aguas tratadas en este lugar son utilizadas para riego del mismo campo y los jardines residenciales.



Figura 14. Fotografías de la Planta de tratamiento

PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS

Para elegir el horario de los muestreos a lo largo del día se realizaron dos con carácter prospectivo, un muestreo nictemeral en junio donde se tomaron muestras cada hora durante las 24 h, y otro en el mes de agosto a intervalos de dos horas para cubrir el día completo. Con base en los resultados obtenidos se decidió realizar los muestreos de la investigación cada cuatro horas a partir de las 6:00 y hasta las 24 h, se incluyó además uno a las 12 h, por la importancia del ángulo de incidencia de los rayos solares a esa hora.

La toma de muestras se realizó con una botella van Dorn Horizontal, en una sola estación de muestreo, que correspondió al área donde se colocaron las jaulas flotantes para el cultivo, se decidió tomar las muestras a nivel superficial y a una profundidad de un metro, ya que ésta última representaba la parte inferior de las jaulas y de esta manera se conocerían las condiciones en las que se desarrollaban los peces.

Con la finalidad de detectar si el comportamiento promedio en la columna de agua era homogéneo, se utilizaron los valores registrados en ambos niveles para los meses de noviembre a junio y se obtuvieron gráficos radiales para cada parámetro; de manera aparente los parámetros se comportaron de forma similar en ambos niveles durante casi toda la época de muestreo, a excepción del oxígeno disuelto y el pH que mostraron estratificación.



CULTIVO DE *Oreochromis niloticus* EN AGUAS DE DESECHO DOMÉSTICAS TRATADAS.

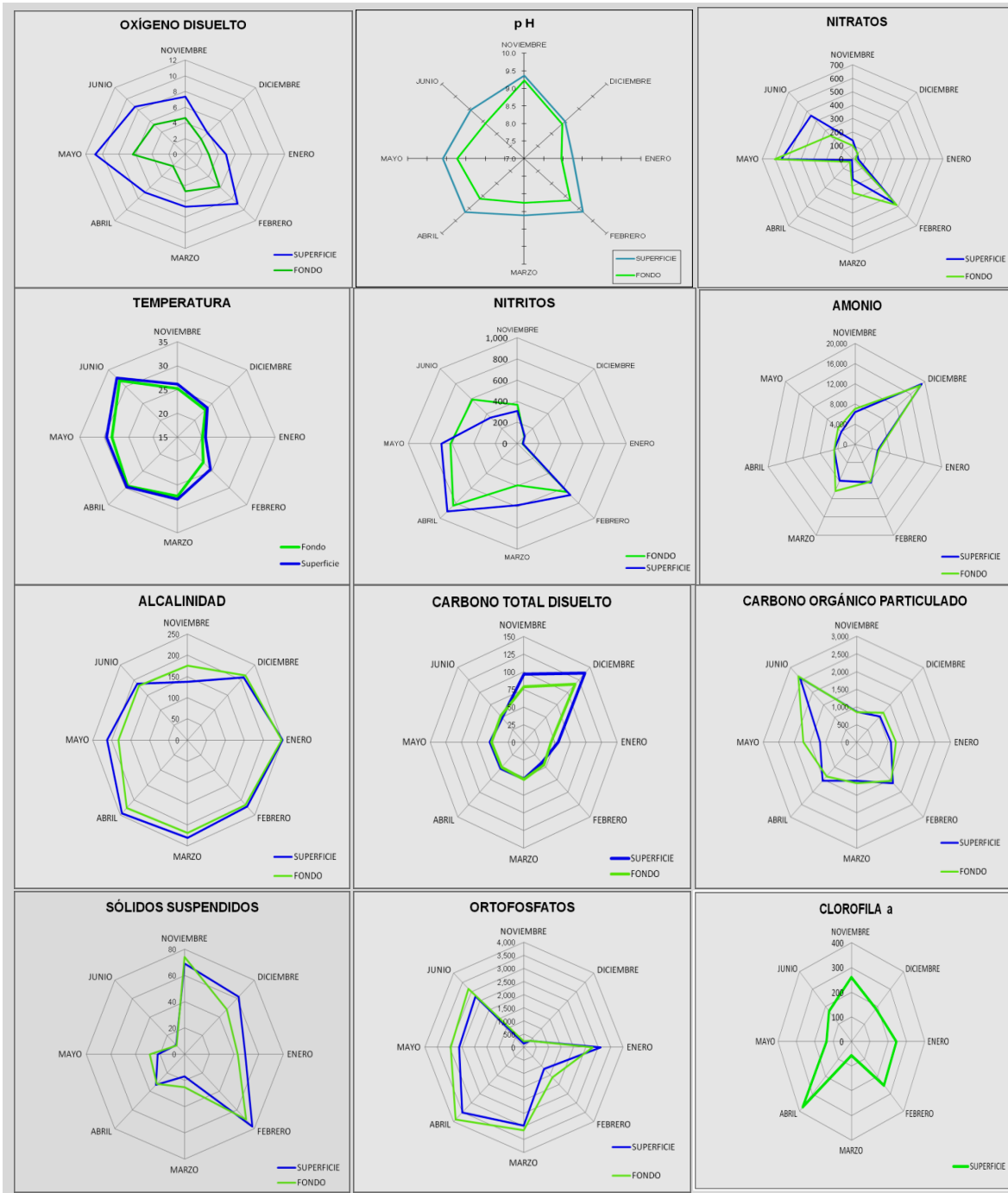


Figura 15. Promedio mensual para cada parámetro. Superficie y profundidad de 1 m que corresponde aproximadamente al mismo nivel que el fondo de las jaulas



Para corroborar esto se decidió hacer una comparación entre los niveles de superficie y fondo, con las variables que cumplieron con los supuestos, para realizar pruebas paramétricas (pH, Temperatura del agua, Nitratos y Ortofosfatos) se les aplicó una prueba de *t*, para comparar las medias de las dos muestras, con un nivel de confianza del 95%. Se determinó que ninguno de ellos presentaba diferencias significativas entre niveles.

Además, para todos los parámetros se utilizó la prueba de *W* de Mann-Whitney para comparar las medianas de superficie y a un metro de profundidad y la prueba de Kolmogorov-Smirnov para comparar las distribuciones de ambas muestras. Se encontró que el único parámetro con diferencias significativas entre sus valores de superficie y a un metro de profundidad fue el oxígeno disuelto (Figuras 16 y 17) ($W = -461.0$, $P = 0.000738$; DN estimado = 0.333, K-S bilateral para muestras grandes = 1.63299, $P = 0.009656$).

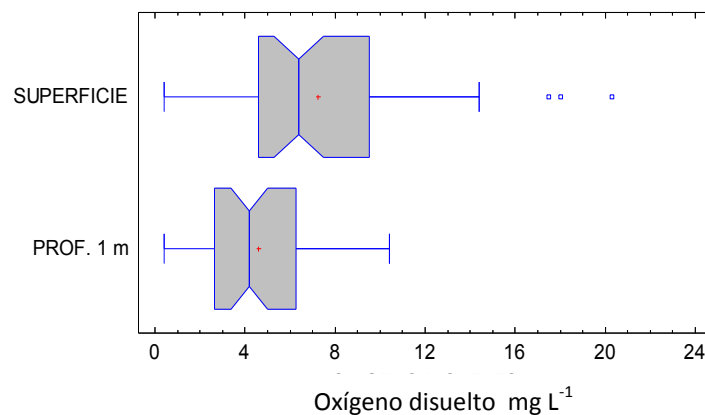


Figura 16. Variación del Oxígeno en ambos niveles

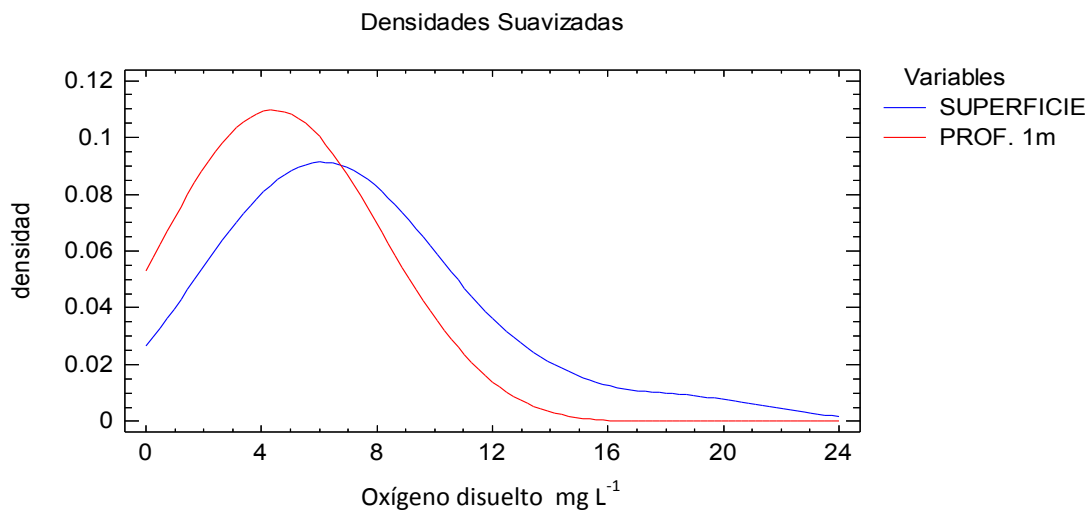


Figura 17. Distribución del Oxígeno disuelto



Otro aspecto importante de definir, fue si el comportamiento de los diferentes parámetros era similar en los diferentes muestreos, ya que se trata de un embalse artificial alimentado continuamente con el efluente de la planta de tratamiento. Por lo tanto se decidió hacer una comparación estadística entre los valores obtenidos por mes para cada una de las variables. Al manejar estos datos se realizó un análisis exploratorio, se observó que en ningún caso se cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, por lo que se aplicaron pruebas de comparación de medianas como la de Kruskal Wallis y Mood. Los resultados obtenidos mostraron que existieron diferencias significativas entre los comportamientos de cada mes, para todas las variables.

TEMPERATURA

Las temperaturas medias ambientales para el puerto de Mazatlán, fluctúan entre 18 y 30°C (Cuadro 1), y el área de estudio mantiene temperaturas ambientales entre 17.17 y 30.5 °C y del agua entre 18.7 y 34.4 °C.

En promedio la temperatura del agua fue más alta que la temperatura ambiental a excepción del mes de noviembre (Figura 18). Las temperaturas en la superficie fueron siempre superiores a las de profundidad de un metro, como efecto de la insolación superficial. Enero fue el mes más frío, a partir del cual se inicia la etapa de incremento térmico hasta el mes de junio.

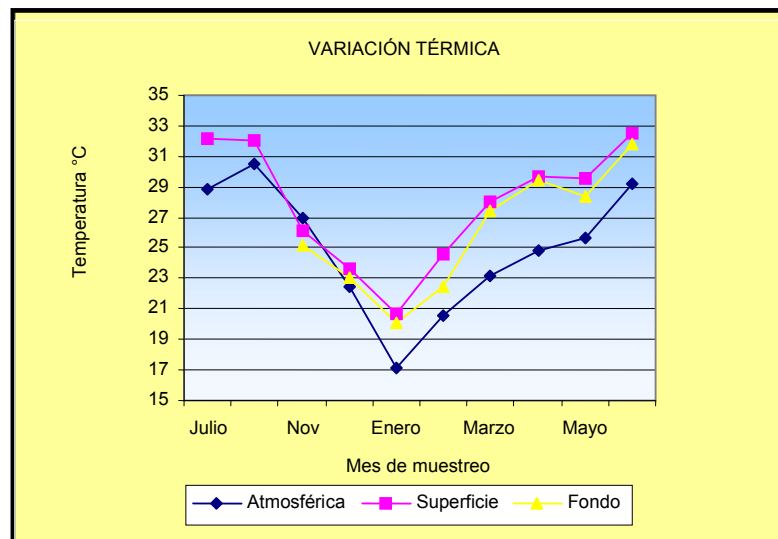


Figura 18. Variación térmica mensual

La Figura 19 muestra las discontinuidades térmicas que se presentaron en los muestreos nictemerales, el momento en que se manifiesta el mayor calentamiento es a las 16 h, mientras que las temperaturas mínimas se presentan en el período nocturno entre las 12 de la noche y las 6 de la mañana. En enero el comportamiento fue homogéneo durante el día, registrando una variación máxima de 1.2 °C y en febrero se encontró en superficie una diferencia de 8 °C siendo la mayor durante el tiempo del estudio.

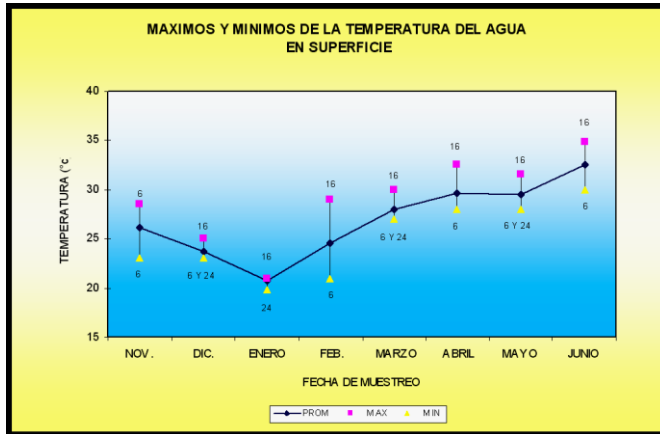


Figura 19. Promedio de la temperatura del agua

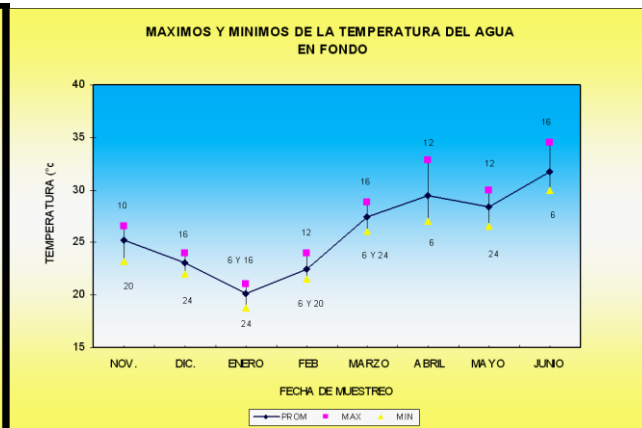


Figura 20. Promedio de la temperatura del agua

A una profundidad de 1 m (Figura 20) sucedió lo mismo, con mínimas variaciones en la temperatura del agua, detectando el menor cambio durante el día en diciembre (2 °C) y el máximo en abril con una diferencia de 5.8 °C. Estos resultados nos indicaron que los cambios térmicos siempre van a ser más extremos en la superficie de este tipo de sistemas

Las figuras 21 y 22 nos permiten detectar cuatro comportamientos diferentes en los ocho meses de muestreo, el primero en el mes de noviembre con temperaturas bajas al amanecer y anochecer manteniendo un incremento moderado de temperatura durante el día en los dos niveles; el segundo que agrupa los meses de diciembre y enero con variaciones térmicas muy pequeñas hacia las 12 h, dando como resultado un sistema térmicamente homogéneo durante el día. A partir de febrero las temperaturas empezaron a elevarse y los cambios a las 12 y 16 horas son muy marcados; durante marzo, abril y mayo los incrementos fueron paulatinos, con picos de máximas temperaturas entre las 12 y las 20 h y el comportamiento en junio es un reflejo de la temperatura ambiente y es cuando se alcanzaron las mayores temperaturas del periodo de monitoreo, con menor variabilidad diurna. La máxima temperatura durante el cultivo que fue de 34.8 °C.

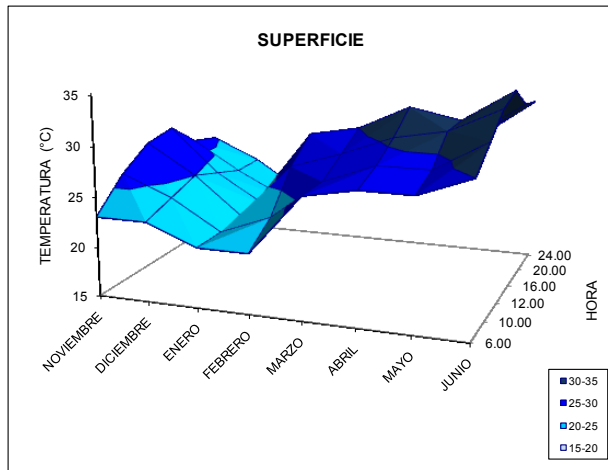


Figura 21. Variación temporal de la Temperatura

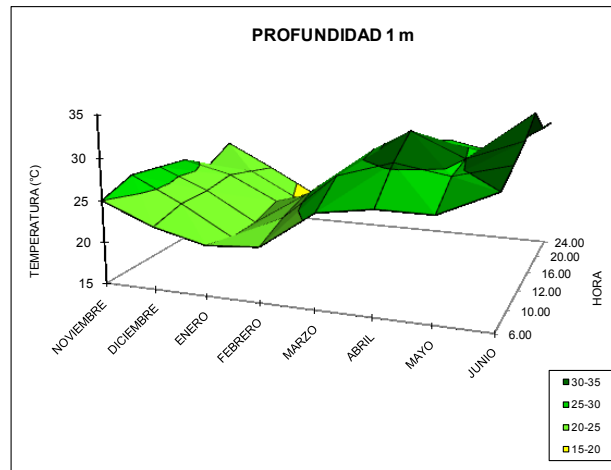


Figura 22. Variación temporal de la Temperatura

TRANSPARENCIA

En la figura 15 se observó que el material suspendido en los dos niveles se encuentra en la misma proporción lo que indicó su presencia en toda la columna de agua y no solamente en la superficie, por lo tanto la materia en suspensión no fue factor determinante en la transparencia. Se realizó una regresión simple entre ambos parámetros y los datos mostraron que no hubo una relación estadísticamente significativa con un valor de $P=0.6047$ con $\alpha=0.05$

Los meses con mayor transparencia o visibilidad fueron diciembre y marzo, mientras que los de menor fueron febrero, junio y abril. Asimismo, no se encontró que la transparencia fuera determinante para el comportamiento térmico del sistema; sin embargo cualquier factor que altera la visibilidad, lo hace a su vez con la penetración solar y en consecuencia la estructura térmica del sistema. Para corroborar la interacción entre la temperatura del agua y la transparencia en el sistema, se realizó una regresión simple, en donde con un valor de $P=0.3142$ con $\alpha=0.05$ se demuestra que no hay una correlación significativa entre ambas variables.

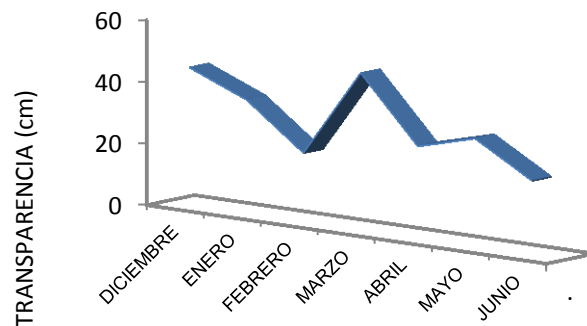


Figura 23. Variación temporal de la transparencia



OXÍGENO DISUELTO

Las figuras 15, 16 y 17, muestran la diferencia de este parámetro a nivel superficial y un metro de profundidad mostrando una ligera estratificación.

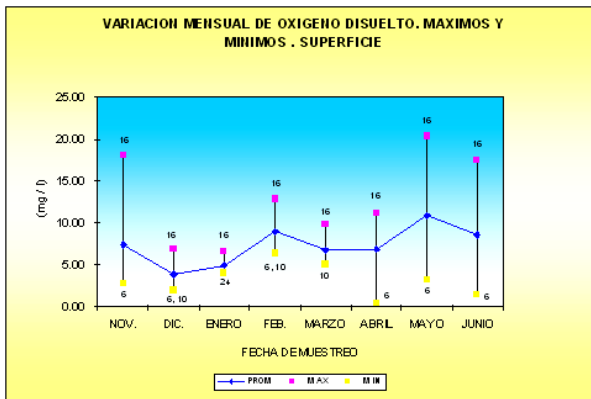


Figura 24. Promedio del oxígeno disuelto

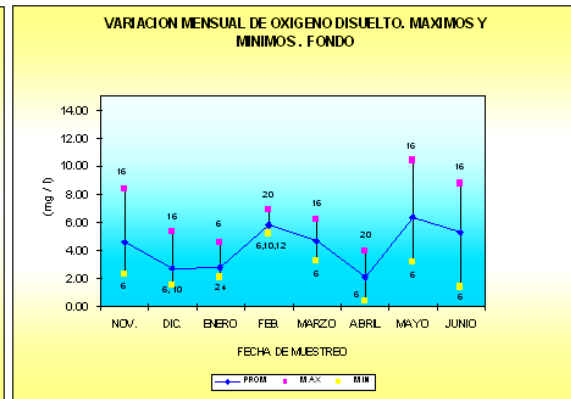


Figura 25. Promedio del oxígeno disuelto

De acuerdo a la figura 24 el promedio más bajo se registró en diciembre y el más elevado en mayo, los valores máximos durante el día se manifestaron a las 16 h y los mínimos entre las 6 y 10 am, excepto en enero cuando la más baja concentración se presentó a las 24 h. Para la profundidad de un metro (Figura 25), el menor promedio fue en abril y el más alto en mayo; los máximos de este nivel fueron registrados entre las 16 y 20 h, los mínimos a las 6 de la mañana y en enero se repitió el mismo patrón que en superficie

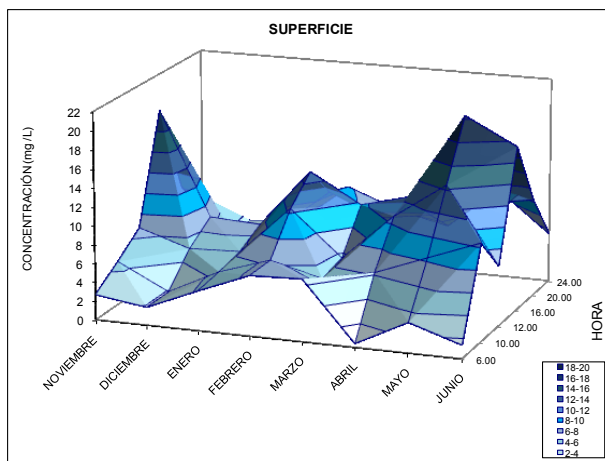


Figura 26. Variación temporal del oxígeno disuelto

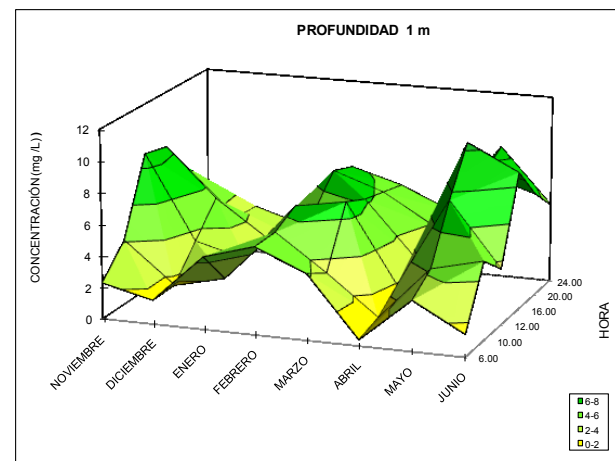


Figura 27. Variación temporal del oxígeno disuelto

Para ambos niveles se alcanzaron valores de sobresaturación en noviembre (18.01 y 8.42 mg L⁻¹), mayo (20.3 y 10.4 mg L⁻¹) y junio (17.5 y 8.4), mientras que en diciembre (1.53 mg L⁻¹), abril (0.4 mg L⁻¹) y junio (1.43 mg L⁻¹) se presentaron las menores concentraciones en el ciclo diario, dando lugar a condiciones anóxicas en el embalse. Las figuras 26 y 27, muestran la similitud en la



dinámica temporal de este gas para ambos niveles con concentraciones menores en la capa profunda, lo que indica una zona eufótica siempre más oxigenada y con una gran actividad fotosintética que es determinante. Es importante mencionar que contrariamente a lo esperado, cuando se presentaron temperaturas elevadas durante el día o el mes de muestreo, las concentraciones del oxígeno disuelto también fueron elevadas alcanzando valores de sobresaturación. En la parte central de ambas figuras se observaron las elevaciones de máxima producción de oxígeno disuelto en el sistema sobretodo en noviembre, febrero, mayo y junio. Los meses de enero y marzo presentan condiciones menos heterogéneas a lo largo del día

pH

En la figura 15 se muestran los valores promedio de pH, obtenidos durante noviembre y diciembre donde existió un periodo de homogenización, sin embargo a partir de enero y hasta junio esto cambió manteniendo valores de pH siempre más altos en la superficie, encontrando que no había diferencia significativa entre los niveles de muestreo

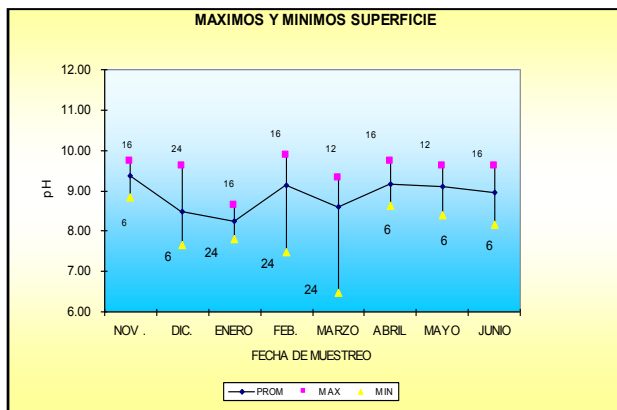


Figura 28. Promedio del pH

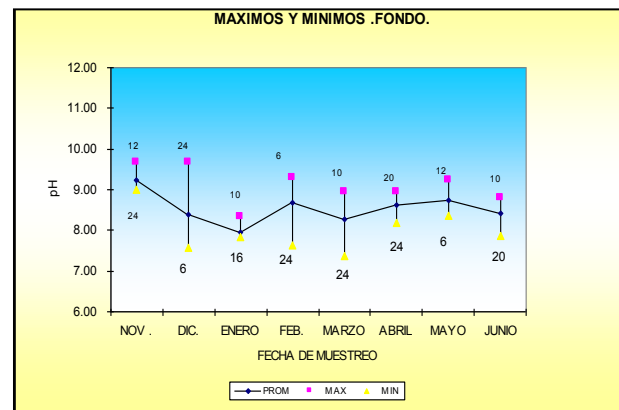


Figura 29. Promedio del pH

En las figuras 28 y 29 se observó que en el embalse el pH promedio se mantuvo entre 8 y 9.5, con tendencia hacia la basicidad, con un comportamiento similar en superficie y fondo; sin embargo, cuando se observan las variaciones diarias con un valor máximo de 9.86 y mínimo de 6.46 encontramos diferencias importantes a lo largo del día sobre todo en los meses de diciembre, febrero y marzo. Valores menores a un pH de 8, se registraron entre las 24 y las 6 h y los máximos entre las 16 y 12 h a nivel superficial; no sucediendo esto a un metro de profundidad donde los valores máximos se presentaron desde las 6 am hasta las 24 h, en los diferentes muestreos.

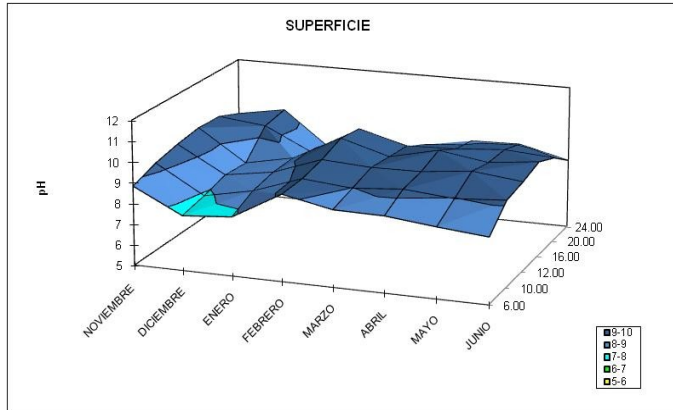


Figura 30. Variación temporal del pH

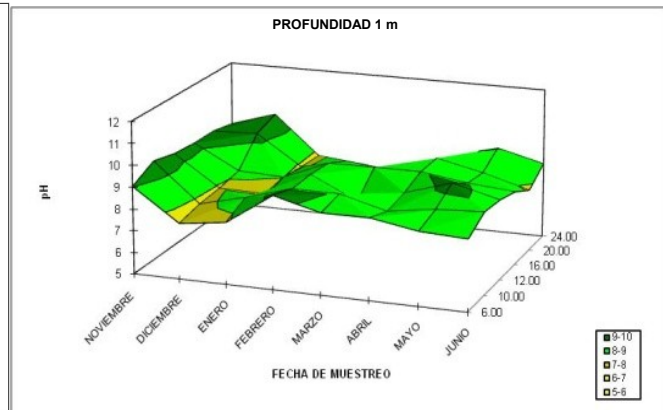


Figura 31. Variación temporal del pH

El comportamiento diurno del pH durante el tiempo del estudio en la zona de interacción agua-aire (figuras 30 y 31), nunca fue homogéneo a lo largo del día, lo que demostró la intensa actividad que se presenta, también se detectó que durante noviembre, diciembre y enero hay menor estabilidad para este parámetro a lo largo del día, para los dos niveles.

ALCALINIDAD

Conforme a la figura 15, se visualizó que entre la superficie y el nivel de un metro de profundidad se mantuvieron concentraciones promedio muy similares durante el tiempo del estudio, con una ligera diferencia en el mes de mayo.

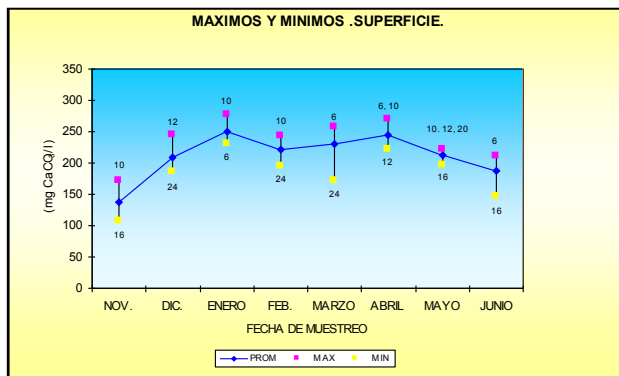


Figura 32. Promedio de Alcalinidad

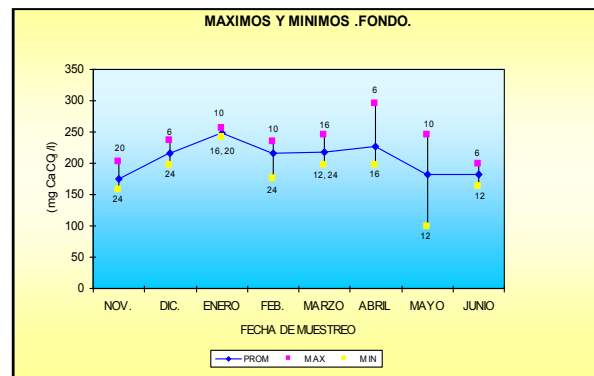


Figura 33. Promedio de Alcalinidad

En la figura 32, la alcalinidad mínima que se presentó fue de 107.9 y la máxima de 276.8 mg L⁻¹ de CaCO₃, cabe resaltar que en este nivel se encontraron fluctuaciones similares en magnitud para los diferentes meses, con la más amplia en marzo y la menor en mayo. En el nivel inferior (Figura 33) el intervalo fue más amplio, entre 98.1 y 294.3 mg L⁻¹ de CaCO₃, pero las fluctuaciones en cada uno de los meses fueron muy diferentes, enero con un valor casi constante a lo largo del día y en mayo un cambio de 122 mg L⁻¹ de CaCO₃, entre las 10 y las 12 h.

Posteriormente en las figuras 34 y 35, se mostró la dinámica del sistema carbonatos bicarbonatos, las concentraciones más elevadas se registraron en los meses más fríos, cambiando sobretodo en mayo y junio; en ambos gráficos se identificó como la parte central que corresponde a las 12 y



16 h marca un hundimiento, haciendo evidente que en este periodo del día disminuye la alcalinidad en el sistema. La presencia de carbonatos dominó los meses de noviembre, marzo, abril, mayo y junio; mientras que diciembre y enero fueron los bicarbonatos los que estuvieron presentes la mayor parte del día, alterándose el equilibrio después de las 20 h.

Es importante resaltar que los valores máximos de alcalinidad siempre se registraron en los periodos matutinos y las menores concentraciones durante la tarde o noche para ambos niveles.

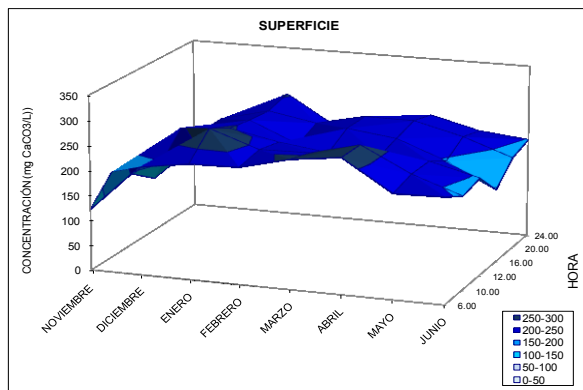


Figura 34. Variación temporal de alcalinidad

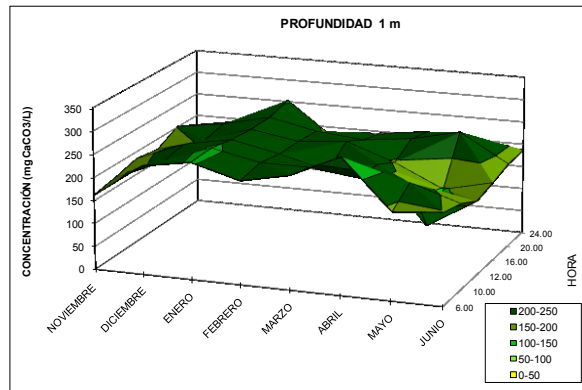


Figura 35. Variación temporal de alcalinidad

NITRÓGENO INORGÁNICO

AMONIO

La figura 9, nos mostró un mismo comportamiento para la columna de agua para este ión. En las figuras 36 y 37 se observa que las concentraciones de amonio en el estanque son altas de manera general, alcanzando un valor promedio máximo de 19133 $\mu\text{g/L}$ en superficie y 18737 $\mu\text{g L}^{-1}$ a un metro de profundidad para el mes de enero que fue el más frío, con una temperatura media de 20.5° C, en un intervalo de pH de 7.8 a 8.7 y baja concentración de oxígeno.

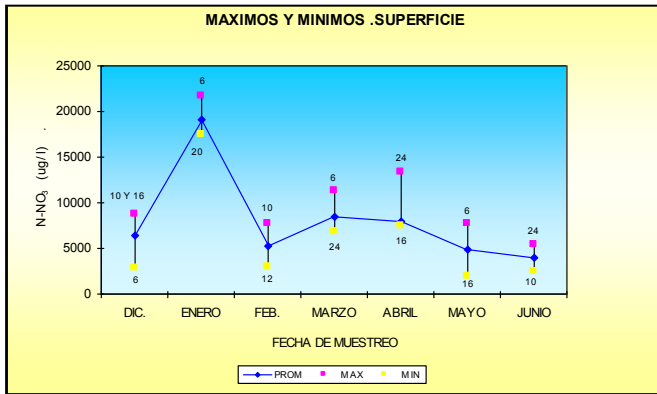


Figura 36. Promedio del amonio

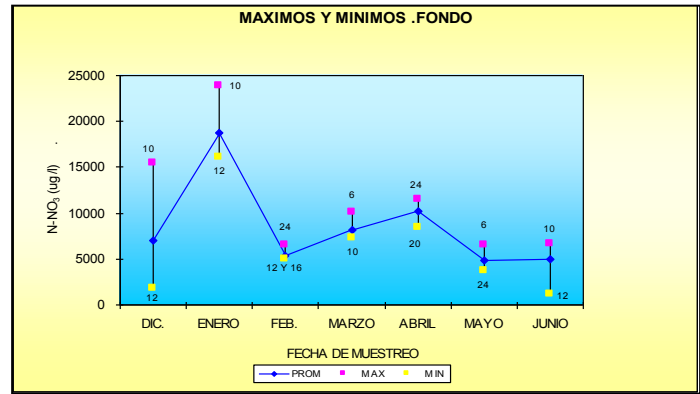


Figura 37. Promedio del amonio

Conforme se incrementaron las temperaturas, la cantidad de amonio en el sistema fue disminuyendo, alcanzando las menores concentraciones en junio. Las fluctuaciones en el nivel superior fueron similares en los diferentes meses, para un metro de profundidad, la magnitud de las variaciones durante el ciclo fueron mayores en diciembre-enero y mínimas de febrero a mayo.

El comportamiento del amonio en superficie y fondo fue similar con máximas concentraciones durante la noche y primeras horas de la mañana asociadas a concentraciones de oxígeno disuelto, temperaturas y valores de pH menores en el ciclo nocturnal.

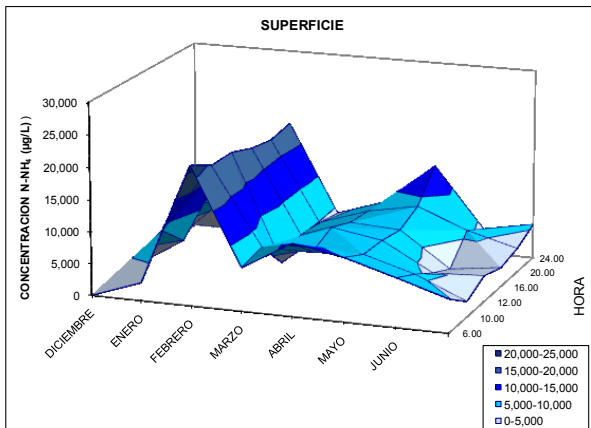


Figura 38. Variación Temporal de Amonio

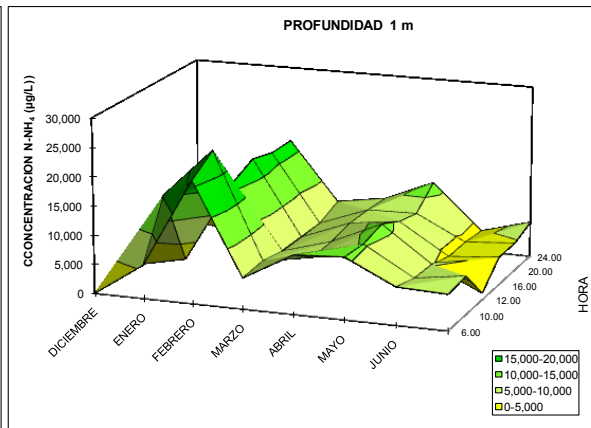


Figura 39. Variación Temporal de Amonio

Las concentraciones mínimas se presentaron a las horas de la mayor actividad fotosintética en ambos niveles.

NITRITOS

Conforme a lo observado en la figura 15 y el análisis estadístico realizado, no hubo diferencias significativas entre el comportamiento de superficie y un metro de profundidad. Para el ión de nitrito (figuras 40 y 41) la concentración en diciembre y enero se mantuvo casi constante a lo largo del día. Sin embargo en los meses de noviembre, mayo y, sobre todo marzo y junio ésta fue muy cambiante principalmente a nivel superficial.



Los valores máximos para superficie se presentaron durante la noche o primeras horas de la mañana y los menores en el transcurso de la tarde o al anochecer, con la concentración promedio más alta en abril y la menor en enero. A un metro de profundidad los valores máximos fueron registrados en diferentes horas del día, sin un patrón definido, pero los mínimos siempre se presentaron entre las 10 y 16 h.

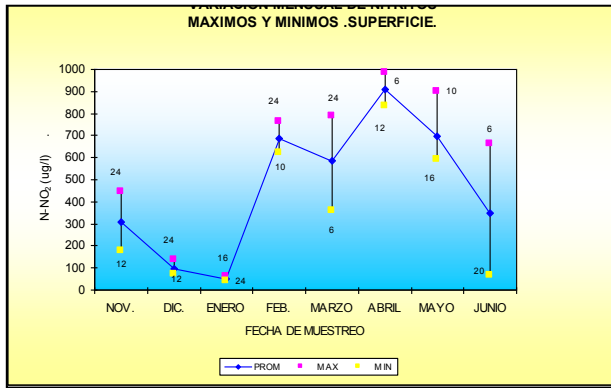


Figura 40. Promedio de nitritos

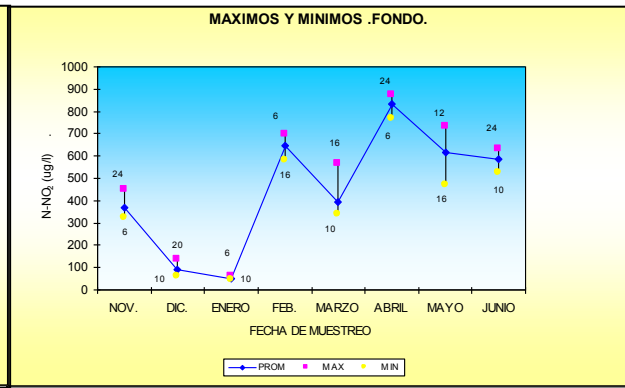


Figura 41. Promedio de nitritos

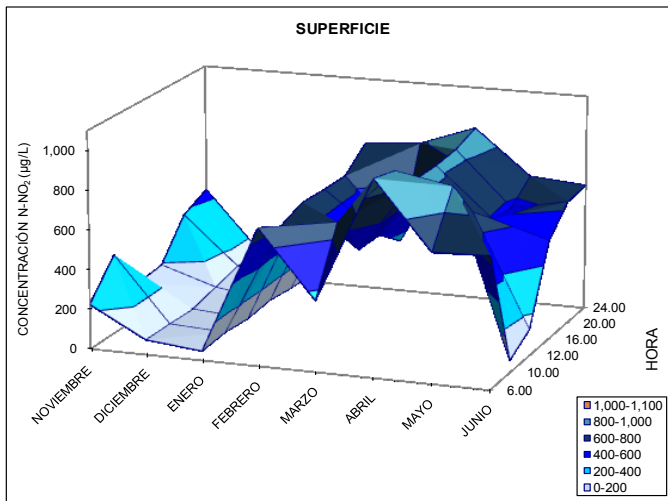


Figura 42. Variación temporal de nitritos

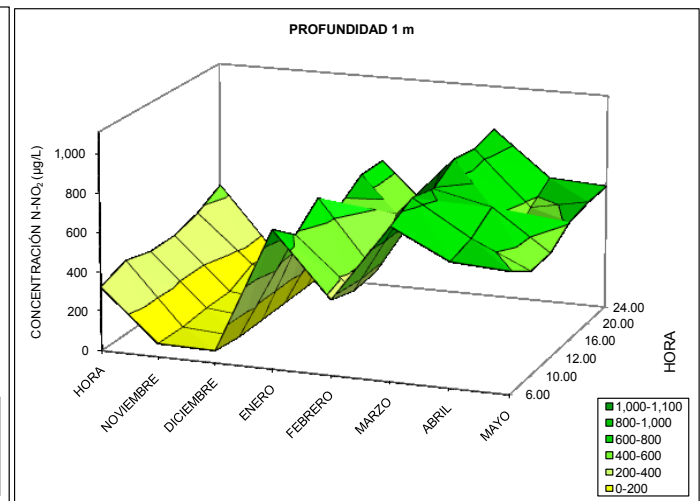


Figura 43. Variación temporal de nitritos



Al comparar las figuras 42 y 43 vemos una gran diferencia en el comportamiento, siendo más estable el nivel a un metro de profundidad y más inestable la concentración de nitritos en superficie, tanto a lo largo del día, como durante el tiempo del cultivo, a partir de febrero este parámetro sufre un incremento notable y adquiere mayor dinamismo durante el día.

NITRATOS

La figura 15 nos indicó que las concentraciones de nitratos en la superficie y a un metro de profundidad fueron muy similares corroborándolo con la prueba de T correspondiente, sin detectar diferencias significativas.

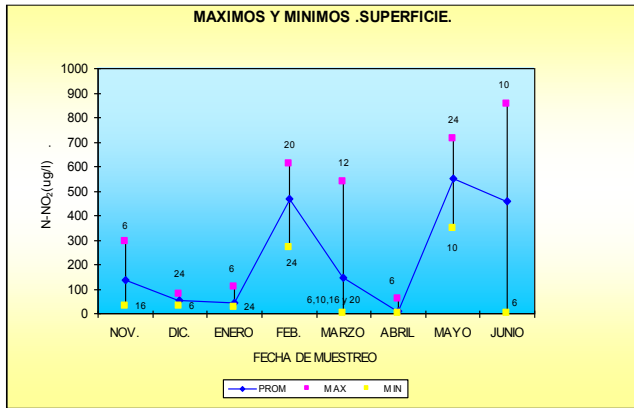


Figura 44. Promedio de nitratos

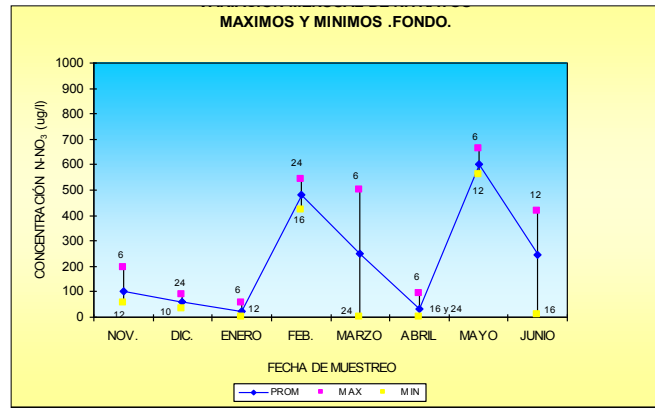


Figura 45. Promedio de nitratos

En los dos niveles se detectó que los valores máximos y mínimos se pueden presentar a cualquier hora del día no mostrando un patrón definido (figuras 44 y 45). Las máximas concentraciones así como las fluctuaciones más amplias a lo largo del día se presentaron en febrero marzo, mayo y junio. La concentración más alta determinada fue de 853.2 µg/L en la superficie y de 663.6 µg/L a un metro de profundidad. En marzo y junio hubo horas en las que no se detectó la presencia de nitratos y en abril solo se detectó a las 6:00 h en superficie y no se detectaron a las 16:00 y 24:00 a un metro de profundidad.

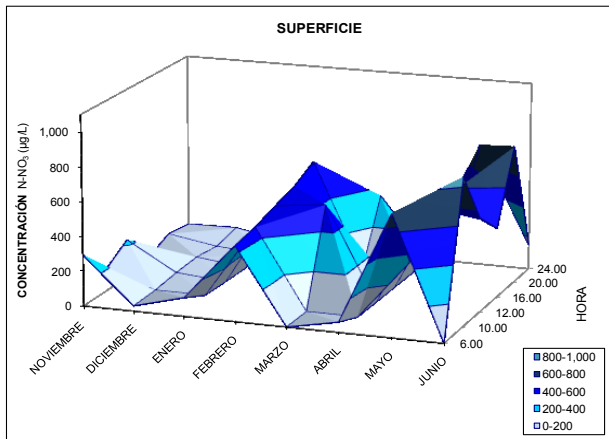


Figura 46. Variación temporal de nitratos

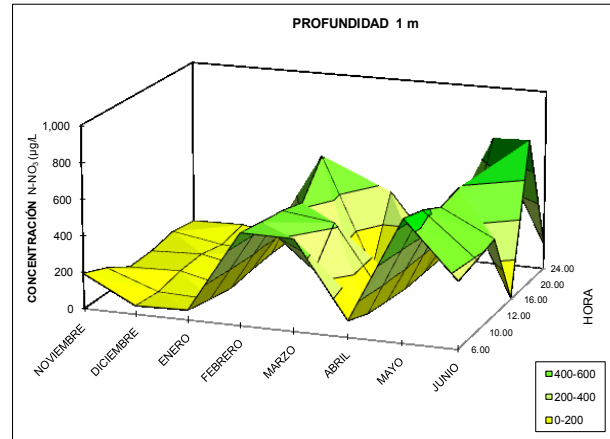


Figura 47. Variación temporal de nitratos



En las figuras 46 y 47, se observa el mismo comportamiento para los dos niveles, con elevaciones en la concentración durante febrero, mayo y junio y depresiones importantes en enero y abril.

Para visualizar la dinámica del nitrógeno inorgánico tomando en cuenta a las tres especies químicas se construyeron las figuras 48 y 49. Cabe aclarar que en noviembre no se detectó amonio, sin embargo a partir de diciembre se ve como dominó en el sistema durante el tiempo de cultivo, a partir de febrero comienzan a ser notable la presencia de los nitritos, mientras que los nitratos a excepción de noviembre solo se manifiestan ocasionalmente, esto es muy claro para ambos niveles e indica condiciones del estado trófico del sistema.

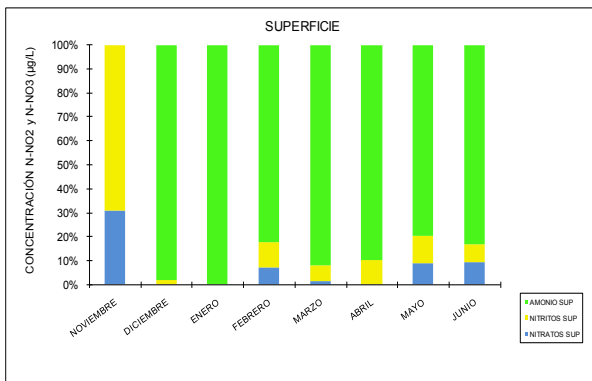


Figura 48. Dinámica del nitrógeno inorgánico

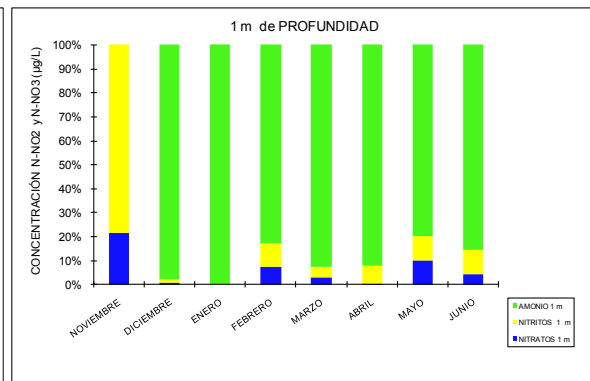


Figura 49. Dinámica del Nitrógeno inorgánico

De acuerdo a los gráficos correspondientes para estos parámetros en la figura 12, se ve que los nitratos y nitritos presentaron distribuciones similares, pero difieren mucho del comportamiento del amonio. Se detecta la existencia de 3 etapas, la primera de noviembre a enero con baja concentración de nitritos y nitratos, y tendencia a disminuir; otra en febrero, marzo y abril, con concentraciones variables de nitratos-nitritos y tendencia del amonio a incrementar pero con baja dispersión y la última en mayo y junio representada por estabilidad en la concentración de amonio y concentraciones medias para los otros dos iones; ambos con gran dispersión en junio.

ORTOFOSFATOS

En cuanto al comportamiento para superficie y fondo (figura 15), se realizó la prueba T correspondiente, sin encontrar diferencia significativa entre las medias de estos niveles.

El PO_4^{3-} inorgánico ionizado es la forma más relevante para la asimilación vegetal, porque puede asimilarse con un menor gasto energético (Wetzel, 2001). Si se analizan las Figuras 50 y 51, se tiene que en ambos niveles de profundidad, el patrón de fluctuaciones fue el mismo, manteniendo concentraciones menores siempre a un metro de profundidad. Para los meses de noviembre y diciembre las concentraciones fueron del orden de cientos $\mu g/L$ y constantes a lo largo del día, mientras que en los meses posteriores los niveles subieron a miles de $\mu g L^{-1}$.

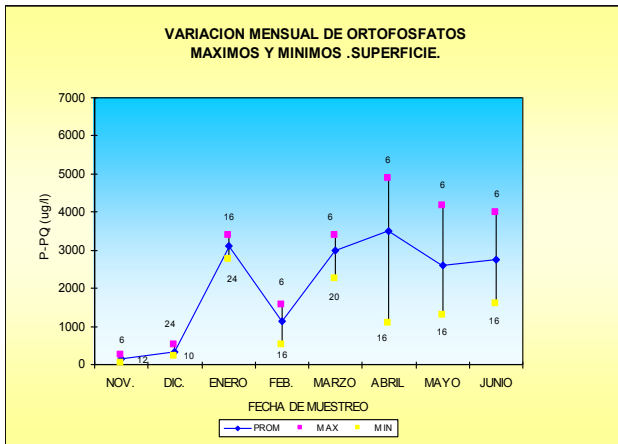


Figura 50. Promedio de ortofosfatos

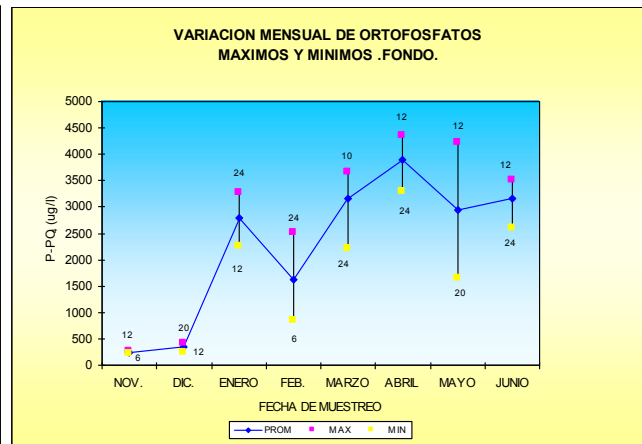


Figura 51. Promedio de ortofosfatos

Los promedios más altos se tuvieron en abril y los menores en noviembre, la concentración más elevada que se registró fue de 4881.8 y la mínima de 21.7 mg L⁻¹ ambas a nivel superficial. Los meses con mayor variación durante el ciclo nictemeral fueron abril, mayo y junio para la superficie y para un metro de profundidad febrero y mayo.

Aunque el comportamiento promedio fue similar en las figuras 52 y 53, se observó que cada nivel tienen características propias, con concentraciones elevadas a las 6 h y bajas a las 16 h en superficie; sin embargo hacia el fondo de las jaulas las máximas concentraciones se dieron a las 12 h a partir de marzo y las mínimas al anochecer.

En el diagrama de cajas para la distribución por mes, también se identifican tres etapas, la primera homogénea con bajas concentraciones conformada por noviembre y diciembre., la segunda por marzo y abril, con amplia dispersión y concentraciones elevadas y la tercera conformada por mayo y junio.

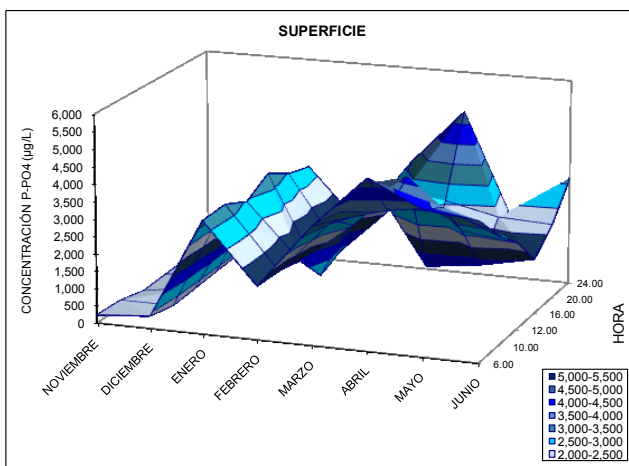


Figura 52. Variación temporal de ortofosfatos

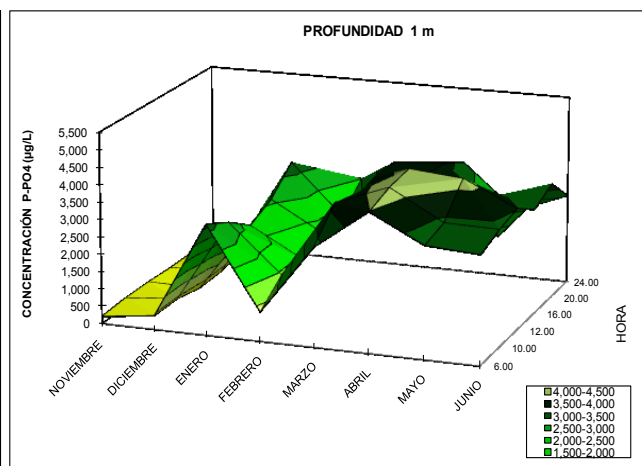


Figura 53. Variación temporal de ortofosfatos



COMPARACIÓN ENTRE CONCENTRACIONES DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO Y LA POZA DE OXIDACIÓN

Para definir si las concentraciones de los nutrimentos (amonio, nitritos, nitratos, ortofosfatos y la alcalinidad) son resultado únicamente del proceso natural del sistema o si la descarga de la planta de tratamiento era la causa principal de su variación, se realizó una comparación entre las concentraciones de la superficie, las profundidades de un metro y las medidas en la descarga de la planta de tratamiento, para definir si existían diferencias significativas en su comportamiento.

El análisis consistió en un ANDEVA para cada uno de los parámetros que fueron considerados en el monitoreo del efluente. El resultado global de cada uno de estos análisis estadísticos nos dice que no hubo diferencias significativas entre el comportamiento de los niveles en el embalse y la planta, por lo que se concluye que la descarga es el principal generador de las variaciones mensuales del fósforo, el nitrógeno y la alcalinidad.

Cuadro 4. Concentraciones promedio de la Descarga de la Planta

PROMEDIO DEL APORTE DE LA PLANTA EN LOS MESES DE MONITOREO					
MES	Amonio ($\mu\text{g/l}$) N-NH ₄	Nitritos ($\mu\text{g/l}$) N-NO ₂ -	Nitratos ($\mu\text{g/l}$) N-NO ₃ -	Ortofosfatos ($\mu\text{g/l}$) P-PO ₄ 3-	Alcalinidad (mg/l) CaCO ₃
Diciembre	-	855	425	428	-
Enero	-	47	17	-	273
Febrero	8901	550	71	2641	243
Marzo	-	741	389	6350	221
Abril	13248	898	65	5668	341
Mayo	4388	948	476	4534	209
Junio	7618	567	167	3677	202

El valor-*P* de la razón-*F* en todos los casos fue mayor o igual que 0.05, no existió una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables (95.0% de confianza).

Cuadro 5. ANDEVA para comparación de dos niveles y descarga

PARÁMETRO	Razón- <i>F</i>	Valor- <i>P</i>	DECISIÓN
AMONIO	0.024	0.977	No hubo diferencia significativa entre las medias de superficie, 1 m de prof. y la descarga de la planta
NITRITOS	0.857	0.441	No hubo diferencia significativa entre las medias de superficie, 1 m de prof. y la descarga de la planta
NITRATOS	0.011	0.989	No hay diferencia significativa entre las medias de superficie, 1 m de prof. y la descarga de la planta
ORTOFOSFATOS	1.868	0.185	No hay diferencia significativa entre las medias de superficie, 1 m de prof. y la descarga de la planta
ALCALINIDAD	1.82	0.193	No hay diferencia significativa entre las medias de superficie, 1 m de prof. y la descarga de la planta



SÓLIDOS SUSPENDIDOS

También se les llama sólidos filtrables y son un parámetro importante a determinar en acuicultura ya que interfieren en varios procesos del sistema.

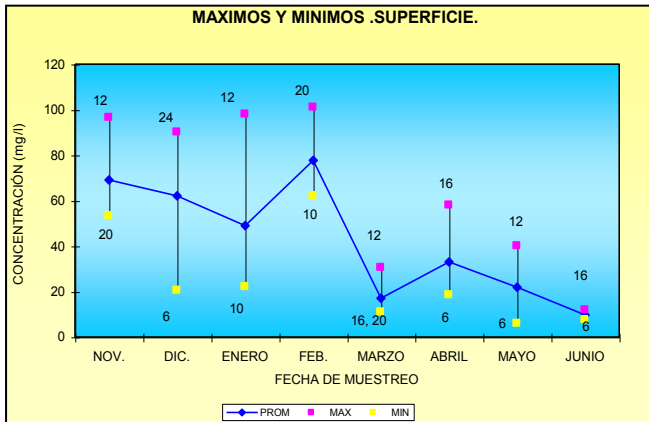


Figura 54. Promedio para sólidos suspendidos

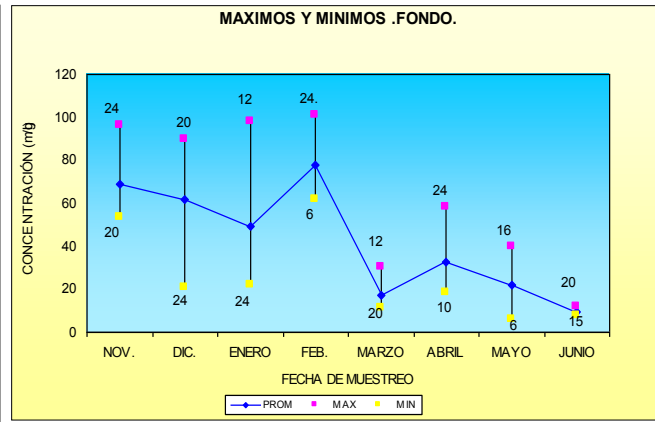


Figura 55. Promedio para sólidos suspendidos

El intervalo en que se encontró este parámetro a lo largo del estudio osciló entre 6 y 111.3 mg L⁻¹ identificando dos periodos uno de noviembre a febrero con abundantes sólidos suspendidos y otro de marzo a junio con disminución notable en los mismos (Figuras 54 y 55).

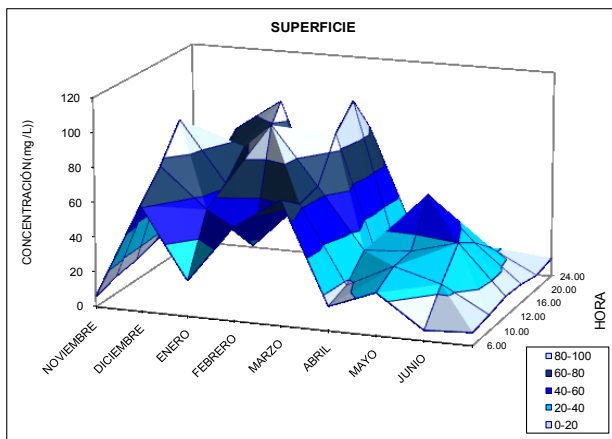


Figura 56. Variación temporal de sólidos suspendidos

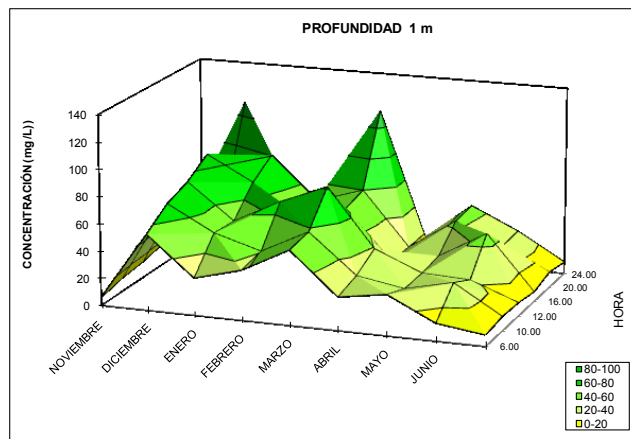


Figura 57. Variación temporal de sólidos suspendidos

En las figuras 56 y 57, se puede apreciar como este parámetro sufrió cambios muy evidentes, con la presencia de uno, dos o hasta tres picos durante el día, no se definen horas específicas para estos picos en los diferentes muestreos, ya que sucedieron a diferentes horas en cada caso. Tanto en superficie, como a un metro de profundidad ocurrió un proceso similar; el mes con la menor cantidad de sólidos suspendidos y con mayor homogeneidad durante el día fue junio.

CARBONO TOTAL DISUELTUO (CTD)

Dentro de este parámetro es considerado, toda aquella porción de carbono orgánico e inorgánico que atraviesa un filtro de 0.45 µm, proviene de material alóctono y autóctono y representa una fuente de energía sostenida para los heterótrofos (Martínez, 1998).



En la figura 15 se contempla la semejanza entre las concentraciones a lo largo de la columna de agua, con pequeñas diferencias solo en noviembre y diciembre, lo que se corrobora en el análisis estadístico mostrando que no hubo diferencias significativas entre ambos niveles.

En superficie los valores mínimos se registraron durante la noche y primeras horas de la mañana; a un metro de profundidad el valor máximo fue de 149.5 y el mínimo de 25 mg L⁻¹

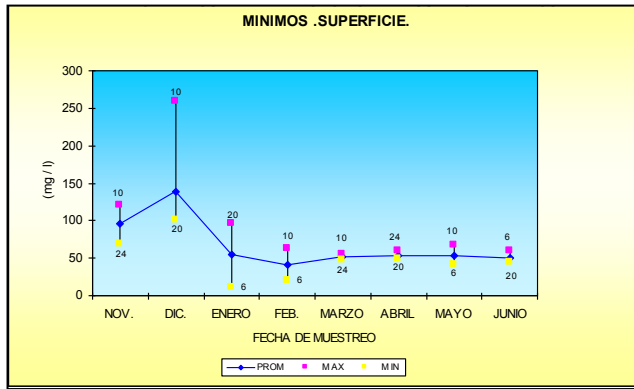


Figura 58. Promedio del carbono total disuelto

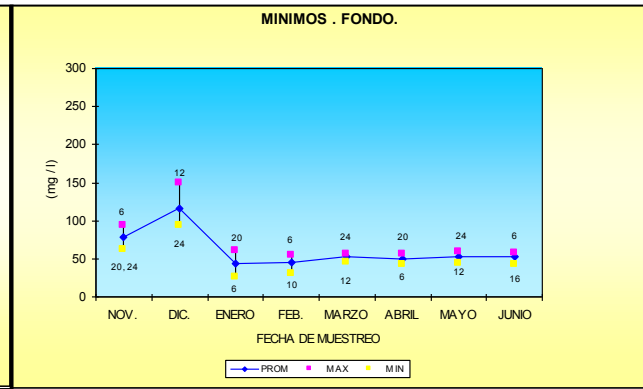


Figura 59. Promedio del carbono total disuelto

Las figuras 58 y 59 para superficie y fondo dejan ver un comportamiento dividido en dos fases, la primera de noviembre a enero con variaciones importantes de un mes a otro y durante el día, sobre todo a nivel de superficie con el valor más alto registrado 258.5 mg L⁻¹ alcanzado en diciembre y el menor de 11 mg L⁻¹ medido en enero, siendo los valores correspondientes a un metros de profundidad de 149.5 y 25 mg L⁻¹. Y una segunda fase a partir de enero en donde hay una estabilización en la concentración del carbono orgánico disuelto a través del tiempo con intervalos entre 62 - 30.6 mg para superficie y 58.98 – 34.95, para un metro de profundidad.

En lo que se refiere al comportamiento a lo largo del día (Figuras 60 y 61), si bien hay correspondencia entre el superficial y de un metro de profundidad, vemos mayor variación en la concentración de superficie, que en la de fondo; así como en las horas de mayor incidencia solar, con un comportamiento muy homogéneo para la columna de agua de febrero a junio.

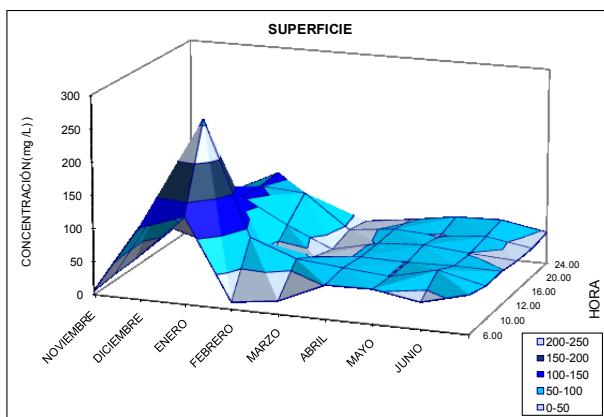


Figura 60. Variación temporal de carbono total disuelto

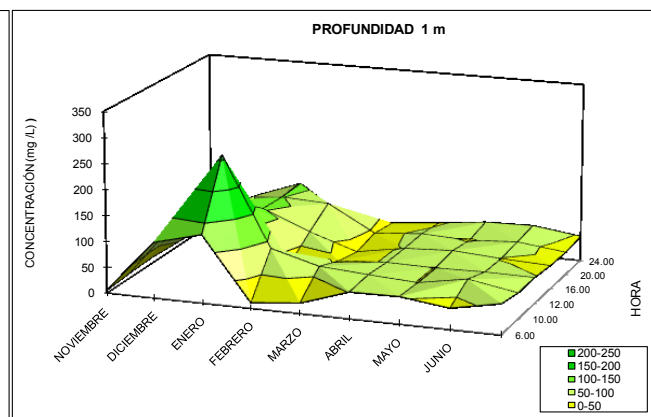


Figura 61. Variación temporal de carbono total disuelto



CARBONO ORGÁNICO PARTICULADO (COP)

Al igual que en otros casos en la figura 15 se observó con claridad porque los resultados estadísticos nos muestran que no hay diferencias significativas para las concentraciones registradas en los dos niveles.

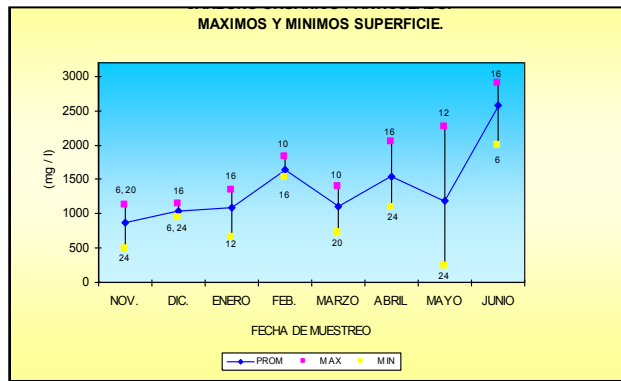


Figura 62. Promedio de carbono orgánico particulado

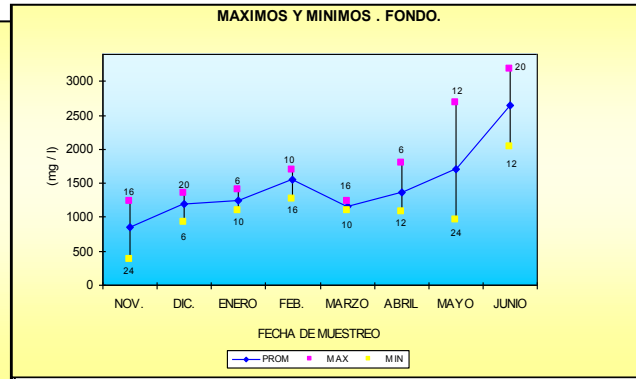


Figura 63. Promedio de carbono orgánico particulado

La concentración de carbono orgánico particulado en el sistema fue muy alta y varió dentro de un intervalo de 230 y 3175 mg L⁻¹, con un mismo comportamiento en ambos niveles (Figuras 62 y 63). Todo esto se reflejó durante el día con mayores concentraciones entre las diez de la mañana y las cuatro de la tarde y menores de las 24 a las 6 h, sobretodo en el nivel superficial. Las mayores variaciones nictemerales y en la columna de agua se registran de abril a junio.

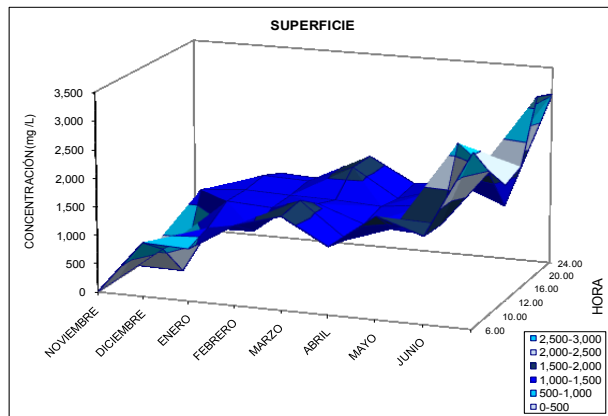


Figura 64. Variación temporal del carbono orgánico particulado

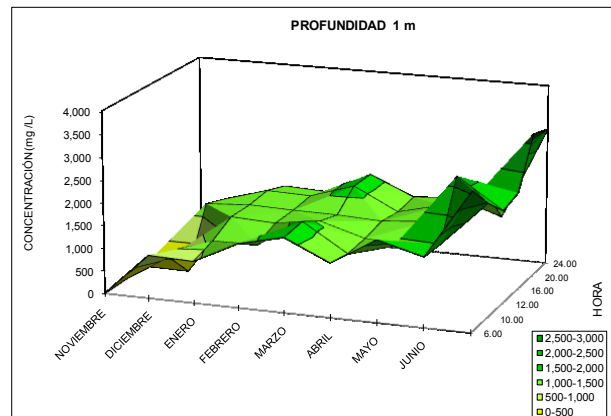


Figura 65. Variación temporal del carbono orgánico particulado

Las figuras 62 y 63 nos muestran la similitud en comportamiento y la tendencia ascendente en ambos casos, conforme avanza el tiempo de cultivo.



De acuerdo a las figuras 64 y 65, se observa también la presencia de dos etapas, la primera mostró gran estabilidad y la segunda de febrero a junio con tendencia ascendente y mayor dispersión.

PRODUCTIVIDAD PRIMARIA

Se entiende como productividad primaria neta, la tasa bruta de formación de materia orgánica nueva o energía utilizada (por fotosíntesis ó quimiosíntesis), menos las pérdidas observadas por respiración en un periodo de tiempo. En la figura 66 se observa que la productividad primaria neta no exhibió una variación estacional definida a causa de los factores ambientales que interactuaron en el embalse. Con una mayor concentración en noviembre, febrero, mayo y junio.

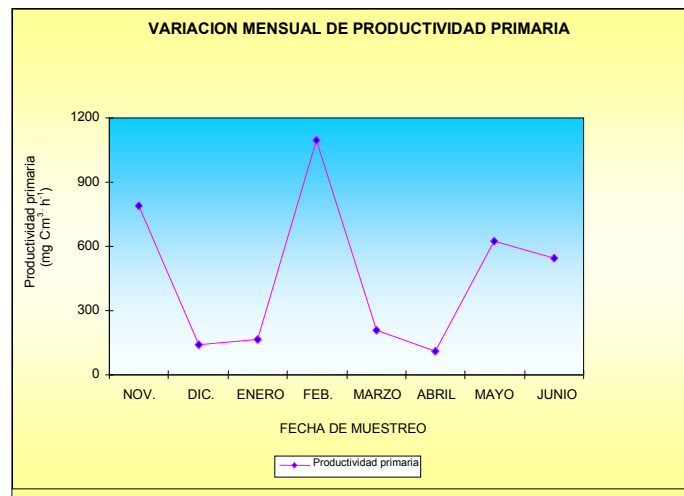


Figura 66. Variación temporal de la productividad primaria

Es importante mencionar que esta técnica enfrenta cuestionamientos y su uso queda restringido a estimaciones gruesas de productividad en ambientes altamente productivos (Lara, 1996).

CLOROFILA “a”

La cuantificación de clorofila “a” es una técnica utilizada para la estimación de biomasa fitoplanctónica al igual que el conteo directo al microscopio. La mejor interpretación de esta evaluación es como potencial de la producción primaria, más que como biomasa (Margalef, 1982 y Billington, 1991) aunque es importante subrayar que el uso de pigmentos como estimadores de la productividad no es viable para todas las algas (Lara, 1996). Las concentraciones de este pigmento en el embalse fluctuaron entre valores de 959 y 38 mg m⁻³, los valores promedio sufrieron cambios importantes en marzo y abril. Es importante hacer notar que los valores máximos para diciembre, febrero mayo y junio se registraron a las 12 del día, coincidiendo con la mayor incidencia de luz solar; sin embargo, en noviembre y enero esto sucedió a las 20 y 24 h cuando la incidencia luminosa es casi nula (Figura 67). Las menores concentraciones de clorofila “a” se presentaron en las primeras horas de la mañana o en la noche, a excepción del mes de noviembre en donde se registró a las 12 h.

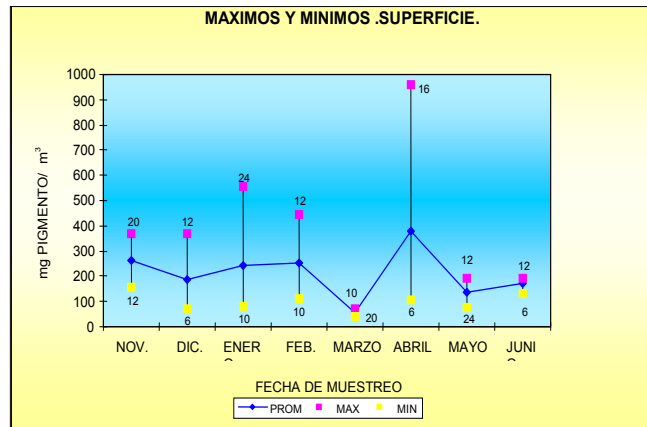


Figura 67. Promedio de clorofila "a"

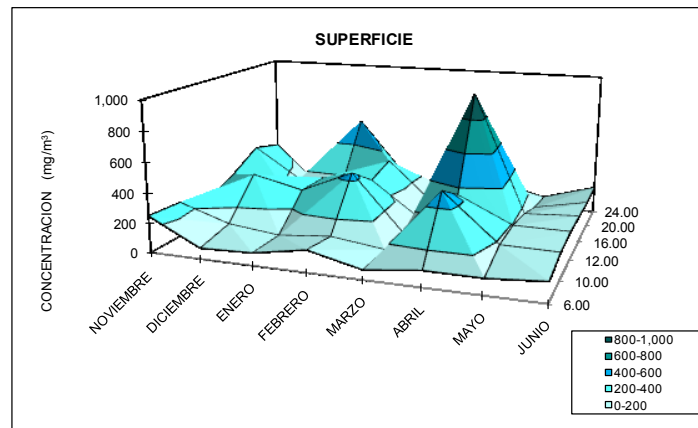


Figura 61. Variación temporal de carbono Total Disuelto

En la figura 68 la dinámica de este parámetro, nos muestra el desarrollo de dos elevaciones en la concentración durante el día, la primera tuvo lugar entre las 10 y las 12 h y la segunda entre las 16 y las 24 h, esto sucedió de manera más evidentemente en enero, febrero y abril.

El análisis estadístico mostró además de la diferencia significativa en el comportamiento mensual, los patrones de dispersión para cada mes, indicando menor variabilidad en marzo-junio y la mayor en enero y abril.



FITOPLANCTON

Para la evaluación del fitoplancton se realizaron dos muestreos prospectivos en julio y agosto, posteriormente se realizaron a los muestreos mensuales de diciembre a junio. Durante los meses de diciembre y enero (Figura 69), la densidad absoluta fue muy baja y estuvo representada por clorófitas, bacilariofitas y cianófitas (figura 70); sin embargo en el mes de febrero se incrementa de cientos a miles de células con un florecimiento evidente y se reduce en el mes de marzo, disminuye nuevamente para febrero y se mantiene en el orden de los millares hasta junio.

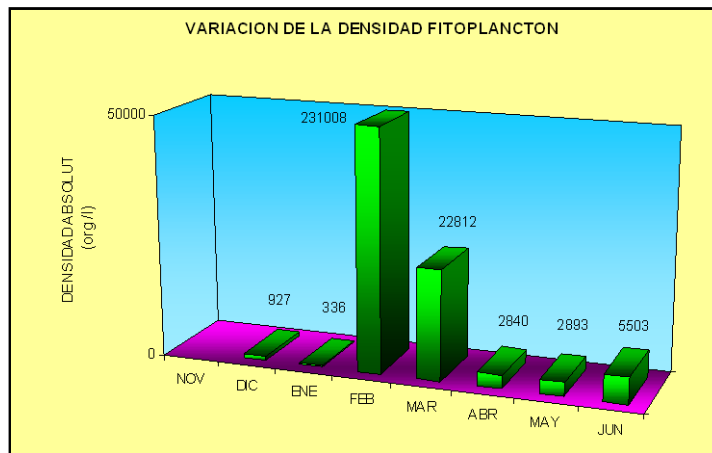


Figura 69. Densidad absoluta del fitoplancton

Debido a las constantes variaciones naturales e inducidas en las condiciones físicas y químicas del embalse, se presenta una sucesión continua de divisiones y géneros fitoplanctónicas. La densidad absoluta está determinada por el número de células cuantificadas más no así por su volumen. En febrero se registra la mayor densidad de cianófitas representadas únicamente por la especie *Chroococcus dispersus*, que son células pequeñas con forma esférica y alto grado de diseminación en el medio; en marzo, abril y junio domina esta misma especie, pero con menor número de organismos.

En el sistema se encontró dominancia de algas verdeazules, con la presencia de clorófitas en los meses más fríos (diciembre-enero) y su reaparición para el mes de junio; el grupo de las diatomeas apareció en diciembre y desaparece totalmente para febrero y surge de forma puntual en mayo (Figura 70). En la figura 66, se ilustró la sucesión de 10 géneros en que aparecen, y desaparecen de acuerdo a las condiciones físicas y químicas prevalecientes en la poza. En este desarrollo sucesional se ve cómo en los meses prospectivos hubo dominancia alternada de dos géneros *Anabaena spiroides* en julio y *Microcystis aeruginosa* en agosto (Figura 71 y 72), durante diciembre se presenta mayor diversidad con 4 géneros con dominio de *Crucigenia sp*, en enero persisten dos de ellos, con dominancia de *Cyclotella sp* y surgen otros dos géneros, uno de ellos fue *Chroococcus dispersus* que dominó al 100% en febrero.

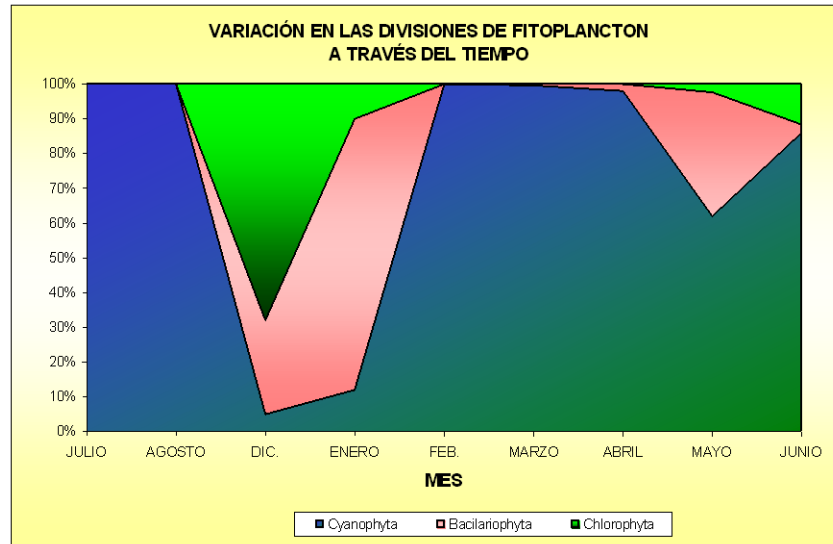


Figura 70. Variación temporal de las divisiones del fitoplancton

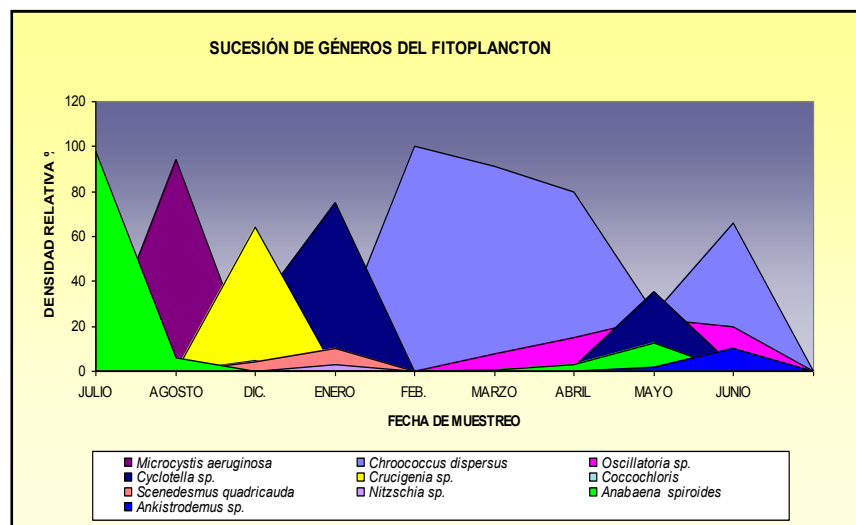


Figura 71. Sucesión temporal de géneros fitoplanctónicos

En marzo su densidad relativa disminuye y aparecen *Oscillatoria sp.* y con presencia bastante limitada de *Anabaena spiroides* y *Cyclotella sp.* en abril persisten los mismos géneros disminuyendo la densidad relativa de *Chroococcus dispersus* e incrementándose la de los otros tres géneros. El mes de mayo es el que presentó mayor diversidad con el registro de 6 géneros con dominio de *Cyclotella sp.* y surgimiento de *Ankistrodemus sp.* (Figura 72) y para el mes de junio desaparece *Anabaena spiroides* quedando 5 géneros y aumentando nuevamente su densidad relativa *Chroococcus dispersus*; esta última especie estuvo presente de enero a junio y mayo fue el único mes en que no fue dominante.



CULTIVO DE *Oreochromis niloticus* EN AGUAS DE DESECHO DOMÉSTICAS TRATADAS.

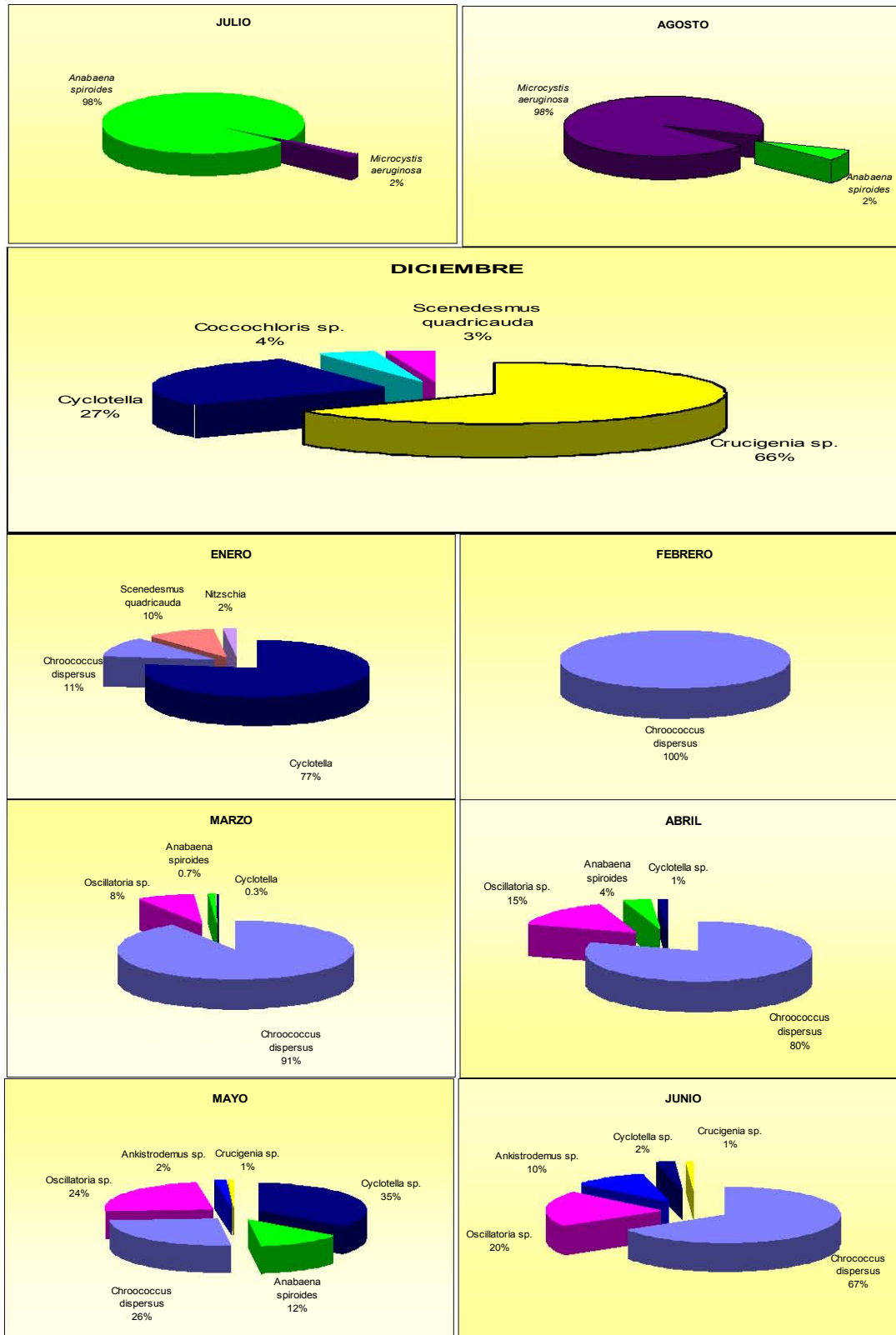


Figura 72. Densidad relativa de géneros y especies fitoplanctónicas por mes



En las siguientes fotos se presentan los géneros encontrados y sus principales características.



<http://algalweb.net/Islay03/chroococcdispers-a>

Chroococcus dispersus (Keissler) Lemmermann

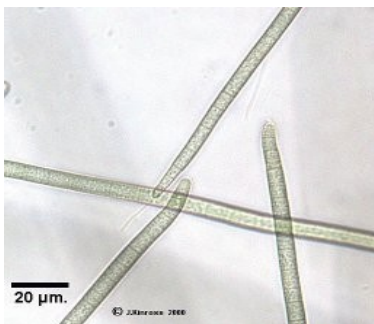
Cianófito, que forma parte de un conjunto de especies planctónicas encontradas en sistemas eutróficos, son células pequeñas con forma esférica, alto grado de diseminación en el medio, crecimiento rápido, elevada relación superficie-volumen, alta velocidad de absorción de nutrientes y eficiencia en la fijación de carbono con adaptaciones para sobrevivir en ambientes adversos. (Sant'Anna et al. 2004).



<http://c1.ecoscrabs.com/files/home/greenoptions/web/wordpress-mu-1.3/wp>

Anabaena spiroides

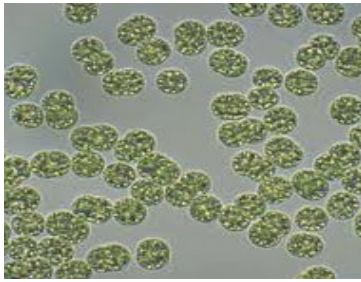
Cianófito del orden Nostocales de reproducción asexual, autótrofo, con clorofila dispersa, común en agua dulce (también se encuentran en aguas saladas y en hábitats terrestres). Soporta condiciones ambientales extremas (temperaturas hasta 73 °C). Sus células carecen de núcleo y de otras estructuras celulares.



<http://algalweb.net/osc5>

Oscillatoria sp.

Forma parte de las cianofitas o cianobacterias, de color verde azulado, viven en agua dulce. Poseen un cloroplasto grande con forma de tirabuzón. Es un organismo móvil que se desplaza en forma oscilatoria, de ahí su nombre.



Microcystis aeruginosa

Es uno de los chroococales más frecuentes en los florecimientos de cianofitas, son colonias compactas redondeadas en sus primeras etapas y alargadas cuando envejecen, forma mucílago alrededor de sus células esféricas de 4 a 6.5 . μm de diámetro



Cyclotella sp

Células de 3-5 μm de diámetro, con válvulas cortas en forma de tambor cubierta por las, espinas, prolongaciones o gránulos, en ocasiones con cerdas largas de quitina que aumentan su flotabilidad e impiden su consumo por los herbívoros

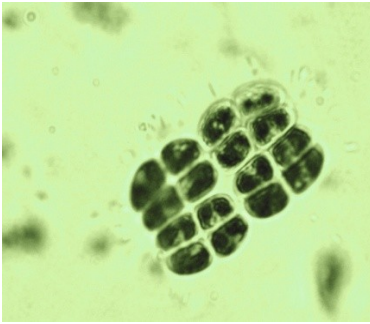
<http://cyclot.sakura.ne.jp/gazoudata/chloro/chloro.html>



Nitzschia sp.

Género que agrupa células, en general pequeñas, con valvas lanceoladas que presentan estrías transversales muy finas, apenas visibles y dispuestas densamente.

<http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB/>



Crucigenia sp.

Es de las clorofitas que forman colonias planas, con divisiones de cuatro organismos unicelulares, con diámetro de 5.5 a 16 μm , establecida sobre una masa gelatinosa son cosmopolitas y se localiza principalmente en sistemas eutróficos.

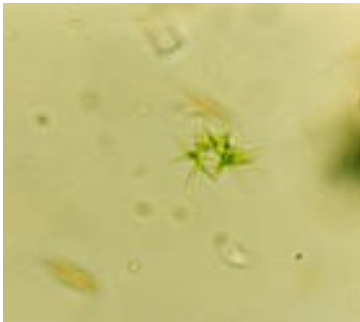
<http://www.zoology.ubc.ca/~shurin/aqua/phyto.html>



Scenedesmus quadricauda

Individuo colonial, constituido por 4, 8 ó 12 células. Las células centrales son alargadas y sin apéndices, las terminales, se abomban en el centro y presentan dos espinas que se proyectan hacia el exterior.

<http://t3.gstatic.com/images?q=tbn:>



Ankistrodesmus

Son células largas en forma de aguja o huso, a veces curvos o forma de media luna. carecen de mucílagos, puede encontrarse solo, agrupado, cruzado o en penachos entre otras algas; con cloroplastos parietales con pirenoides

<http://algalweb.net/osc5>

Figura 73. Imágenes de los géneros fitoplanctónicos registrados



CULTIVO PISCÍCOLA

Es importante mencionar que a causa de los problemas que se presentaron inicialmente en el cultivo y de la inquietud sobre cuál sería el máximo crecimiento a alcanzar en este sistema, se consideraron tres etapas para analizar el crecimiento de los organismos: La primera considera los organismos desde su talla de introducción y su crecimiento hasta el momento de la redistribución de los mismos en las jaulas. La segunda etapa a partir de la redistribución realizada en diciembre y hasta el mes de junio considerando ésta como la etapa principal a la que se enfoca el trabajo y la cual se considera en todos y cada uno de los rubros del mismo. Y una tercera etapa del mes de junio, en donde se podría considerar que el trabajo de cultivo controlado y el monitoreo físico-químico había concluido, al mes de diciembre, periodo en el cual se dejó a los organismos en el embalse con la intención de registrar el crecimiento alcanzado en 14 meses de cultivo.

DENSIDAD Y MORTALIDAD

El cuadro 6 nos muestra la densidad de los organismos utilizada en cada jaula a partir de diciembre, no siendo posible manejar la segunda densidad con repetición por falta de peces disponibles. El porcentaje de mortalidad se mostró en el cuadro 7, en donde se aprecia que no sigue un patrón definido, ya que las jaulas con la misma densidad mantuvieron diferente mortandad, considerando en total 17.5 % de organismos muertos a partir de la redistribución.

Cuadro 6. Variación mensual de organismos /m³ en cada jaula y densidad

JAULA	SERIE I				SERIE II		
	1	2	3	4	5	6	7
DENSIDAD	1	2	3	4	1	3	4
Organismos/m³							
MES							
DICIEMBRE	80	60	40	20	80	44	20
ENERO	80	58	40	20	80	44	20
FEBRERO	80	58	36	20	78	44	20
MARZO	80	54	36	20	78	42	20
ABRIL	74	50	36	20	70	42	9
MAYO	74	50	36	20	70	40	9
JUNIO	72	50	36	20	50	38	9



Cuadro 7. Porcentaje de mortalidad por jaula y densidad

JAULA	SERIE I				SERIE II		
	1	2	3	4	5	6	7
DENSIDAD	1	2	3	4	1	3	4
MES							
DICIEMBRE	0	0	0	0	0	0	0
ENERO	0	3.3	0	0	0	0	0
FEBRERO	0	0	10	0	2.5	0	0
MARZO	0	6.7	0	0	0	0	0
ABRIL	7.5	6.7	0	0	10	0	10
MAYO	0	0	0	0	0	0	0
JUNIO	2.7	0	0	0	25	5	0
TOTAL	10	16.7	10	0	37.5	5	10

RELACIÓN LONGITUD PATRÓN-LONGITUD TOTAL

Se estimó la relación entre longitud total y longitud patrón para determinar cuál de ellas utilizar para la relación peso-longitud. De acuerdo a la figura 73 y los valores obtenidos en la regresión lineal, se determinó que las variaciones entre ambas son muy similares; sin embargo de manera práctica se decidió utilizar la longitud patrón, ya que cualquier daño o anomalía en la aleta caudal, por su fragilidad, puede afectar la longitud total y no así la patrón.

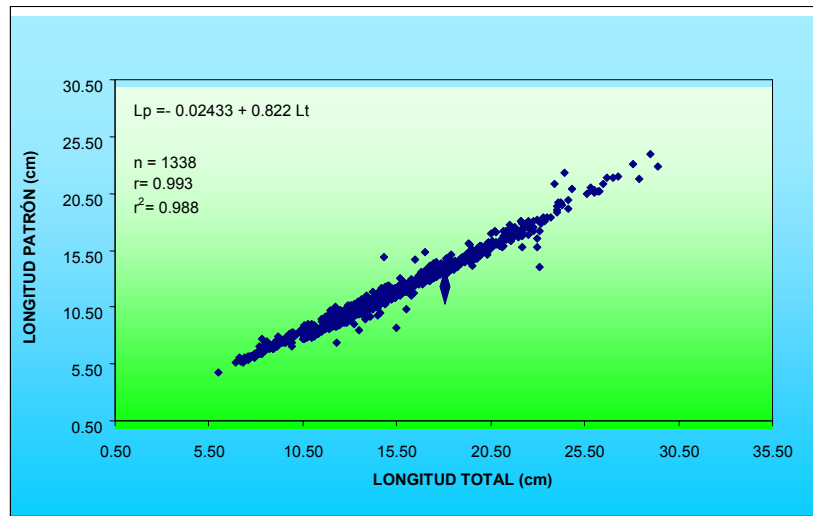


Figura 74. Regresión lineal entre longitud total y longitud patrón.



RELACIÓN PESO-LONGITUD

En la Figura 74 se muestra la relación Peso-Longitud patrón para la población total, tomando en cuenta los organismos de todas las jaulas en la primera y segunda fase, el valor de la pendiente de crecimiento obtenida fue 2.925, se aplicó una prueba de t-student (Pauly, 1984), y se encontró que está pendiente no era significativamente diferente de tres ($b=3$) con límites de confianza al 95%. Como confirmación al comportamiento de la población total, se calculó la relación peso-longitud para cada una de las jaulas (Figura 75) y para cada una de las densidades (Cuadro 8), en ambos casos se observó que a excepción de la primera fase y con un nivel de confianza de 99%, las pendientes de crecimiento no eran significativamente diferentes de tres y registrando un crecimiento isométrico.

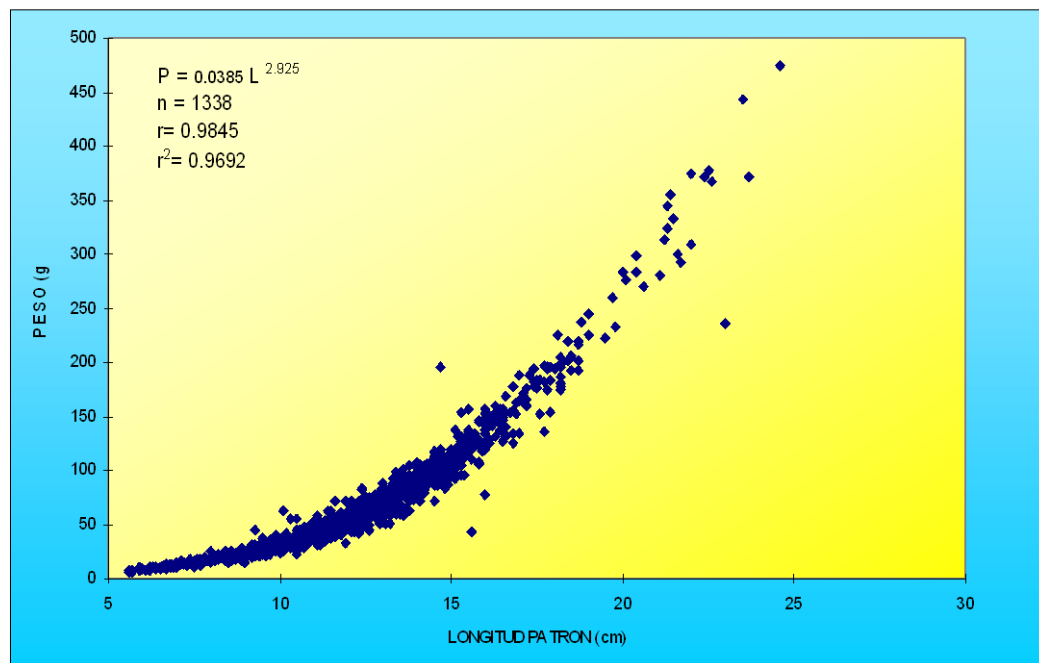


Figura 75. Relación peso-longitud patrón.
Población total (1ª y 2ª etapa)



Cuadro 8. Ecuaciones de la relación peso-longitud patrón y prueba de hipótesis

DENSIDAD	$P = a L^b$	n	r^2	Prueba de Hipótesis	t calculada	t* tablas 99%	Decisión
1ª. FASE	$P=0.0723 L^{2.64}$	343	0.927	Ho: $b = 3$ Ha: $b \neq 3$	7.1200	2.576	Ho se rechaza
1 (Jaulas 1 y 5)	$P=0.0251 L^{3.06}$	438	0.93	Ho: $b = 3$ Ha: $b \neq 3$	1.00342	2.576	Ho se acepta
2 (Jaula 2)	$P=0.0236 L^{3.116}$	159	0.9413	Ho: $b = 3$ Ha: $b \neq 3$	1.79876	2.6205	Ho se acepta
3 (Jaulas 3 y 6)	$P=0.02138 L^{3.147}$	235	0.9333	Ho: $b = 3$ Ha: $b \neq 3$	2.35394	2.576	Ho se acepta
4 (Jaulas 4 y 7)	$P=0.0319 L^{3.001}$	115	0.9419	Ho: $b = 3$ Ha: $b \neq 3$	0.0096	2.6205	Ho se acepta
Pobl. Total 1ª y 2ª. FASE	$P=0.0385 L^{2.92}$	1338	0.9691	Ho: $b = 3$ Ha: $b \neq 3$	0.0750	2.576	Ho se acepta

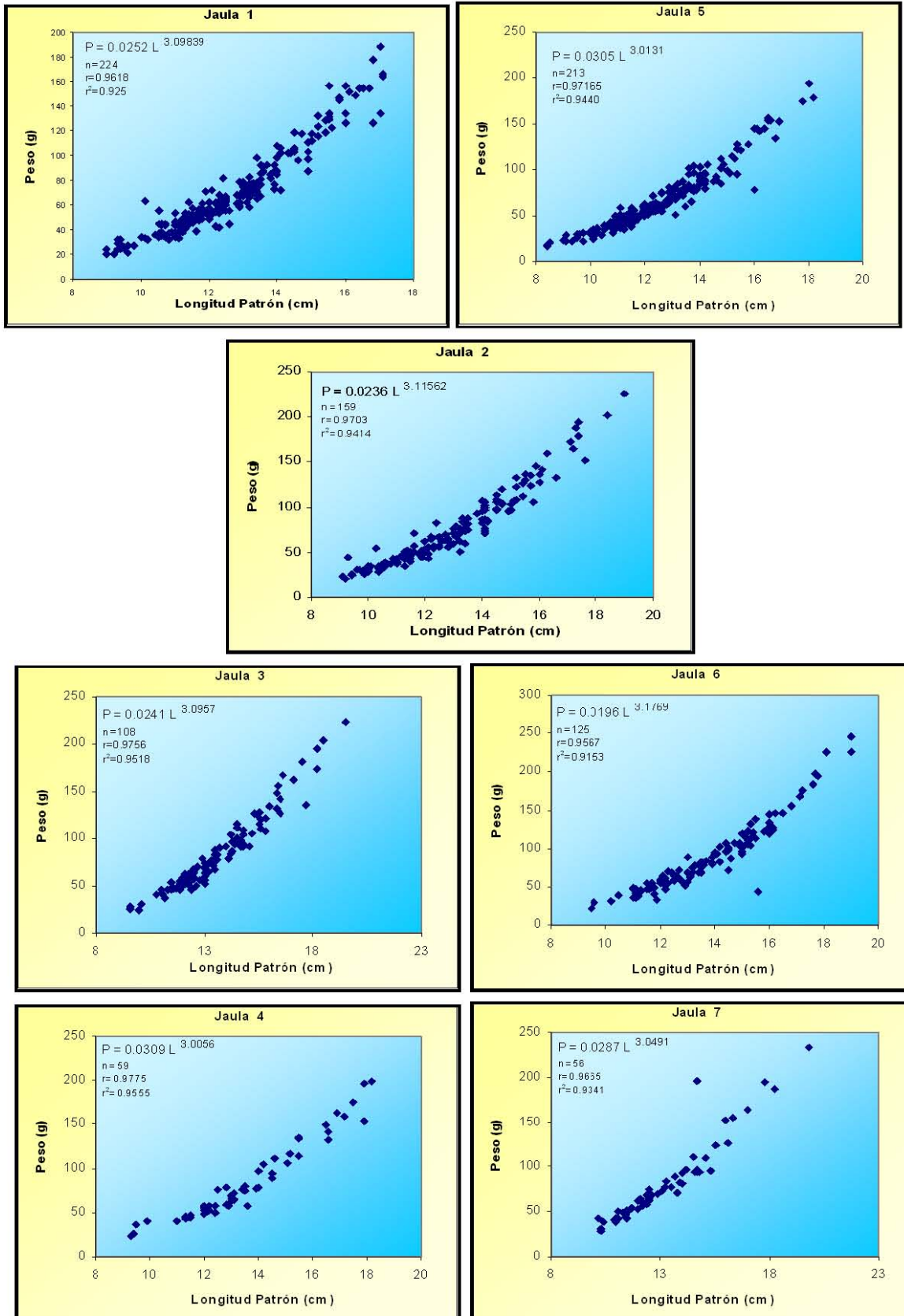


Figura 76. Relación peso-longitud por jaula



DATOS BIOMÉTRICOS

En la figura 76 podemos observar las variaciones del peso promedio para cada jaula a partir de diciembre, mes en el que se realiza la redistribución. En las jaulas 1 y 5, en las que se maneja una densidad de 80 organismos/m³, se registró un incremento similar excepto en mayo, donde la serie I tuvo un mayor promedio. La jaula 2 con densidad de 60 organismos/m³ no tuvo repetición; sin embargo mostró un crecimiento paralelo a las jaulas de la densidad 1 (80 organismos/m³), hasta el mes de abril, a partir del cual desarrolla un mayor incremento en peso. Las jaulas 3 y 6 correspondientes a la tercera densidad (40 y 44 organismos/m³) presentaron variaciones entre ellas, pero lograron el equilibrio de un mes a otro y crecimientos casi idénticos, superiores a los de las densidades de 80 y 60 organismos/m³ en los últimos tres meses. Las jaulas 4 y 7 correspondientes a la menor densidad de organismos (20 organismos/m³) tuvieron fluctuaciones mínimas de crecimiento entre ellas a lo largo de los meses de estudio, para finalmente en el mes de junio registrar un incremento ponderal y aparentemente mayor en la jaula 4 que en la 7; lo que fue necesario corroborar estadísticamente.

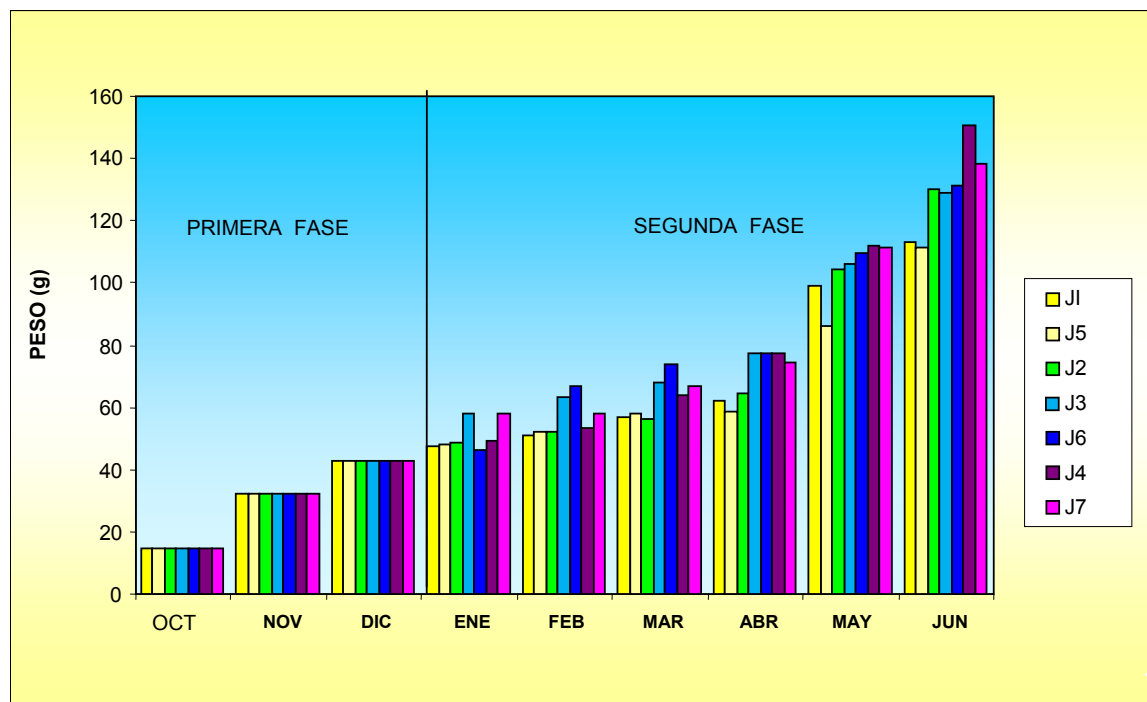


Figura 77. Incremento en peso por jaula.
Primera y segunda etapa.

En el cuadro 9, se muestran los promedios de pesos y longitudes iniciales y finales registradas en cada una de las etapas del estudio, en cada jaula y de acuerdo a las densidades de cultivo

**Cuadro 9. Incrementos promedio en Peso y Longitud patrón, por jaula y densidad.**

FASES DEL ESTUDIO	SERIE	JAULA	DENSIDAD	ORGANISMOS /m ³	PROMEDIO			
					PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	LONGITUD PATRÓN INICIAL (cm)	LONGITUD PATRÓN FINAL (cm)
1 ^a	Población Total				14.7	42.6	7.3	11.1
2 ^a	1	1	1	80	42.6	113.1	11.1	14.8
2 ^a	1	2	2	60	42.6	129.9	11.1	15.5
2 ^a	1	3	3	40	42.6	128.8	11.1	15.6
2 ^a	1	4	4	20	42.6	150.6	11.1	16.3
2 ^a	2	5	1	80	42.6	111.5	11.1	14.9
2 ^a	2	6	3	44	42.6	131.1	11.1	15.7
2 ^a	2	7	4	20	42.6	138.1	11.1	16.0
3 ^a					129	255.8	15.5	19.7
1 ^a la 3 ^a	Población Total				14.7	255.8	7.3	19.7

Algunas de estas diferencias entre las jaulas y por ende en las densidades son perceptibles a simple vista; sin embargo era necesario saber si eran o no estadísticamente significativas. Para esto se procedió a realizar un análisis exploratorio con diagramas de caja, para comparar el crecimiento en peso (figuras 78 y 79), longitud patrón (figuras 80 y 81) y altura (figuras 82 y 83), que alcanzaron los peces en función de la densidad.

Los datos de peso, longitud patrón y altura de los peces no se ajustaron a una distribución normal, ni cumplieron con la homogeneidad de varianzas, por lo cual se decidió aplicar una prueba de comparación de medianas de Kruskal-Wallis para evaluar la hipótesis nula de que las medianas dentro de cada una de las 4 densidades es la misma, y una prueba de Mood, que aplica chi-cuadrada para evaluar la hipótesis de que las medianas de las 4 densidades son iguales.

El cuadro 10 enmarca los valores de P, calculados para ambas pruebas en cada una de las comparaciones y nos indica que, considerando los tres parámetros biométricos (peso, longitud patrón y altura), se encontró que hubo diferencias significativas entre las medianas obtenidas para el crecimiento registrado por *Oreochromis niloticus* en cada una de las densidades del cultivo. De acuerdo al análisis de los diagramas de caja se puede ver que en los tres casos hubo similitud entre las densidades 1 y 2, que corresponden a las más altas y entre la 3 y 4 que eran las menores.



DENSIDAD	1	2	3	4
organismos/m ³	80	60	42	20

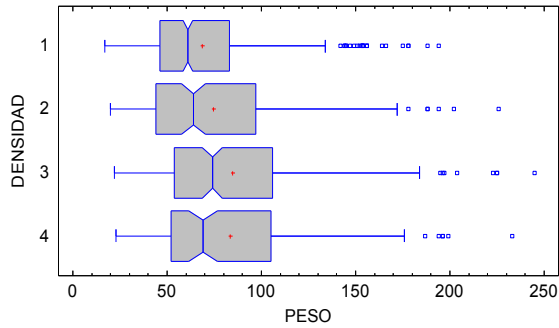


Figura 78. Diagrama de cajas de la variación del peso en función de la densidad

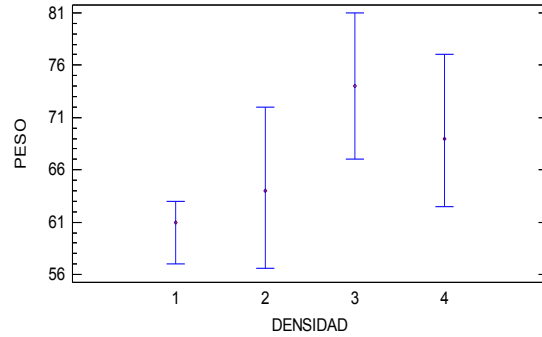


Figura 79. Gráficos de medianas del peso con intervalos con 99% de confianza.

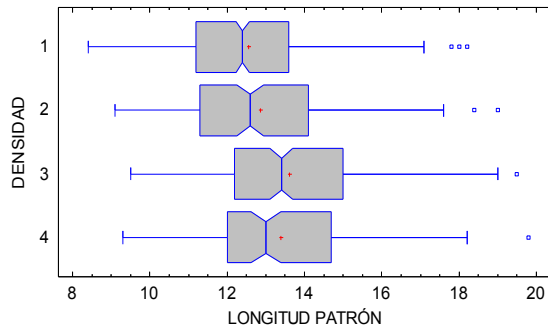


Figura 80. Diagrama de cajas de la variación de la longitud patrón en función de la densidad

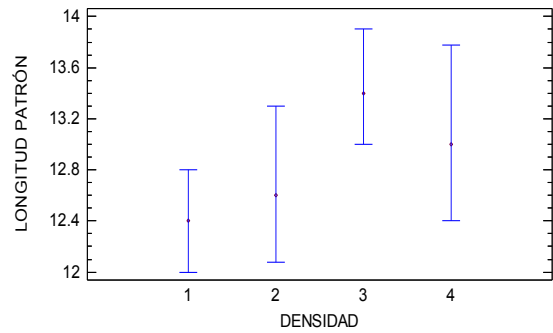


Figura 81. Gráficos de medianas de la longitud patrón con intervalos al 99% de confianza.

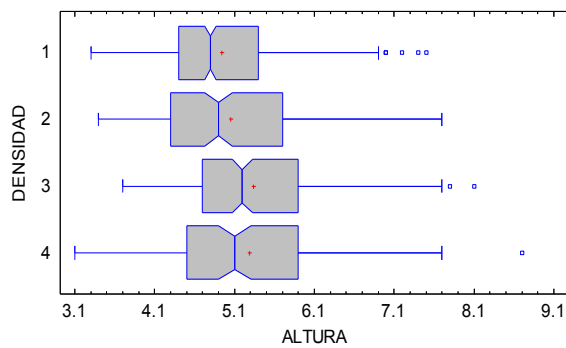


Figura 82. Diagrama de cajas de la variación de la altura en función de la densidad

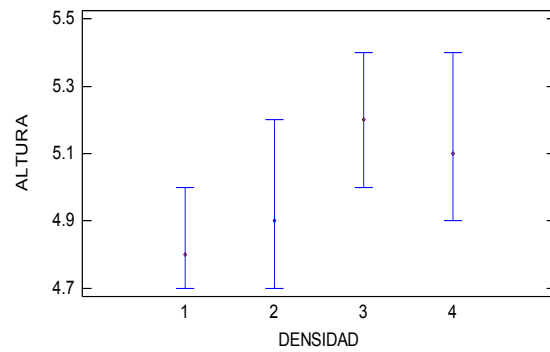


Figura 83. Gráficos de medianas de la altura con intervalos con 99% de confianza.



Cuadro 10. Valores de P, para pruebas de comparación de medianas en función de la densidad.

PARÁMETRO	Kruskal-Wallis valor P (95% conf.)	chi-cuadrada, Mood valor P (99% de conf.)	DECISIÓN
PESO	0.000001185	0.001065	Existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con 95% de confianza Las medianas de las densidades son significativamente diferentes con un nivel de confianza del 99.0%
LONGITUD PATRÓN	2.8873E-7	0.000976102	Existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con 95% de confianza Las medianas de las densidades son significativamente diferentes con un nivel de confianza del 99.0%
ALTURA	1.00624E-9	0.00008824	Existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con 95% de confianza Las medianas de las densidades son significativamente diferentes con un nivel de confianza del 99.0%

Para visualizar el desarrollo de los peces a lo largo del estudio, en la figura 84, se mostró el crecimiento en peso y longitud patrón que registró toda la población, teniendo en cuenta las tres fases o etapas de crecimiento al considerar también el incremento logrado en seis meses (junio a diciembre) más en el sistema, a partir de una muestra de 20 organismos, se obtuvieron ejemplares con talla comercial, longitud patrón promedio de 20 cm y peso promedio de 250 g, en un lapso de 14 meses, sin ningún tipo de alimento o suplemento adicional.

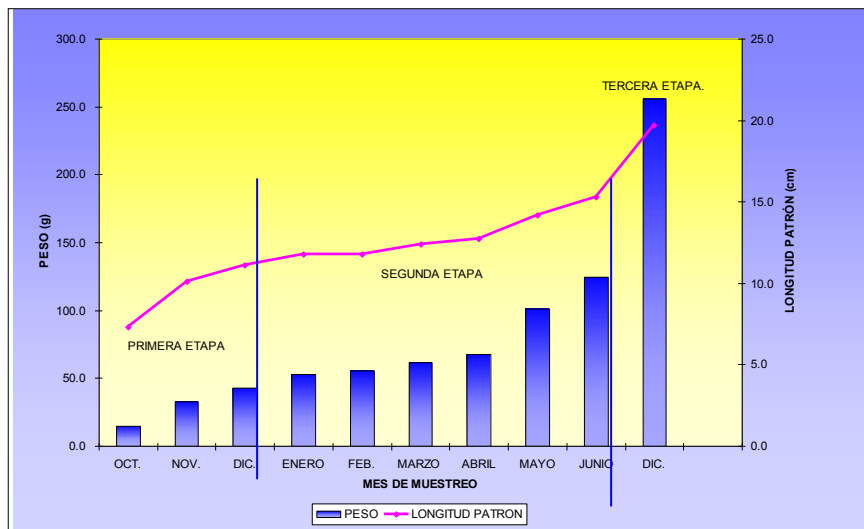


Figura 84. Variación del peso y longitud patrón Población total



La longitud patrón y el peso promedio alcanzados en la primera fase del estudio, antes de la redistribución dieron como resultado una tasa de crecimiento de 0.48 g/día (Cuadro 9), comparable a la obtenida en las diferentes densidades para la segunda fase y menor a la registrada para la tercera fase en donde se alcanzó la máxima tasa de crecimiento de 0.72 g/día.

En la segunda fase las tasas de crecimiento se mantuvieron en un intervalo entre 0.37 y 0.58 g/día observando las mismas similitudes encontradas para peso y longitud según las densidades.

Cuadro 11. Tasas de Crecimiento y Porcentaje ganado en peso en las diferentes etapas

FASES DEL ESTUDIO	SERIE	JAULA	DENSIDAD	ORGANISMOS /m ³	% EN PESO GANADO	TASA DE CRECIMIENTO g/día Promedio	TASA DE CRECIMIENTO RELATIVO %
					Total		
1	Población Total				189.70	0.48	1.83
2	1	1	1	80	166.49	0.38	0.52
2	1	2	2	60	204.93	0.47	0.60
2	1	3	3	40	202.34	0.46	0.59
2	1	4	4	20	253.52	0.58	0.68
2	2	5	1	80	161.74	0.37	0.52
2	2	6	3	44	207.74	0.48	0.60
2	2	7	4	20	224.74	0.51	0.63
3				20	98.30	0.72	0.39
1 a la 3	Población Total				1640.00	0.57	0.68

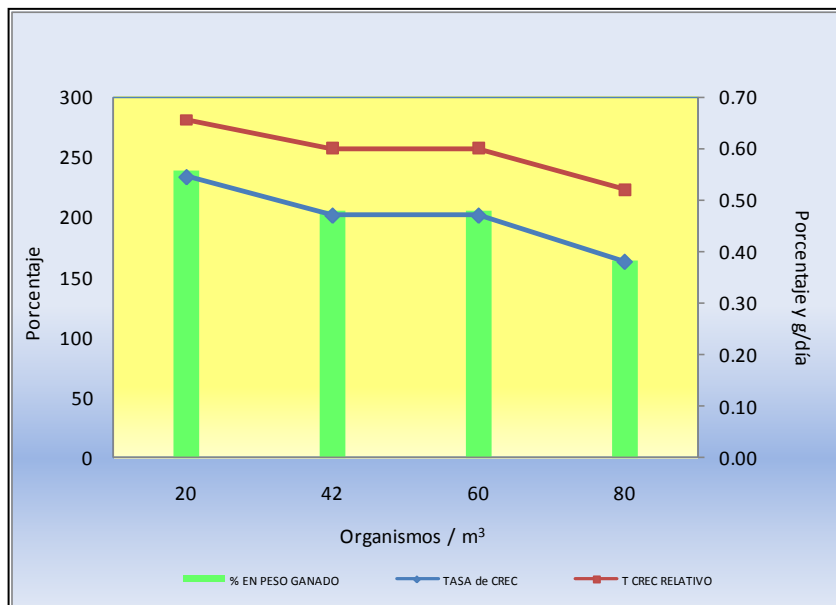


Figura 85. Variación de las tasas de crecimiento y porcentaje en peso



Los valores promedio de tasas de crecimiento y porcentaje en peso ganado mostraron un decremento, conforme la densidad de organismos por jaula aumenta (Figura 85), sin embargo cuando se realizó un ANDEVA, para corroborar esto, se encontró con 95% de confianza que no eran significativas las diferencias encontradas en las tasas de crecimiento en función de la densidad (Figura 86).

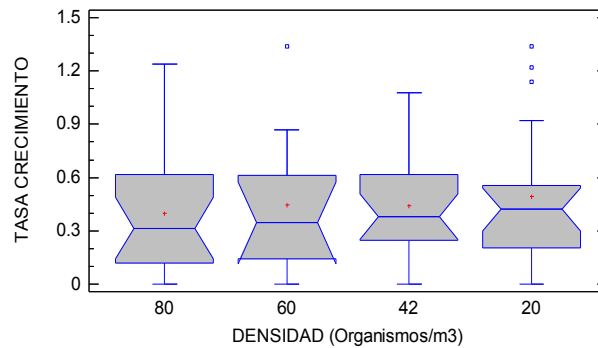


Figura 86. Diagramas de caja para la tasa de crecimiento en función de la densidad

En la figura 87 se observa la variación en las tasas de crecimiento para cada una de las jaulas, en donde el patrón de comportamiento es aparentemente similar, la tasa de crecimiento disminuye de noviembre a abril, sin embargo para mayo se rompe esa tendencia, con una alza muy importante en mayo y descenso moderado hacia junio y diciembre, este último correspondiente a la tercera etapa.

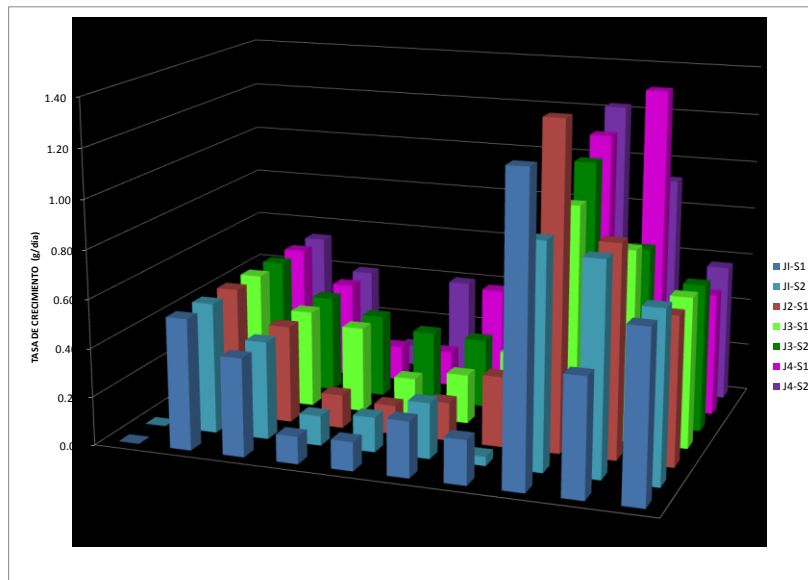


Figura 87. Tasa de crecimiento por jaula para las tres etapas del cultivo.



Para comprobar si los cambios mensuales en las tasas de crecimiento eran relevantes, se decidió compararlas estadísticamente utilizando los valores promedio por mes para cada jaula, en este caso se cumplió con los supuestos de normalidad y homocedasticidad, por lo que se aplicó un ANDEVA

Cuadro 12. ANDEVA para las tasas de Crecimiento por mes

Fuente	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	7.509	9	0.8343	56.34	0.0001
Intra grupos	0.8885	60	0.01481		
Total (Corr.)	8.397	69			

La razón-F, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos, el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, por lo tanto sí existe una diferencia estadísticamente significativa entre al menos un par de las medias correspondientes a los 10 meses con un nivel del 95.0% de confianza.

El diagrama de cajas (Figura 88) y la prueba de múltiples rangos (95% de confianza), nos indicaron que durante enero, febrero, marzo y abril, el metabolismo de los peces disminuyó y las tasas de crecimiento se mantuvieron de manera homogénea, mientras que en los demás meses el crecimiento fue variable con mayor tendencia al incremento.

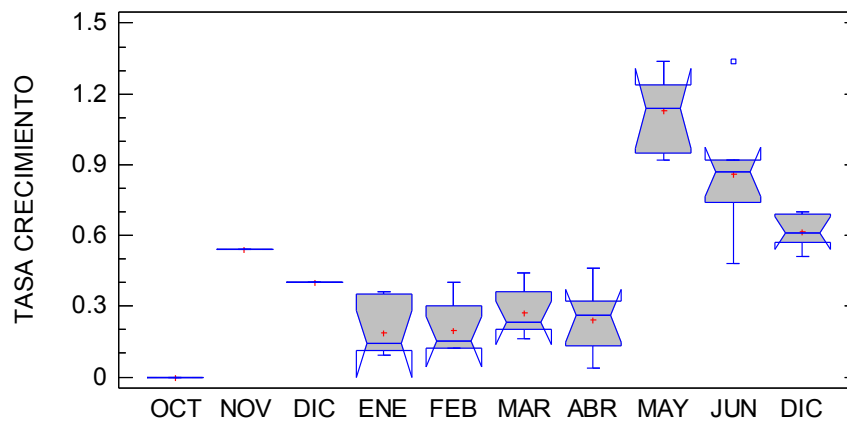


Figura 88. Diagrama de cajas –Variación mensual de la tasa de crecimiento para las tres etapas del cultivo.



De acuerdo a la figura 87, se identificaron puntos dónde las tasas de crecimiento se comportaban de forma diferente en algunas jaulas, por lo que se realizó un análisis estadístico para comparar el desarrollo de las tasas de crecimiento entre las diferentes jaulas y por lo tanto densidades.

Cuadro 13. ANDEVA para las Tasas de crecimiento por jaula

Fuente	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.1022	6	0.01704	0.13	0.9922
Intra grupos	8.295	63	0.1317		
Total (Corr.)	8.397	69			

El valor-*P* de la razón-*F* es mayor que 0.05, por lo tanto no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 7 jaulas con un nivel del 95.0% de confianza. Al obtener este resultado era lógico pensar que por lo tanto no habría diferencias entre las tasas de crecimiento según las densidades, por lo tanto se realizó el ANDEVA correspondiente y esto se corroboró con un valor de *P* de la razón *F* = 0.8601 y 95% de confianza.

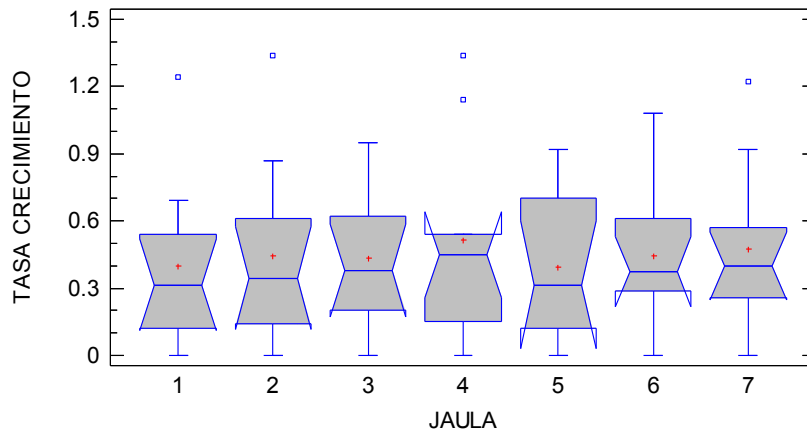


Figura 89. Diagrama de cajas –Variación mensual de la tasa de crecimiento para las tres etapas del cultivo.

La tasa de crecimiento específico o relativo (Figura 90), presenta la misma tendencia que la tasa de crecimiento simple, pero muestra los cambios más enfáticamente, identificando los meses donde se desarrolló mayor crecimiento como noviembre y mayo

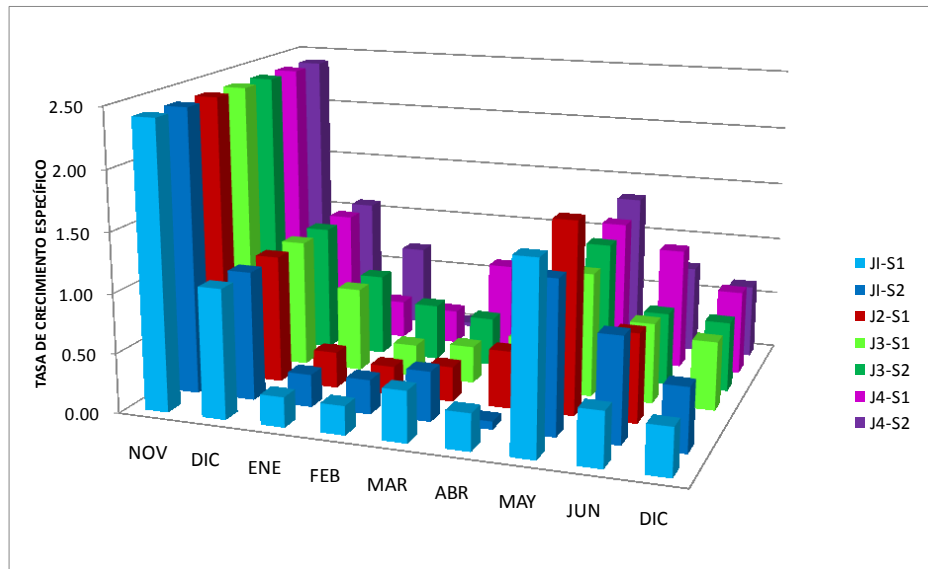


Figura 90. Tasa de crecimiento relativo por jaula para las tres etapas del cultivo.

La figura 91 muestra el promedio del porcentaje en peso que se ganó mensualmente en cada jaula. Es claro cómo este porcentaje fue muy elevado en el primer mes de cultivo en la primera etapa y en la tercera etapa, pero este último fue el adquirido en los últimos seis meses con una tasa de crecimiento muy estable mes a mes.

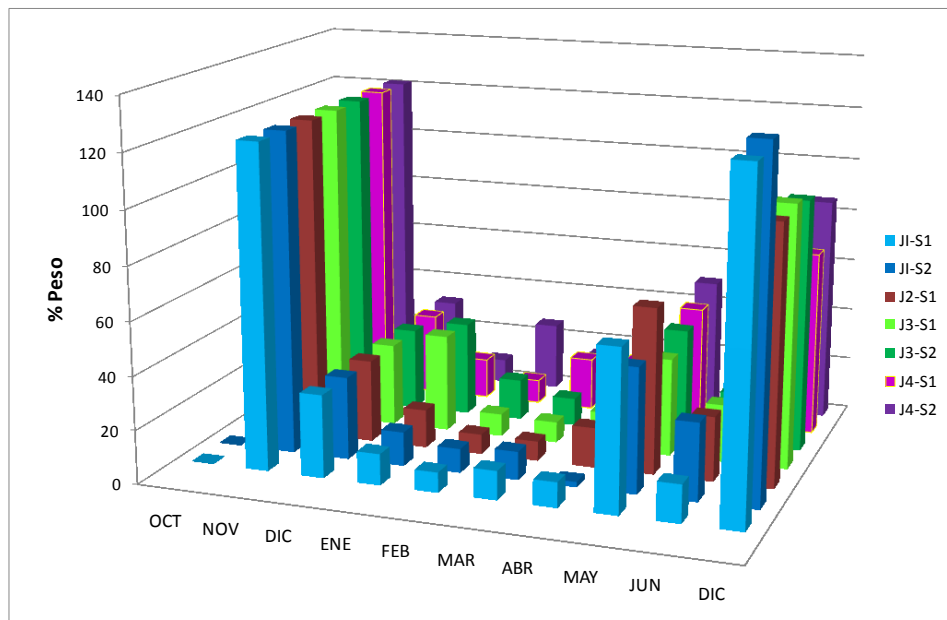


Figura 91. Porcentaje de peso ganado mensualmente por jaula para las tres etapas del cultivo.



Teniendo en cuenta el número de organismos y el volumen de agua por jaula, se hizo el cálculo de la producción de biomasa íctica al año. Los resultados en las jaulas que tienen la misma densidad son muy similares y se observa con más claridad la diferencia entre la producción para cada densidad.

Cuadro 14. Biomasa por Jaula y densidad

PRODUCCIÓN DE BIOMASA						
SERIE	JAULA	DENSIDAD	Organismos/ jaula	Volumen (m ³)	Organismos/ m ³	Kg/ m ³ /año
1	1	1	40	0.5	80	26
1	2	2	30	0.5	60	22
1	3	3	20	0.5	40	15
1	4	4	10	0.5	20	9
2	5	1	40	0.5	80	26
2	6	3	22	0.5	44	17
2	7	4	10	0.5	20	8
PROMEDIO				0.5	49	17.6

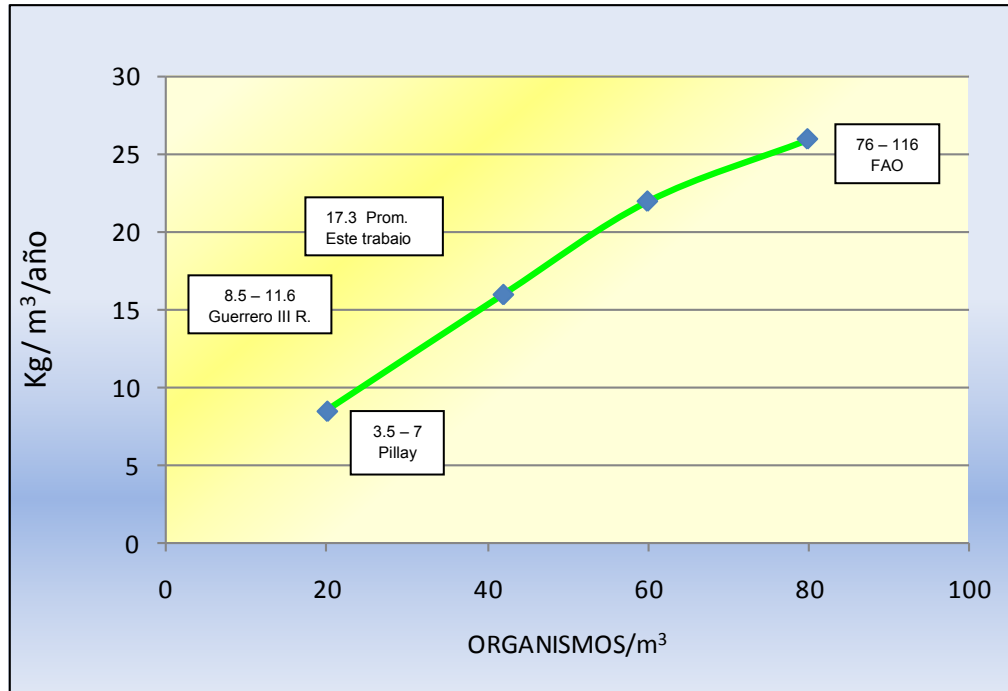


Figura 92. Producción de biomasa promedio en función de la densidad

FACTOR DE CONDICIÓN MÚLTIPLE

El factor de condición múltiple o estimación de la robustez del organismos cambia en función de la edad, estado de madurez, tasa de alimentación, periodos estacionales; así como modificaciones genotípicas que pueden sufrir los peces en condiciones no controladas, dando lugar a organismos largos, altos, flacos, gordos, etc.

La estimación de este factor evalúa los cambios en longitud, altura y peso que sufre el organismo a través de una regresión múltiple (Tabla 26). Es necesario aclarar que es un indicador, diferente para cada especie y condiciones, por lo cual solo es indicativo de la robustez en cada caso.

En la figura 93, se mostró la relación que se presentó entre el peso, la longitud patrón y la altura, considerando a la población total de peces durante los meses de crecimiento.

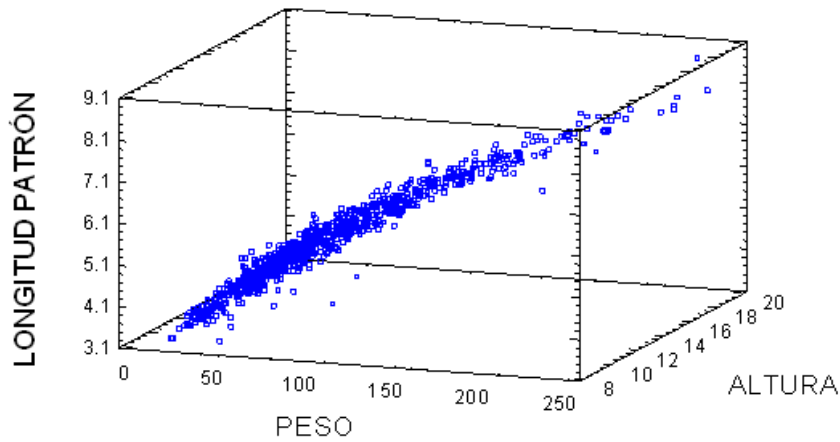


Figura 93. Relación peso-longitud patrón- altura

Se calculó el factor de condición múltiple de acuerdo al método de Medina (1980), utilizando los datos para el total de organismos medidos durante los diferentes meses de muestreo. Se obtuvieron, obteniendo las constantes que definieron la ecuación.

Al calcular los logaritmos naturales para el peso, longitud patrón y altura, se obtuvo la ecuación:

$$\ln \text{ PESO} = -2.325 + 1.799 \cdot \ln \text{ LP} + 1.2 \cdot \ln \text{ ALT} \quad r^2 = 95.4 \%$$

Esta ecuación se transforma en:

$$P = a L^b \cdot A^c \quad \longrightarrow \quad P = 0.097783 L^{1.799} \cdot A^{1.2}$$

Dando lugar a:

$$\text{KM} = \text{Peso} / L^{1.799} \cdot A^{1.2}$$

Cuadro 15. .Factor de condición múltiple por jaula

JAULA	n	Densidad Organismos/ m ³	KM Promedio	KM Mínimo	KM Máximo	Desviación Estándar	Coficiente de Variación
1	225	80	0.09996	0.07	0.19	0.01259	12.59%
2	159	60	0.09836	0.08	0.18	0.01206	12.26%
3	109	40	0.09587	0.08	0.13	0.008521	8.888%
4	60	20	0.09750	0.08	0.17	0.01373	14.08%
5	216	80	0.09894	0.07	0.14	0.01008	10.19%
6	126	44	0.09627	0.05	0.12	0.009776	10.16%
7	55	20	0.09982	0.08	0.13	0.01114	11.16%
Total	950	344	0.09834	0.05	0.19	0.01124	11.43%

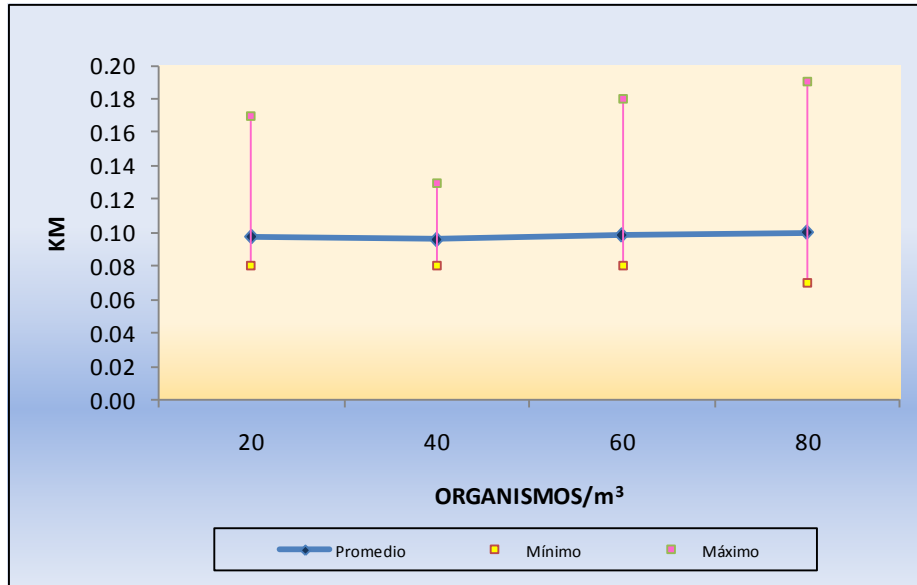


Figura 94. Factor de condición múltiple (KM) en función de la densidad

Posteriormente a la obtención de los factores de condición se procedió a realizar una comparación de los valores obtenidos mensualmente en cada jaula. A partir de esto se encontró que las jaulas de la misma densidad presentaban tendencias similares y se decidió realizar la comparación con base en la densidad, efectuando la comparación para cada mes de enero a junio. Estos análisis nos mostraron que el único mes en que se detectaron diferencias significativas entre las densidades fue mayo, por lo que se decidió incluir aquí la comparación global entre las densidades. Los valores de KM no presentaron distribución normal, aunque si homocedasticidad, por lo tanto se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis que indicó una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas ($P= 0.002656$).

La prueba de medianas de Mood para evaluar las 4 densidades indicó que las medianas de las muestras son significativamente diferentes (mediana global = 9.76, valor- $P= 0.01545$ para la prueba de chi-cuadrada)

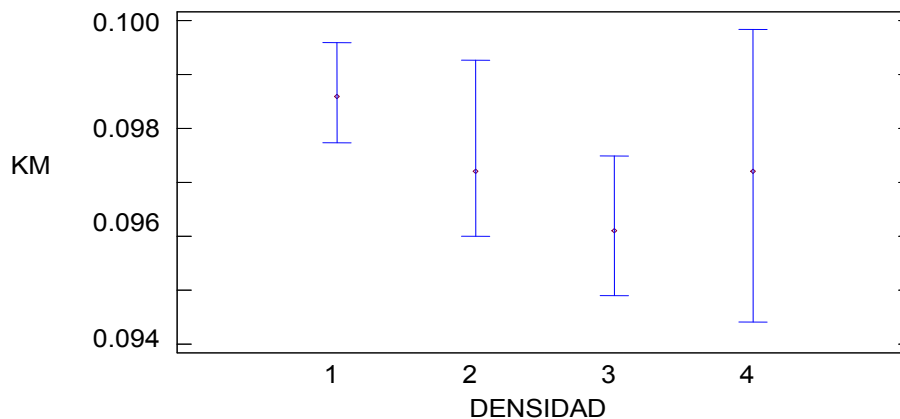


Figura 95. Gráfico de medianas con 95% de confianza

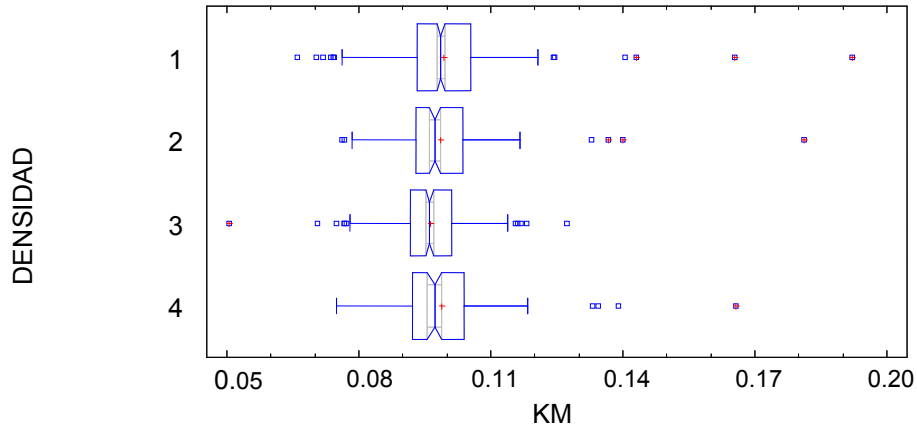


Figura 96. Comparación de KM en función de la densidad

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Un estudio que contempla cultivos en sistemas de tratamiento o con alimentación de aguas de desecho requiere de manera indispensable de un análisis microbiológico. El análisis realizado en este estudio contempló únicamente la determinación de coliformes totales y fecales.

Cuadro 16. Densidad bacteriana para cada órgano
Técnica NMP

DENSIDAD BACTERIANA NMP (NÚMERO MAS PROBABLE)		
	COLIFORMES TOTALES	COLIFORMES FECALES
	INDICE NMP/100	INDICE NMP/100
MÚSCULO	20	20
PIEL	300	110
HÍGADO	80	40
TRACTO DIGESTIVO	16,000	3,500



**Cuadro 17. Densidad bacteriana para cada órgano
Conteo en placa**

DENSIDAD BACTERIANA OBTENIDA POR CONTEO EN PLACA		
	COLIFORMES TOTALES	COLIFORMES FECALES
AGUA	30.0 x 10 ⁶ col/ml	0.3 x 10 ⁶ col/ml
MÚSCULO	1.22 x 10 ⁶ col/g	N.D.
PIEL	2.0 x 10 ⁶ col/g	1.0 x 10 ⁶ col/g
HÍGADO	10.0 x 10 ⁶ col/g	5.0 x 10 ⁶ col/g
TRACTO DIGESTIVO	12.0 x 10 ⁶ col/g	2.0 x 10 ⁶ col/g
N.D. No fue detectado mediante las pruebas realizadas.		

Los resultados del cuadro 16 indican que el tracto digestivo está altamente contaminado, no así el músculo que presenta el índice más bajo y que de acuerdo a los resultados de este trabajo cumple con los criterios ecológicos de Calidad del Agua establecidos en el acuerdo CE-CCA-001/89 por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología en su artículo XVIII con respecto a coliformes totales, especificando que los organismos no deben exceder de 200 como número más probable en 100 mililitros (NMP/100 ml) en agua dulce o marina, y no más del 10% de las muestras mensuales deberá exceder de 400 NMP/100 ml; sin embargo, los coliformes fecales no deben estar presentes.

El análisis por conteo en placa nos da a conocer las concentraciones de las bacterias por gramo en peso seco de cada uno de los órganos. En este caso se observa nuevamente que la piel, contrario a lo esperado por su contacto permanente con el agua, presentó concentraciones bajas y el músculo o carne del pescado, contenía coliformes totales en menor cantidad que los otros órganos y no indicó presencia de coliformes fecales.

ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Las condiciones físicas y químicas en el embalse sufrieron cambios continuos, tanto por la heterogeneidad en las descargas de la planta, como por las reacciones que se presentaron en el embalse, y estas variaciones tuvieron diferentes efectos en el ecosistema, como el incremento en la productividad o el crecimiento de los peces. Para definir cuáles de los parámetros incidieron con mayor impacto en el desarrollo de los peces y en el ecosistema se realizó un análisis de componentes principales en donde se tomaron en cuenta las siguientes variables: Temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH, nitratos, nitritos, amonio, fosfatos, carbono total disuelto, carbono



orgánico particulado, transparencia, sólidos suspendidos, clorofila a, alcalinidad. Para el cultivo de *Oreochromis niloticus* se evaluó peso, tasa de crecimiento y porcentaje ganado en peso. Se extrajeron 5 componentes que explican la variabilidad del sistema en un 90.19%, de acuerdo al siguiente cuadro.

Cuadro 18. Componentes principales

Componente Número	Eigenvalor	Porcentaje de Varianza	Porcentaje Acumulado
1	6.509	40.682	40.682
2	2.525	15.784	56.467
3	2.459	15.371	71.837
4	1.745	10.906	82.744
5	1.191	7.444	90.188
6	0.6224	3.890	94.077
7	0.4697	2.936	97.013
8	0.3534	2.209	99.222
9	0.06051	0.378	99.600
10	0.03798	0.237	99.837
11	0.01528	0.095	99.933
12	0.007862	0.049	99.982
13	0.002871	0.018	100.000

Los primeros cinco componentes integran más del 90% de la variación en las diferentes variables y se les asigna un valor ponderal, en función de su impacto o influencia en el sistema. En el siguiente cuadro se resaltan las que presentan mayor peso positivo o negativo, en función del contraste que presenta cada uno de los componentes.

De las tres variables de importancia para evaluar el crecimiento de los peces en el sistema experimental (peso, %GP y tasa de crecimiento), el primero parece estar correlacionado principalmente con la temperatura. El segundo con el carbono en sus diferentes formas y con la clorofila. El último no parece estar asociado con ningún otro parámetro evaluado.

El primer componente está asociado con variables de importancia para nuestro estudio particularmente el peso de los organismos y la temperatura del agua. Sin embargo, la tasa de crecimiento, el carbono orgánico particulado, los nitratos, los nitritos, el oxígeno disuelto y el pH, se muestran como variables asociadas que también tienen gran impacto. Las que contrastan con esto son la alcalinidad y el amonio; el segundo componente está enfocado al comportamiento reductor del sistema destacando a los fosfatos y el amonio, que se presentaron en contraste con los sólidos suspendidos, el carbono total disuelto, los nitratos, el pH y el oxígeno disuelto que representarían al sistema en condiciones oxidantes (Figura 97)



Cuadro 19. Variables con mayor peso en cada uno de los componentes.

	Componente				
	1	2	3	4	5
T agua	0.3422	0.1267	0.09172	-0.06881	0.2996
O_D_	0.2475	-0.2582	-0.159	-0.356	-0.1027
pH	0.244	-0.2687	-0.3149	-0.09576	0.3051
Amonio	-0.2693	0.374	-0.09838	-0.03708	-0.2438
Nitritos	0.2522	0.02747	-0.3347	-0.1009	0.3522
Nitratos	0.2652	-0.3174	-0.03852	-0.1758	-0.3331
Fosfatos	0.1461	0.5265	-0.1231	-0.2299	-0.01026
ALC	-0.2777	0.1953	-0.3331	-0.1847	0.1137
C_Org Part	0.2893	0.04814	0.02414	0.3454	-0.3272
S_susp	-0.2224	-0.3558	-0.2849	0.2229	-0.08926
C_Tot_dis	-0.1667	-0.2598	0.3428	0.2572	0.4021
Transparencia	-0.2118	0.02838	0.3626	-0.4061	0.2692
Clorofila "a"	-0.04465	0.1546	-0.4539	0.4326	0.2194
PESO	0.3584	0.1276	0.141	0.03147	-0.1792
%GP	0.2075	0.1945	0.2336	0.3716	0.09278
T Crec	0.2791	0.1142	0.08148	0.06043	0.2472

* Gris claro las correlaciones más negativas.

*Gris oscuro las correlaciones positivas más altas

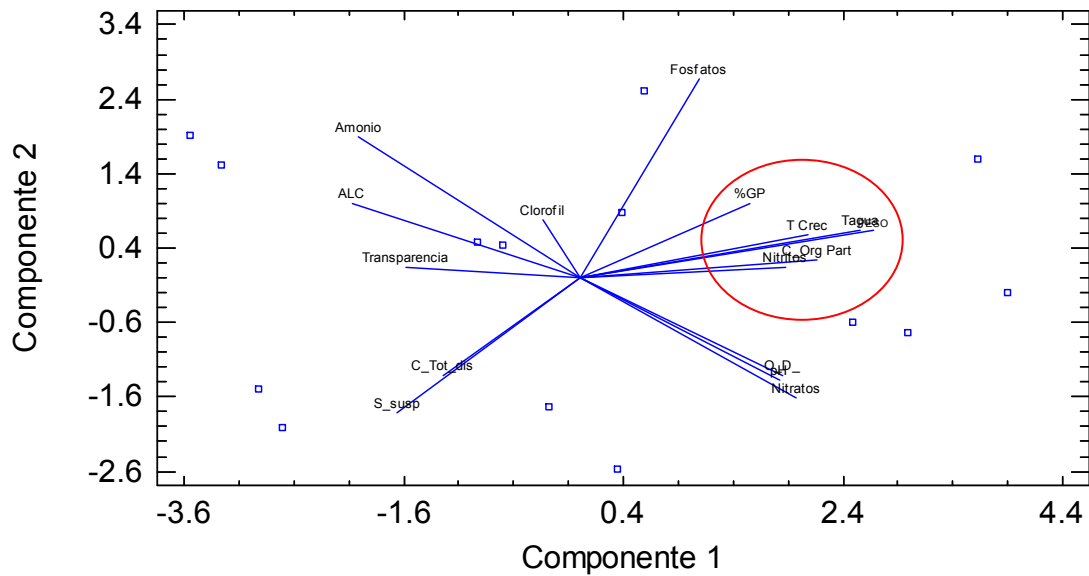


Figura 97. Variables del Componente 1 versus Componente 2



En la figura 98, se muestran las variables de los otros dos componentes, se resalta en el tercero la importancia de la transparencia y el carbono total disuelto, como condiciones de asimilación y alta solubilidad en el sistema en contraposición con la concentración de clorofila "a", los nitritos y el pH; en el cuarto componente se manifestó la importancia del carbono en el sistema a través de la productividad que representa la clorofila "a", el carbono orgánico particulado y el disuelto, que se colocan en el extremo opuesto a la transparencia y el oxígeno disuelto.

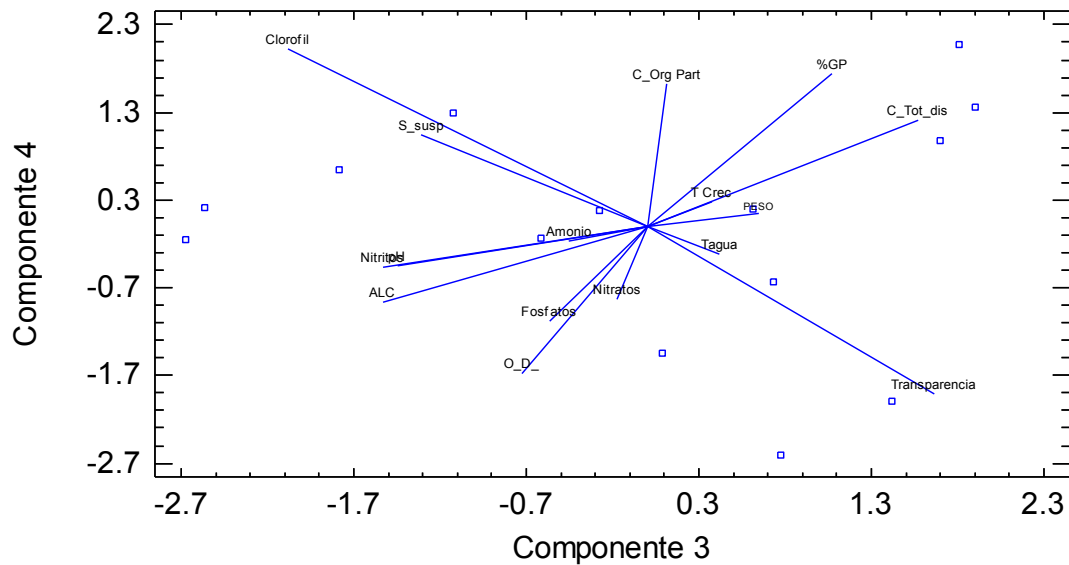


Figura 98. Variables del Componente 3 versus Componente 4

DISCUSIÓN

La morfometría y batimetría de cualquier cuerpo acuático que sea utilizado para acuicultura, es necesaria para caracterizar e interpretar adecuadamente su comportamiento físico, hidrológico y ecológico. Estos componentes definen de manera conjunta la productividad en el sistema. La poza de oxidación es un sistema artificial creado para favorecer la oxidación y estabilización en el tratamiento secundario para aguas de desecho domésticas, sus cambios morfométricos métricos y batimétricos fueron mínimos, ya que el nivel es continuamente regulado y mantenido por los efluentes provenientes de la fase anterior del tratamiento.

Si bien este tipo de lagunas fueron creadas con fines específicos de lograr la mayor tasa de mineralización, disminución de la carga orgánica y bacteriana, al tratarse de sistemas abiertos con un intercambio activo, sufren variaciones inesperadas como resultado de la influencia multifactorial que se presenta. Si además de eso las utilizamos como espacio para cultivo, la interacción biótica y abiótica da lugar a comportamientos que deben entenderse y explicarse con detalle.

Los resultados mostrados en los gráficos radiales para los parámetros físicos y químicos (Figura 15) y los análisis estadísticos paramétricos y no paramétricos aplicados a cada uno de ellos, nos dicen que el comportamiento en la columna de agua fue homogéneo, sin existir estratificación entre el comportamiento temporal para la superficie y el fondo en los diferentes parámetros. El único que presentó diferencias significativas entre los dos niveles fue el oxígeno disuelto, con concentraciones mayores siempre en superficie como consecuencia de la acción del viento, el intercambio gaseoso en la interfase agua-aire y la actividad fotosintética. A su vez esto nos habla de una laguna de estabilización con un manejo adecuado de su funcionamiento, en donde el proceso de mezcla es adecuado en función de los parámetros morfométricos y batimétricos del diseño (Rojas, 1999).

Las variaciones de la profundidad relativa son menores al 2%, lo que nos indica de acuerdo a Wetzel (1981), estabilidad en la columna de agua.



PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS

TEMPERATURA

Este, es uno de los factores con mayor influencia en el desarrollo de los organismos acuáticos, tanto en condiciones naturales como dentro de sistemas acuaculturales. Normalmente la temperatura del agua se encuentra directamente relacionada con la atmosférica y es consecuencia de varios factores tales como la incidencia de radiación solar, el ángulo de la misma, su absorción por el agua, la transferencia de calor entre el aire y el agua, y los sedimentos que absorben cantidades significativas de energía solar y que transmiten al agua, además de la temperatura de los afluentes provenientes de la poza previa y la planta de tratamiento; características que definen en conjunto, el calentamiento del embalse.

Su comportamiento en los sistemas acuáticos es determinante para su densidad, movimiento, la solubilidad de los gases, los procesos anabólicos y catabólicos, la productividad primaria, las especies planctónicas predominantes, la supervivencia y la tasa de crecimiento piscícola.

La relación temperatura superficie-ambiente manifiesta el intercambio de calor entre ambas, y se refleja a través de la columna de agua, dando lugar a efectos directos e indirectos en la productividad del ecosistema, lo que corrobora Díaz-Pardo *et al.*, (1986) al mencionar que la temperatura de superficie y la del aire, determinan el comportamiento en la columna de agua.

Se observó un comportamiento de mezcla continua en casi todos los meses y una incipiente tendencia a la estratificación en febrero y mayo sin llegar a ser significativa. Esto sitúa nuestro sistema como polimíctico cálido continuo según la clasificación de Lewis (1983) para sistemas acuáticos someros, con presencia de discontinuidades térmicas y homogeneización en la columna de agua

La temperatura superficial promedio fue superior a la ambiente (figura 18), esto demuestra la capacidad de retención de calor del sistema, en función de las condiciones del entorno, confirmando que la variabilidad climática modifica al ecosistema y su interacción con la atmósfera (Cushing, 1982). La temperatura de superficie aunque no fue significativamente diferente a la de un metro de profundidad, siempre fue superior, debido a las entradas y salidas de calor en el embalse como un fenómeno superficial, donde la entrada de energía representada por la insolación disminuye gradualmente conforme aumenta la profundidad. Sin embargo, en este tipo de sistemas el comportamiento se rige además por la cantidad de materia suspendida, los procesos químicos, el metabolismo de los organismos presentes y el aporte de calor por los sedimentos acumulados en el fondo.



El comportamiento nictemeral muestra una tendencia de campana en cada uno de los muestreos, las temperaturas más bajas se registraron siempre entre las 24 y las 6 h como consecuencia de la ausencia de radiación solar desde horas previas que propician la pérdida de energía calorífica hacia la atmósfera y la evaporación en el sistema; aumentando de manera progresiva a partir de enero. Las variaciones diurnas confirman lo expresado por Schindler (1991) sobre los sistemas polimícticos en los trópicos, que presentan fluctuaciones diurnas muy amplias que favorecen la mezcla total en la columna de agua.

Los cambios de temperatura que se registraron durante el día en febrero, abril y junio, modifican los requerimientos de oxígeno disuelto de los peces y afectan su tasa de crecimiento, las diferencias encontradas en febrero y abril podrían afectar la supervivencia de los organismos, de acuerdo a Arredondo y Ponce (1998) que mencionan que un incremento de temperatura de 20 a 30 °C, puede duplicar o triplicar el consumo de oxígeno por los peces.

Los organismos situados en el nivel superficial del sistema deben estar bien adaptados al mismo, ya que durante el día pueden ser sometidos a cambios bruscos de temperatura, modificando la actividad metabólica, generando hiperactividad cuando se eleva y pasividad con reducción en la alimentación, tasa de crecimiento e inmunidad, provocando la susceptibilidad de los organismos y hasta su muerte (Alamoudi, 1996)

TRANSPARENCIA

Este parámetro permite cuantificar la incidencia de luz solar en el sistema, varía en función de las condiciones meteorológicas durante el día y de la cantidad de materia en suspensión.

El material suspendido en los dos niveles se encontró en proporciones similares, lo que indica su presencia en toda la columna de agua y no solamente en la superficie. Esto implica que la materia en suspensión no determinó la transparencia del sistema en todo el tiempo de estudio, lo que se comprobó a través de la regresión simple entre ambos parámetros. Por lo tanto fueron factores como la nubosidad, el viento y el tipo de material en suspensión que confluyeron para dar turbidez a la zona superficial.

Este parámetro es comúnmente utilizado para realizar una medición rápida de la actividad fotosintética, sin embargo, su confiabilidad no es muy alta, ya que la presencia de material particulado que no corresponde a organismos fitoplanctónicos puede ser elevada en lagunas de oxidación. Los valores registrados son comparables con los reportados por Burns (1979) en embalses fertilizados con desechos avícolas.



Este embalse se caracteriza por presencia de gran cantidad de sales, por lo que el material suspendido se asocia con partículas coloidales y cristales de calcita, que se incrementan desde el invierno y hasta el verano, estos suspendidos son abundantes y conspicuos y durante este periodo las condiciones de sobresaturación se exceden a menudo ya que el incremento de temperatura, la utilización de CO₂ por la actividad fotosintética y la producción de iones hidroxilo dan como resultado la precipitación de partículas de 1 a 20 μm. Este proceso podría incrementar marcadamente la turbidez con un incremento en la absorción de luz particularmente en el espectro de absorción azul-verde.

La transparencia no fue un factor determinante para el comportamiento térmico del sistema; ya que la correlación entre ambos parámetros no fue significativa; sin embargo cualquier factor que la altera o modifica la penetración solar afecta la estructura térmica del sistema.

OXIGENO DISUELTO

El oxígeno disuelto es uno de los elementos críticos en cualquier sistema acuícola; se mantiene en constante cambio en función de cambios físicos como la temperatura y la salinidad, de factores biológicos como la fotosíntesis y respiración y de procesos químicos de óxido-reducción; su carencia provoca la disminución en el metabolismo biótico o la muerte de los organismos presentes, la ausencia de procesos oxidativos de descomposición-mineralización y la anoxia total de cuerpo acuático.

Esta es una de las variables no conservativas, que requiere de concentraciones adecuadas para la sobrevivencia y crecimiento de la especie íctica. La poza experimental tiene una gran carga de material orgánico, una dinámica hidráulica alta y temperaturas que limitan la solubilidad del oxígeno.

Existió diferencia significativa entre las concentraciones de oxígeno en los niveles superficial y de fondo a pesar de tratarse de un embalse poco profundo, con mezcla continua. Sin embargo, en ambos se mantuvo la misma tendencia. En los meses más fríos diciembre, enero y febrero, en los que se esperaba que la solubilidad del oxígeno se incrementara, debido a las bajas temperaturas los resultados fueron inesperados, en enero la concentración de oxígeno aumentó al manifestarse la temperatura más baja y se incrementó en mayor proporción para febrero cuando la temperatura subió, como consecuencia del florecimiento fitoplanctónico que se registró en ese mes.

El sistema mostró un comportamiento típico de un embalse eutrófico, con mayor concentración de oxígeno superficial generado la producción primaria y la acción del viento en la zona trofógena y valores menores como consecuencia de factores como la respiración y la descomposición orgánica en la zona trofólita

En la capa superficial (Figura 26) se registraron valores de sobresaturación de oxígeno siempre alrededor de las cuatro de la tarde y los niveles mínimos durante la mañana entre las seis y las diez, como resultado de la alta productividad primaria que registra entre las 12 y 16 h (Figura 67).



En diciembre y abril las concentraciones de oxígeno disuelto a un metro de profundidad fueron muy bajas por periodos de tiempo prolongados, acercándose a la anaerobiosis por efecto de respiración en el sistema acuático, logrando incrementarse hasta las 16 h, los valores registrados afectan la movilidad y el consumo de alimento de los peces, los hace más vulnerables a los patógenos.

En diciembre abril y junio las concentraciones durante la mañana fueron menores a 2 mg L^{-1} , lo que represento condiciones adversas para el desarrollo de los peces. Ya que la Tilapia es capaz de sobrevivir a niveles hasta de 1 mg L^{-1} de oxígeno disuelto, bajo condiciones de estrés (Poot-Delgado *et al.*, 2009).

Los niveles mínimos de oxígeno disuelto para mantener un crecimiento normal y baja mortandad, se deben mantener en un nivel superior a los 3.0 mg/L , valores menores reducen el crecimiento e incrementan la mortandad. En abril las concentraciones antes de las 4 de la tarde fueron menores a 1 mg L^{-1} afectando la tasa de crecimiento y el porcentaje de mortalidad de los peces en 4 de las 7 jaulas (Cuadro 7, Figura 87).

La variación diaria del oxígeno disuelto es indicativo que la producción de plancton fue baja para diciembre y enero, mientras que en los meses de febrero y marzo fue muy elevada y moderada de abril a junio, con florecimientos y sucesiones de géneros (Figuras 70 y 71), como consecuencia de la variación térmica y la concentración de oxígeno. Esto nos muestra que el calentamiento matutino da origen a discontinuidad térmica que evita durante esas horas la mezcla y la adecuada oxigenación, mientras que la disminución de temperatura nocturna e invernal favorecen la mezcla y oxigenación hacia el fondo (Boyd y Lichtkoppler, 1979). La buena oxigenación que se presenta durante el periodo vespertino favorece la degradación de la materia orgánica en el fondo del embalse, la sobrevivencia y alimentación de los peces.

pH

El potencial de hidrógeno indica los niveles de acidez o basicidad en función de la concentración de iones $[\text{H}^+]$, las aguas naturales presentan valores entre 4 y 12. Dentro de los factores importantes por considerar en el análisis del pH están el tipo de suelo, el aporte de iones directamente de la planta, las reacciones de oxidación o reducción y los procesos fotosintéticos y respiratorios del sistema generando condiciones aeróbicas o anaeróbicas.

Los dos niveles presentaron pequeñas diferencias en los valores de pH, sin embargo no fueron significativas considerándose homogeneidad en la columna de agua. Los valores promedio superiores a 8 nos dicen la tendencia a la basicidad en función de las bajas concentraciones de CO_2 , y las elevadas tasas de productividad primaria.

Los valores extremos que fluctuaron entre 9.86 y 6.46, afectan las condiciones de los organismos reduciendo su actividad natatoria, favoreciendo la acumulación de amoníaco, el balance de CO_2 en las agallas y la toxicidad de algunos compuestos contaminantes.

De acuerdo a estos valores encontramos una proporción de:



0.450 de CO₂ libre, 0.527 HCO₃⁻, 2.64 x 10⁻⁵ CO₃²⁻ a un pH de 6.5
0.00256 de CO₂ libre, 0.799 HCO₃⁻, 0.22 CO₃²⁻ a un pH de 9.85
(Hutchinson, 1957)

Según Swingle (1961) el pH óptimo para un buen crecimiento acuícola se presenta entre 6.5 y 9, por encima o por debajo de estos límites existen problemas reproductivos y valores inferiores a un pH de 4, se presentan condiciones de muerte ácida, y con valores superiores a un pH de 11 muerte alcalina (Arredondo y Ponce, 1998). El sistema no presentó valores extremos, por lo que la sobrevivencia de los peces no se vio afectada.

El incremento de pH se presenta entre 12 y 20 horas y rebasa en muchas ocasiones un pH de 9, provocado por el incremento de la actividad fotosintética con consumo de CO₂ y de HCO₃⁻, los valores entre 9 y 10 por periodos cortos de tiempo no causan daños adversos a los peces (Boyd, 1982), además de considerarse que los valores de pH matutinos se consideran óptimos para la producción de peces.

En las variaciones nictemerales de este parámetro, encontramos que valores menores a un pH de 8, se registraron entre las 24 y las 6 h, como consecuencia principalmente de la actividad respiratoria de la flora y la fauna, los procesos de descomposición de materia orgánica, la nitrificación de amonio, la oxidación del sulfuro y en consecuencia la elevación nocturna en la concentración de bióxido de carbono y la disminución del oxígeno disuelto.

La variación del pH durante el día en una unidad a temperaturas de 28°C, puede incrementar la concentración de amonio no ionizado y alcanzar niveles de toxicidad para los peces.

ALCALINIDAD

La Alcalinidad históricamente se ha referido a la capacidad de amortiguamiento del sistema y definida por la clase y cantidad de compuestos que en conjunto modifican el pH de la neutralidad hacia la escala alcalina, actualmente también se entiende como la capacidad para neutralizar ácidos.

La alcalinidad total es referida a la concentración total de las bases en el agua, siendo los bicarbonatos y carbonatos las más abundantes, pero también contribuyen en menor proporción los hidróxidos, el amonio, los fosfatos, los silicatos y algunos ácidos orgánicos.

El embalse presenta alcalinidad media (Nisbet y Verneaux, citado en Arrignon, 1970) con aguas muy productivas, ya que el contenido de carbono inorgánico favorece la producción fitoplanctónica y como consecuencia la alimentación piscícola. Las concentraciones de alcalinidad total fueron mayores a 20 mg L⁻¹ de CaCO₃, valor considerado el límite inferior para proteger la salud de los peces en cultivo, tanto para aguas frías, como templadas. Las aguas con contenidos superiores a 40 mg L⁻¹, se consideran con mayor productividad, no por su relación directa, sino porque favorece la disponibilidad de fósforo y otros nutrimentos (Arredondo y Ponce, 1988)



Mc Larney (1987) menciona que para la acuicultura un intervalo entre 30 y 225 ppm es satisfactorio. Con 30 ppm puede considerarse un agua pobremente amortiguada, pero con concentraciones superiores a 225 ppm la precipitación de carbonatos puede interferir con los procesos biológicos y mecánicos. Los criterios ecológicos de calidad del agua para el cultivo de Tilapia (CE-CCA-001/89), fueron rebasados de diciembre a mayo

De acuerdo a lo mencionado anteriormente se puede notar que la alcalinidad no representó un problema en el cultivo, aunque presentó concentraciones superiores a los 225 mg L⁻¹ de CaCO₃ durante el día. De diciembre a abril se mantuvieron las concentraciones más altas en el sistema y hubo reducción para mayo y junio, como consecuencia del periodo de lluvias que favorece la dilución en el sistema, y de la concentración en el afluente proveniente de la fase anterior del tratamiento de aguas.

La alcalinidad en un sistema de cultivo tiene efectos directos e indirectos en la salud de los organismos. En ausencia de factores contaminantes, una alta alcalinidad corresponde a alta concentración de carbono inorgánico que sirve como medida de la productividad biológica, el sistema se encuentra con buen nivel de amortiguamiento lo que favorece un rápido crecimiento algal y su reemplazo por el equilibrio con la atmósfera. La utilización del CO₂ por las plantas permite la liberación de oxígeno y el pH puede incrementarse en algunas horas; este cambio puede ser bien tolerado por los peces, favorece la productividad primaria y previenen la lixiviación de metales pesados, al presentarse un adecuado amortiguamiento.

NITROGENO INORGÁNICO

El ciclo del nitrógeno es regulado principalmente por la actividad biológica, el nitrógeno atmosférico es soluble en el agua y puede disolverse en concentraciones de 25 mg L⁻¹ a 25° C (Arredondo y Ponce, 1988), la presencia de bacterias y algas cianofitas favorece la incorporación de esta especie química al sistema acuático.

Las aguas tratadas presentan material disuelto y particulado de origen orgánico e inorgánico que sufre transformaciones en la columna de agua, algunas de estas partículas son mineralizadas rápidamente y otras son depositadas en los sedimentos que actúan como una trampa donde la tasa de transformación es más lenta, liberando posteriormente los nutrientes en la columna de agua con la ayuda del movimiento hídrico.

El amonio fue la especie química dominante en el sistema (figuras 48 y 49), durante diciembre y enero, a pesar de las bajas temperaturas, el proceso de acumulación de materia orgánica y su descomposición se incrementaron, con la elevación en la concentración de amonio (NH₃ y NH₄⁺), el cual sería asimilado por el fitoplancton.

De acuerdo a los valores registrados, las temperaturas y pH en cada caso se calcularon las concentraciones de amonio tóxico y se situaron entre 0.2 y 0.45 ppm (APHA *et al.* 1982). De acuerdo a Toledo (2005), estas deben fluctuar entre 0.01 y 0.1 ppm, con niveles de tolerancia para tilapia entre 0.6 y 2.0 ppm. Por lo tanto los niveles en el sistema no rebasaron los de tolerancia para la Tilapia. Sin embargo variaciones en la temperatura, oxígeno disuelto y pH, influyen en el



desplazamiento del equilibrio y los organismos ser afectados. Los daños podrían ser bloqueo del metabolismo, daño a las branquias, alteración del equilibrio salino, lesiones en órganos internos, incremento de la respiración celular, cambios histológicos en riñón, bazo o tiroides, inmunosupresión, susceptibilidad a enfermedades, reducción del crecimiento y la supervivencia, exoftalmia y ascitis (Boyd, 1990; Toledo, 2005). De acuerdo a lo observado en *Oreochromis niloticus*, las concentraciones pueden haber disminuido su metabolismo y la tasa de crecimiento, pero no se observó de forma evidente ninguno de los otros daños en la población.

Se observaron procesos de amonificación continua de diciembre a junio (Figuras 38 y 39) y de nitrificación de febrero a junio. En marzo hubo disminución en la densidad fitoplanctónica, y la materia orgánica se incorporó mayoritariamente a la columna de agua con una remineralización rápida y en mínima porción al sedimento. La redistribución de los nutrientes se favoreció con ayuda del viento sobre la columna de agua y mejor oxigenación en la interacción agua-sedimento

En sedimentos que presentan una capa mayor a 10 cm de profundidad, la materia orgánica y compuestos nitrogenados acumulados quedan aislados como efecto de la compactación y solo podrán ser liberados por la acción de organismos bentónicos (Martínez, 1998) ó mediante un proceso de desazolve, ya que la poza nunca sufre un desecamiento total.

La concentración del nitrógeno inorgánico es aprovechada por el fitoplancton para incrementar sus poblaciones rápidamente. De febrero a abril las concentraciones de NO_2^- superan los 0.5 mg L^{-1} y causan condiciones de estrés para los peces según lo mencionado por Toledo (2005); sin embargo en cuanto a las concentraciones que dan lugar a anemia funcional y desoxigenación de la sangre, de forma irreversible; algunos autores manejan que puede suceder a partir de 0.5 ppm y otros que en concentraciones superiores a 4.5 mg L^{-1} .

Los nitratos, producto final de la mineralización de los compuestos orgánicos nitrogenados, registraron fluctuaciones temporales importantes, con la misma tendencia en ambos niveles, como resultado de la dinámica del embalse. La tasa de nitrificación en la poza fue muy lenta a pesar de la buena oxigenación, lo cual probablemente fue favorecido por el pH con tendencias alcalinas y el suministro de amonio de manera permanente y en proporciones superiores a la capacidad de transformación en el sistema.

La dinámica del nitrógeno inorgánico durante el día, muestra el proceso oxidativo en el sistema, ya que las horas con máximas. En marzo y junio las fluctuaciones diurnas son intensas, reflejando, el aprovechamiento de los nitratos por el fitoplancton. Una gran cantidad de nitrógeno inorgánico se desnitrifica en el hipolimnion y la interfase agua sedimento y otra se pierde por la volatilización como amonio no ionizado a pH altos lo que se presenta sobre todo durante la tarde. El amonio es asimilado por el fitoplancton y el sedimento puede retirar hasta 98% del total de entradas nitrogenadas, esta última situación presente en ambientes naturales y cultivos, donde el sedimento de los estanque se ha convertido en el reservorio de residuos.

Las figuras 48 y 49 nos mostraron de forma clara el panorama del nitrógeno inorgánico en el sistema durante el periodo de estudio, la dominancia es del nitrógeno amoniacal, de forma completa, a excepción del inicio, las bajas temperaturas favorecen esa dominancia, que se



modifica muy lentamente a partir de febrero, donde la temperatura y la acción eólica permiten la nitrificación, con concentraciones muy bajas de nitratos y la presencia continua de nitritos durante esta etapa.

El aporte de nitrógeno inorgánico proveniente de la planta de tratamiento (Cuadro 4) estuvo conformado de mayor a menor concentración por Amonio, Nitritos y Nitratos y de acuerdo al análisis estadístico se puede afirmar que es el principal generador de los cambios en las concentraciones del embalse; sin dejar de lado la dinámica propia del sistema. Resaltando que dominan los procesos de amonificación de la materia orgánica y nitratación con una tasa baja de transformación a nitratos

Al comparar las concentraciones con las obtenidas para otros sistemas, se observó que las concentraciones de nitratos y nitritos son comparables con las registradas por Edwards (1984) en el efluentes del estanque con alta tasa de estabilización, pero la concentración de amonio es muy alta y se asemeja a la del embalse alimentado con aguas crudas; por otro lado los niveles de nitrógeno se pueden contrastar con los reportados para sistemas naturales en alto grado de eutrofización (Marín, 1999).

En condiciones naturales se infiere que la distribución de nitrato estuvo influenciada fuertemente por la actividad de las bacterias nitrificantes y desnitrificantes así como por la concentración de oxígeno disuelto. Muchas bacterias (anaerobias facultativas) en condiciones anaeróbicas utilizan el nitrato como aceptor de hidrógeno, reduciéndolo a nitrito (N-NO_2^-), luego a amonio (N-NH_4^+) y posteriormente a nitrógeno molecular (N_2), lo cual es probable cuando se ha presentado oxidación del sustrato en bajas concentraciones o ausencia de oxígeno. Es probable que este proceso favorezca el incremento de amonio y disminución de los nitratos.

Durante el proceso de amonificación se lleva a cabo la descomposición de la materia orgánica en sus diferentes formas. El amonio es resultado de la degradación tanto aeróbica como anaeróbica de la parte nitrogenada de la materia orgánica por organismos heterotróficos; el sedimento es el medio en el cual, se llevan a cabo estas reacciones.

En el medio acuático este proceso se realiza en mayor proporción cuando el pH es bajo, lo cual se corrobora en la correlación obtenida en el análisis de regresión múltiple para estos parámetros ($P=0.0032$ con 95% confianza) resultado de la descomposición de la materia orgánica y evidenciando por el aumento de la concentración de amonio. Y es por eso que aunado al afluente del tratamiento la cantidad de amonio que se registró proviene de la descomposición del nitrógeno orgánico, siendo el nitrógeno amoniacal el que contribuye en mayor proporción en el sistema.

ORTOFOSFATOS

El fósforo se ha considerado como uno de los nutrientes más importantes que interviene en todas las fases del metabolismo principalmente en la transformación energética y la fosforilación asociada al proceso fotosintético (Hutchinson, 1957 y Boyd, 1979), lo que trae como consecuencia la regulación de la productividad del sistema debido a que es indispensable para los procesos



energéticos celulares y generalmente es limitante de la productividad biológica) y el PO_4^{3-} inorgánico ionizado es la forma más relevante para la nutrición vegetal. (Wetzel, 2001).

Los ortofosfatos se consideran la forma reactiva y más importante porque puede asimilarse con un menor gasto energético, en este caso se observó que para esta especie química el aporte de la planta (Cuadro 4.) fue significativo en las concentraciones del embalse, siendo estas siempre menores, lo cual se explica en parte por el efecto de dilución y la asimilación del mismo en los procesos que se llevan a cabo en el sistema.

En ambos niveles el comportamiento fue el mismo, manteniendo concentraciones menores siempre en superficie. Para los meses de noviembre y diciembre las concentraciones fueron del orden de cientos de $\mu\text{g L}^{-1}$ y constantes a lo largo del día, para los meses posteriores los niveles subieron a miles de $\mu\text{g L}^{-1}$. De marzo a junio el incremento térmico favorece la mineralización del fósforo orgánico presente, así como el metabolismo de los peces y la incorporación de los desechos piscícolas al sistema, que en conjunto son transformados tanto en la columna de agua como en el fondo del sistema, incorporándolo nuevamente para su aprovechamiento, se observa una relación inversa con la productividad primaria, debido a que cuando esta aumenta la asimilación de este compuesto también y en consecuencia su concentración disminuye en la poza. Los ortofosfatos solubles son absorbidos por el fitoplancton, las bacterias y las macrófitas y se ha demostrado que el fitoplancton absorbe 41% de 0.30 mg L^{-1} en 24 h (Boyd, 1982).

La liberación de gran parte del fosfato del detritus ocurre antes de la sedimentación completa y es asimilado nuevamente por la comunidad fitoplanctónica en las aguas superficiales, la otra parte del detritus se deposita sobre el sedimento donde después de su completa descomposición es liberado al sistema, favorecido por las condiciones con baja concentración de oxígeno o anoxia detectadas sobretodo en abril. Por lo tanto estas condiciones permiten el incremento del fósforo liberado desde los sedimentos hacia la columna de agua. Las menores concentraciones de fosfatos, en el nivel superficial se deben al aprovechamiento de este nutriente por la comunidad fitoplanctónica. (Alphenaar, 1993; Jansson 1988, Morris 1992).

Las concentraciones de ortofosfatos registradas en el embalse sobrepasan las de fósforo total que se presentaron en los embalse de alta tasa de estabilización y de alimentación con aguas crudas en el estudio realizado por Edwards (1981) y muy superiores a los de sistemas eutróficos (Marín, 1999)

En este sistema las tasas de crecimiento algales nunca se ven limitadas por el fosfato inorgánico ya que se considera $2 \mu\text{g L}^{-1}$ como la concentración límite. Las tasas máximas de crecimiento varían en función de la concentración, pero el contenido de fósforo depende del volumen del protoplasma, las tasas máximas de absorción de ortofosfatos por unidad de superficie celular son similares en los distintos organismos. Las bacterias muestran menos afinidad por los ortofosfatos que las algas pero potencialmente podrían crecer más, debido a una mejor relación de la superficie con respecto al volumen. Desde luego cabe aclarar que la concentración de fósforo soluble en el sistema lo sitúa como un embalse hipereutrófico (Wetzel, 1975) y se detecta una correlación significativa con los sólidos suspendidos y el carbono disuelto.



Pillay (1992) estimó una descarga de 10 a 20 Kg de fósforo y de 65 A 75 Kg. de nitrógeno en cajas de cultivo por tonelada de peces producida; esto implica que este material particulado causa un bajo impacto, pero aquel que llega al sedimento se adsorbe o mineraliza y esto aumenta su concentración considerablemente, si se presentan condiciones reductoras importantes en el fondo del sistema y de circulación lo que hace que la liberación de ortofosfatos se difunda y aumente su contenido en la columna de agua. (Martínez, 1998).

Una de las preguntas importantes de este estudio fue conocer si el sistema tenía un comportamiento independiente de las concentraciones de nutrientes que se obtienen en el efluente de la planta de tratamiento. Los resultados del ANDEVA para cada uno de las especies químicas del nitrógeno, los ortofosfatos y la alcalinidad, nos dicen que de diciembre a junio no hubo diferencias significativas entre los dos niveles y la planta, esto nos permite decir que las concentraciones del efluente de la planta de tratamiento impactan directamente en el comportamiento de la poza, la cual a pesar de ser muy dinámica, su tasa de transformación es insuficiente para lograr un proceso de oxidación avanzado y lograr la estabilización total.

SÓLIDOS SUSPENDIDOS

La cantidad de sólidos que se encuentran en suspensión en el embalse es un parámetro importante en el ámbito acuícola, por su interferencia en algunos procesos al interior del sistema. Su presencia impide el paso directo de la luz solar, en abundancia genera una importante demanda biológica de oxígeno y lo que da lugar a la disminución de este gas en la columna de agua, en la alimentación de organismos filtradores, pueden dañar las branquias e interferir en la respiración, su acumulación puede causar una posterior obstrucción del bentos y hasta su asfixia.

La concentración de este material suspendido fue moderada durante el tiempo de estudio, una gran cantidad de él, está conformado por células fitoplanctónicas, lo que da lugar a su migración en la columna de agua; sin embargo esto no fue muy evidente en la poza, en donde las concentraciones a ambos niveles fueron muy similares, lo que corrobora la homogenización continua del sistema.

Se identificaron dos etapas, una en la época fría con grandes fluctuaciones diarias como consecuencia de la movilidad de las microalgas para la captación de la luz solar y su hundimiento en la noche o madrugada para evitar un cambio térmico drástico y la segunda en el periodo cálido, con menores variaciones a lo largo del día. Los valores reportados no representan ningún peligro para los peces, ni para la producción de oxígeno y fueron menores a los estimados en cultivos realizados en otras lagunas de estabilización secundarias (Moscoso, 1999; El-Gohary, 1995).

CARBONO TOTAL DISUELTO (CTD)

Este material soluble es una fuente de energía continua, que tiene una fracción refractaria constituida por sustancias húmicas que pueden ser estimuladoras del crecimiento planctónico. Así



mismo el mayor aporte de carbono orgánico disuelto es por el fitoplancton, que además es un buen fijador del mismo.

Se observan dos fases en el comportamiento: en la primera hay una concentración alta que tiende a incrementarse en diciembre como consecuencia de la disminución de temperatura y por ende la actividad bacteriana y fitoplanctónica, además del aumento de solubilidad de los gases como el CO₂ y el CH₄.

De acuerdo al pH del sistema la cantidad de CO₂ fue mínima, la concentración de carbonatos y bicarbonatos, aumenta de noviembre a diciembre pero también de diciembre a enero y esto no se ve reflejado en el CTD, por lo tanto es el carbono orgánico disuelto el que está marcando este comportamiento ya que su origen es principalmente fotosintético al liberarse durante el crecimiento activo de las algas y en esta época es importante el generado, por la autólisis, senescencia y muerte, ya que es susceptible a la descomposición rápida. En lo que se refiere al comportamiento a lo largo del día vemos mayor variación en la concentración de superficie que en la de fondo así como en las horas de mayor incidencia solar como consecuencia de la producción autóctona por el plancton, la liberación de compuestos extracelulares y de las actividades bacterianas que son mayores durante el periodo del luz, y disminuyen después de las 20 h. En la segunda fase se logra un equilibrio, por lo que se infiere que la tasa de degradación del carbono es igual a la entrada del mismo al sistema, con persistencia de los compuestos resistentes de origen húmico y actividad microbiana en el sistema; sin afectar de manera directa los cambios en la actividad fotosintética en el comportamiento nictemeral.

CARBONO ORGÁNICO PARTICULADO (COP)

Por tratarse de un embalse alimentado con efluentes parcialmente tratados, van a presentar partículas de carbono disgregadas y que aún no han sido mineralizadas, además del plancton que no es consumido y que inicia su descomposición en la columna de agua hasta en un 90%; por lo tanto el material presenta diferentes estados de descomposición dependiendo de su origen, composición, organismos descomponedores, grado de descomposición, sustrato, granulometría, aerobiosis, pH, etc.

La concentración de carbono orgánico particulado en el sistema es muy alta y variable en un intervalo entre 230 y 3175 mg L⁻¹. Estas concentraciones rebasan en mucho la concentración de carbono orgánico total reportada entre 1 y 30 mg L⁻¹ para un sistema natural (Wetzel, 2001). Lo que nos indica que la carga biogénica del embalse es en extremo diferente y representa la causa por la que la acuicultura es una alternativa de aprovechamiento de la materia orgánica en las pozas de oxidación.

El comportamiento de este parámetro está influenciado de manera directa por el aporte de la planta y los estanques facultativos, así como la variación térmica. Esto repercute en un crecimiento bacteriano y fitoplanctónico, que se refleja durante el día con mayores concentraciones entre las diez de la mañana y las cuatro de la tarde y menores de las 24 a las seis horas (Figura 64); se registran las mayores variaciones nictemerales y en la columna de agua



de abril a junio. De acuerdo a Wetzel (2001) esto sucede porqué los compuestos bióticos de la estructura trofodinámica experimentan oscilaciones rápidas en relación con los factores que gobiernan su crecimiento, lo que provoca fuertes variaciones en periodos cortos. Sin embargo el carbono orgánico particulado de origen procedente del detritus presenta un metabolismo lento ya que se compone en su mayor parte por sustancias no lábiles que permanecen por mucho tiempo.

En sistemas como este a la gran concentración de carbono orgánico particulado contribuye en gran proporción la productividad bacteriana que genera fluctuaciones estacionales y espaciales en la columna de agua. La relación que se establece para carbono orgánico disuelto y carbono orgánico particulado en sistemas acuáticos naturales es de 6:1 a 10:1; sin embargo en este sistema artificial con función oxidante la relación fluctúa de 1:4 a 1:50. En donde se ve que la proporción de carbono particulado rebasa la del disuelto y ambas son extremadamente altas, lo que representa un fuente de energía aprovechable en un sistema con un buen manejo o un riesgo de máxima contaminación ambiental.

PRODUCTIVIDAD PRIMARIA y FITOPLANCTON

La captación de energía por organismos autotróficos y la generación de materia orgánica como resultado del proceso fotosintético se transforman en la producción primaria. La productividad primaria es la tasa de formación de nueva materia orgánica en un periodo de tiempo definido (hora, día, año); es un proceso complejo en el que están involucrados diferentes factores bióticos como la tasa de respiración y la herbivoría, y abióticos como la radiación solar, la temperatura y los principales nutrientes.

Conocer la productividad primaria es una forma de conocer la eficiencia en la transferencia de energía dentro del sistema, conocer la disponible para la bioactividad o la capacidad para formar energía potencial (Marín, 1999). La producción neta que es el excedente de la fotosíntesis, descontando la respiración y la producción bruta que se determina como la materia orgánica total generada a partir de la fotosíntesis. La radiación solar en conjunción con la disponibilidad de nutrientes, son el mecanismo de control de los ciclos de producción.

La productividad primaria presentó variaciones temporales importantes, no coincidiendo con lo mencionado por Talling (1966) para sistemas poco profundos. Esta variación presenta el mismo patrón que el oxígeno disuelto, lo que indica que ambos son resultado del proceso fotosintético en el sistema. De acuerdo a la productividad se clasificaría al sistema como eutrófico en alto grado (Martínez, 1998), con disminución en la tasa de producción durante el invierno e incrementos en febrero y mayo, durante la primavera, con una serie de pulsos en función del tipo de algas presentes en la sucesión y la variación térmica.

La cantidad de carbono como resultado de esta productividad primaria, es muy variable y difícil de comparar debido a la diversidad de técnicas, unidades y métodos de evaluación utilizados, así que mientras algunos autores mencionan una cantidad máxima de carbono fijado entre



1,5 y 2,5 g C m⁻².h⁻¹, hay otros autores como Hopher (1962) que reporta hasta 6.4 g C.m². día⁻¹ en estanques acuícolas. Sin embargo es importante considerar que valores altos lejos de favorecer la producción, propiciarían la aparición de problemas secundarios (incremento de sustancias tóxicas como NO₂⁻).

La productividad primaria en el sistema fue fluctuante con un máximo $\leq 1,2$ g m⁻³ h⁻¹ esta representa una alta tasa de productividad que corresponde a sistemas hipereutróficos, (López-Archilla, 2004), sin embargo durante 4 meses, no superó los 0.2 g m⁻³ /h, situándolo como un sistema tendiente a la eutroficación.

La biomasa fitoplanctónica varía estacionalmente y tiene por lo general valores máximos durante la primavera. La mayor densidad del fitoplancton se encuentra en la capa superficial y decrece en función de la profundidad, se midió de diferentes maneras, a través de la concentración de clorofila a y por conteo de células y determinación de géneros por observación microscópica, con la finalidad de tener el panorama más completo posible sobre la productividad del sistema. Las variaciones en la concentración de este pigmento coinciden con las del pH en el sistema, por lo que a través de este y otros parámetros como la alcalinidad se puede inferir como fluctúa la producción de clorofila “a” a lo largo del tiempo.

Los valores más altos de clorofila se presentan en periodos con acumulación de organismos fitoplactónicos muy cerca de la superficie; cuando las comunidades algales comienzan a decaer y en consecuencia el seston se incrementa considerablemente, por este motivo no existe correlación entre el número de partículas totales y la clorofila “a”.

En condiciones naturales, cuando hay exceso de nutrientes, la producción no puede sobrepasar ciertos límites que establecidos en función de la eficiencia del sistema. Generalmente se acepta que entre 300 y 600 mg Cl a m⁻² (en función de la composición y naturaleza del fitoplancton) por absorben ya el 99 % de la luz incidente, y que a menos que se propicie la mezcla vertical, estos valores se mantienen como máximos (Alonso, 1984). Por otro lado Talling *et al.* (1973) afirman que los valores de clorofila a activa raramente exceden los 70 mg.m⁻³ debido a que la mayoría de la luz incidente es absorbida dentro del primer metro de agua, limitando así la capacidad fotosintética de la comunidad; sin embargo, al tratar dicha limitación debe tenerse en cuenta el tamaño de las algas presentes.

Las concentraciones de fósforo y de clorofila “a”, sitúan este embalse como un sistema hipereutrófico, (OCDE, 1982), lo cual es predecible por la carga orgánica que posee y la capacidad de producción de biomasa fitoplanctónica, coincidiendo con lo expresado por Fraile, (1995). Las concentraciones de este pigmento durante el periodo de estudio fueron muy altas con un intervalo entre 37 y 960 mg.m⁻³ menores que las reportadas para sistemas naturales extremadamente productivos 2000 mg m⁻³ y comparables con las reportadas para bordos de temporal 4 a 960 mg m⁻³ (Hernández, 1986) y para lagos 35.4 y 708 mg m⁻³ (Recientes) Edwards (1981) menciona concentraciones de clorofila a, muy variables en los diferentes experimentos realizados con concentraciones de fitoplancton de 42 a 123 mg. Las horas en que se registran las máximas concentraciones de clorofila, permiten inferir que la tasa de ingestión de las tilapias, no impacta fuertemente en el desarrollo diurno de las algas, y son más afectadas por el periodo de oscuridad.



En las lagunas de estabilización se ha determinado que la fotosíntesis es un buen indicador de la estabilización que se logra en el tratamiento (El-Gohary, 1995) y las microalgas como parte fundamental de este proceso pueden ser usadas para monitorear la operación del sistema

La capacidad biótica de las zonas de producción, depende de la energía disponible a partir de la producción primaria, el conocimiento del balance energético en ecosistemas donde se realizan actividades acuaculturales es en consecuencia un parámetro determinante para racionalizar su explotación. La energía contenida en el fitoplancton es de 45 a 60 joules por miligramo de carbono y se encuentra almacenada bajo la forma de carbohidratos (16.4 joules por miligramo), de proteínas (23.4 joules por miligramo), de lípidos (39.7 joules por miligramo) y de sustancias orgánicas diversas como los feopigmentos.

La composición química de las especies fitoplanctónicas varía según la especie. Los márgenes de composición general para una muestra de fitoplancton expresado en miligramos/100 miligramos de muestra en peso seco son: Proteínas 17-57; Carbohidratos 4-37; Lípidos 2-18; Pigmentos 0.5-3; Cenizas 6-57. (Cáceres, 2010)

El estudio microscópico del fitoplancton reveló una sucesión continua con los siguientes taxa: Cyanophyta o Cyanobacteria, que dómino durante el periodo de estudio y la presencia de Bacillariophyta y Chlorophyta .

Las algas verde-azules o cianofíceas son el grupo primitivo de organismos procariontes, que actualmente se considera están más relacionadas, desde un punto de vista filogenético con las bacterias y se le incluye dentro del filo Cyanobacteria. Presentan estructura celular procarionte indiferenciadas, con una pared celular con una membrana de mucopéptidos que le permite agrupar a las células individuales en colonias, favorecen la fijación del nitrógeno sobre todo cuando ya poseen heterocistos. Son componentes habituales del fitoplancton en embalses y presentan ventajas competitivas sobre otros tipos de algas, en aguas ricas en nutrientes se multiplican de manera profusa, dando lugar a florecimientos que pueden representar un problema, ya que interfieren en el tratamiento y por su capacidad para generar y liberar metabolitos secundarios tóxicos (Othaz, *et al.* 2010), que se convierten en un riesgo para los cultivos y la salud humana en diferentes niveles, leves (dermatitis, problemas gastro-intestinales) y graves con efectos agudos y crónicos (hepatotóxico, neurotóxico y promotor de cáncer hepático). Los compuestos tóxicos son de difícil remoción de los cuerpos de agua, ya que algunos son estables y resistentes a la hidrólisis química u oxidación y pueden persistir durante meses o años, e inclusive permanecer activos aun después de ser sometidos a fuertes calentamientos. (Ruibal, *et al.* 2005). A pesar de su toxicidad y su difícil digestión, es importante mencionar que en sistemas con esta riqueza planctónica existe la posibilidad de cultivar con éxito organismos de Tilapia como lo comunicó Moriarty (1973) quién demostró que durante el ciclo diurno la *Tilapia nilotica* digiere algas verde-azules, sobresaliendo por su capacidad para ello.

Las clorofitas son algas que han alcanzado altos niveles de complejidad, contienen cloroplastos y almidón, entre sus pigmentos domina la clorofila a, con pared celular compleja (Lara, 1996), se encontraron en el embalse representadas principalmente por las chlorococcales, que se



caracterizan porque su división celular se sincroniza con la división nuclear y esto tiene lugar durante la noche

Las bacillariofitas que se consideran el grupo más importante del fitoplancton, con pared celular silíceea, se encuentran como unicelulares solitarias o formando cadenas o colonias, sus cloroplastos son de forma y número variable, contienen clorofilas a, c₁, c₂ y carotenoide pardodorado fucoxantina, que les confiere su color característico, su pared celular se denomina frústula y su estructura y ornamentación es la base para su clasificación taxonómica.

La sucesión de géneros en el embalse estuvo influenciada en gran medida por las fluctuaciones de la temperatura, los ortofosfatos en concentraciones muy superiores a sus requerimientos, el equilibrio, carbonatos-bicarbonatos y en consecuencia el pH del medio, se monitorearon 10 géneros que aparecen y fluctúan en su densidad registrando mayor variabilidad en invierno y primavera.

Los géneros presentes indican que las condiciones del embalse son de muy alta productividad con tendencia a la hipereutrófia domina la presencia de cianobacterias. En la poza se presentaron condiciones propicias para el desarrollo de este grupo, la concentración de nutrientes en donde los fosfatos rebasan por mucho la relación de 9:1 de Nt:Pt que es la más utilizada, en el trabajo no se cuantificaron las concentraciones totales de nitrógeno y fósforo, sin embargo con las determinaciones de ambos en sus formas inorgánicas, podemos decir que es muy difícil que esta relación se cumpla.

La intensidad luminosa, las temperaturas superiores a 20 °C, la moderada turbulencia del agua y el tiempo de residencia del agua, son factores que favorecen el desarrollo de florecimientos de cianobacterias reforzando el estado trófico del sistema como eutrófico. Aunque este tipo de organismos fitoplactónicos son altamente tóxicos, no hubo afectación aparente de los peces, no se observó presencia de mucílago en las agallas, ni en la piel. La especie dominante en durante mayor tiempo en el estudio fue *Chroococcus dispersus*, posiblemente por la alta velocidad a la que absorben los nutrimentos, su eficiencia para fijar carbono y su adaptación a ambientes adversos; sin embargo no es una especie comúnmente reportada en este tipo de sistemas, Lepistö y Rosenström (1998) observaron que *Chroococcus limneticus Lemmermann*, en una densidad de 2,710 cel mL⁻¹ en condiciones eutróficas y De la Lanza alcanzó máximos de 77,287 cel mL⁻¹, mientras que en este estudio la densidad máxima fue de 231,008 cel mL⁻¹, en febrero.

La dominancia de *Anabaena spiroides* en julio y de *Microcystis aeruginosa* en agosto en los muestreos prospectivos nos indican las condiciones eutróficas, con temperaturas altas que propician su aparición, nociva para organismos de niveles superiores por contacto o ingestión.

El descenso de temperatura y pH en diciembre con baja concentración de ortofosfatos, moderada de amonio y muy baja de nitratos y nitritos permitió el desarrollo y dominancia de *Crucigenia sp.* y la aparición de *Cyclotella sp.*, que domina en enero cuando se incrementa la concentración de amonio y ortofosfatos. Las sucesiones que tuvieron lugar en el embalse nos resaltan el pH como factor determinante en los florecimientos de cianobacterias en un medio con tendencia alcalina,



esto se refuerza con lo encontrado en diversos estudios (López-Archilla, et al., 2004; Talling y Talling 1965).

La tendencia del cualquier sistema es mantener equilibrada la relación P:N y en este sentido es el P el que juega el papel regulador. Si hay exceso de N respecto al P la acción de las bacterias desnitrificantes lo devuelve a la atmósfera en forma de N_2 y N_2O ; este mecanismo se encuentra particularmente favorecido a pH alto y bajas concentraciones de O_2 . Cuando hay exceso de P, hay fijación de N_2 atmosférico por parte de las cianofíceas. El crecimiento masivo de estas algas representa un potencial tóxico y de afectación a la calidad del agua (Alonso, 1984).

La presencia dominante de las cianófitas o cianobacterias es susceptible de ser aprovechada por organismos filtradores de amplio espectro y en este caso por los peces en cultivo (*Oreochromis niloticus*) para los cuales estos microorganismos fueron su principal alimento.

CULTIVO PISCÍCOLA, DESARROLLO, CRECIMIENTO Y CONDICIÓN

El estudio como se mencionó anteriormente constó de tres etapas, con la finalidad de obtener el mayor provecho de la información disponible, aunque es la segunda etapa, la que corresponde al seguimiento y monitoreo completo del cultivo de *Oreochromis niloticus*.

Considerando los siete meses desde la redistribución en las jaulas, se observó que la mortalidad fue variable y se infiere que obedece a causas diferentes a la cantidad de organismos confinados en cada jaula. La mortalidad registrada en abril y junio fue sin duda causada por la baja disponibilidad de oxígeno disuelto al amanecer, que afectó principalmente a los peces que se encontraban en jaulas con mayor densidad, ya que la restricción de espacio les impidió desplazarse en busca de condiciones más adecuadas. La supervivencia fue de 82.5%, la cual es comparable a la obtenida en las investigaciones sobre el tema en Perú en diferentes experimentos, que fue de 80 y 64% en invierno y 88% en verano (Moscoso 1995)

La relación entre longitud total y longitud patrón tuvieron una alta correlación, lo cual fue práctico para el manejo de los peces, en función de que se utilizó la longitud patrón para las otras determinaciones evitando que daños en el cuerpo del organismo, por captura, transporte, manejo o interacción, influyeran en los datos morfométricos y estadísticos.

Con respecto a la relación peso-longitud y el exponente de crecimiento obtenido, se observó que la primera etapa los organismos tuvieron un crecimiento alométrico negativo, lo cual sucede como una estrategia adaptativa, pero ya en la segunda etapa y conforme fueron creciendo en sus respectivas jaulas y densidades el crecimiento fue isométrico, esto refleja que los organismos estuvieron bien adaptados y la disponibilidad de alimento, así como los cambios físicos y químicos no causaron que los peces modifiquen su estrategia de crecimiento.

Para *Oreochromis niloticus* se han reportado en México crecimiento isométrico por Córdova (1994) para organismos juveniles en condiciones de laboratorio, así como Pérez-Ortiz y Patlani-



Santiago (2002) para la población en la presa “Emiliano Zapata”, en el estado de Morelos; sin embargo otros estudios en su mayoría muestran crecimientos alométricos negativos para la especie: Bernal (1984) con pendientes entre 0.95 y 2.03, Abdulrahman (1996) con valores de 2.14 para hembras y 2.25 para machos, Flores (1994), Garduño y Avelar (1996).

Este tipo de crecimiento indica proporcionalidad en las variaciones de talla y peso manteniendo la forma a través de las etapas de desarrollo, uno de los factores que se ha considerado determinante para el crecimiento isométrico es evitar la reproducción o tener condiciones ambientales favorables en cuanto a clima y alimentación. El cultivo realizado se llevó a cabo en jaulas, con selección de organismos para evitar a toda costa su reproducción y evitar así su infiltración en todas las pozas de la planta de tratamiento; estas condiciones favorecieron el tipo de crecimiento encontrado

El análisis del crecimiento de los organismos en función de sus densidades, nos mostró que hubo un desarrollo diferencial y que por lo tanto la densidad a la que habían sido confinados los organismos influyó en su crecimiento y en las tres dimensiones peso, longitud patrón y altura.

El movimiento y la interacción con un mayor número de organismos en un espacio limitado, afectó el crecimiento de los peces, las densidades más altas de 80 y 60 organismos m^{-3} , presentaron menor crecimiento en sus tres dimensiones con semejanza entre ellas. Por otro lado, las densidades de 40 y 20 organismos m^{-3} , permitieron que los organismos se encontraran en condiciones menos estresantes, con mayor disponibilidad de alimento a su alrededor y por lo tanto tuvieron mayor crecimiento en peso, longitud patrón y altura.

Los promedios de peso y longitud patrón alcanzados al final de la segunda etapa, no se consideran de tamaños clásicos como para una comercialización; sin embargo los registrados para el final de la tercera etapa con organismos de aproximadamente 20 cm de longitud patrón y 250 g de peso, son adecuados para el mercado.

Existen dos tipos de factores que influyen en la tasa de crecimiento de los peces 1) Los relacionados con sus características genéticas y estado fisiológico y 2) los relacionados con el medio donde se desarrollan, como son la composición química de agua y suelo, la temperatura, el oxígeno, el alimento disponible y los productos de excreción. De acuerdo al desarrollo normal de cualquier organismo la tasa de crecimiento (incremento en g/día) en las primeras etapas de desarrollo es alta pero conforme el individuo crece tiende a disminuir, asimismo la tasa de crecimiento relativo expresada en porcentaje disminuye con el incremento en peso de los peces (Heper, 1985) y sus variaciones están en función de los parámetros antes mencionados

Las figuras 87 y 90 demuestran la tendencia en las tasas de crecimiento con un comportamiento observado que difiere mucho de lo descrito para peces en cultivo (Heper, 1985). En este estudio la tendencia fue cíclica.

El análisis sobre los cambios mensuales que sufrió la tasa de crecimiento específica y relativa, mostraron que hubo diferencias significativas de estos indicadores en los diferentes meses del cultivo. Manifestaron tres etapas, la primera de incremento moderado y poca variabilidad, la



segunda de enero a abril como fase de mantenimiento de la población con tasas de crecimiento bajas, y la tercera con el registro del crecimiento acelerado de abril a mayo y el decremento posterior.

Por otro lado los resultados de los ANDEVA realizados mostraron que las diferencias que se encontraron en las tasas de crecimiento para las diferentes jaulas y densidades no fueron significativas, por lo que se puede decir que la población en forma conjunta tuvo el mismo comportamiento. De acuerdo a lo expresado en cultivos controlados se esperaba que la tasa de crecimiento fuera disminuyendo paulatinamente conforme los organismos crecían. Sin embargo esto sucedió de noviembre a enero, de enero a abril se mantuvieron estables y para mayo se rompió esa tendencia, con incrementos en la tasa de crecimiento relativo de 50 a 600 %. Esto obedece a cambios en el medio como el incremento en la temperatura que se mantiene entre 27 y 32.5 °C, en la concentración de oxígeno disuelto y la tasa de nitrificación en el sistema, con fluctuaciones importantes del carbono orgánico particulado a lo largo del día e incremento hacia el fondo del sistema y una estructura fitoplanctónica con mayor diversidad genérica (Figura 72-mayo) con disminución de la cantidad de cianofitas, incremento de bacilariofitas y aparición de clorofíceas en el sistema. Este cambio en la dinámica del sistema favorece la filtración y la conversión de alimento por los peces, mejorando su crecimiento. De mayo a junio este crecimiento vuelve a disminuir encontrando en esta etapa organismos entre 111.5 - 150.6 g y en la tercera fase del cultivo (junio a diciembre) la tasa de crecimiento promedio disminuye y se encuentran organismos con un peso promedio de 255 g y un peso máximo individual registrado de 450 g.

La longitud y peso promedio alcanzados en la primera fase del estudio, antes de la redistribución dieron como resultado una tasa de crecimiento de 0.48 g/día (Cuadro 11), comparable a la obtenida en las diferentes densidades para la segunda fase y menor a la registrada para la tercera fase en donde se alcanzó la máxima tasa de crecimiento de 0.72 g/día. En la segunda fase las tasas de crecimiento se mantuvieron en un intervalo entre 0.37 y 0.58 g/día. El-Gohary (1995) en el cultivo a escala durante 92 días, simulando un sistema de pozas de oxidación obtuvo una tasa de crecimiento relativo de 1.43 % y una productividad de 71.5 Kg/ha/día extrapolando a 26.09 ton/ha/año. Si consideramos que la talla de introducción en su trabajo y el nuestro fue similar y el tiempo de la primera fase del cultivo fue de 58 días podemos decir que la tasa de crecimiento relativo fue mayor que la que ellos registraron en ese primer periodo de crecimiento.

Cuadro 20. Comparación de tasa de crecimiento y producción en diferentes tipos de cultivo¹

Referencia	Tipo de cultivo	Organismo en cultivo	Tasa de crecimiento promedio g/día	Tasa relativa o específica de Crecimiento promedio	Producción promedio Kg/ha/año
Este estudio	Aguas residuales tratadas Jaulas	<i>Oreochromis niloticus</i>	0.57	0.68 %	43,190 (17.3 Kg/m³)
El-Gohary (1995)	Aguas residuales tratadas	<i>Oreochromis niloticus</i>		1.43 %	26,000
Moscoso (2005)		<i>Oreochromis niloticus</i>	1.08		4,400
Saha (1994)		<i>Oreochromis niloticus</i>	1.3 – 1.58		2,110
Edwards (1981)		<i>Oreochromis niloticus</i>			20,000
Edwards (1983)		<i>Oreochromis niloticus</i>			856 – 3,572
Moscoso (1995)		Policultivo	0.54		4,900
Shereif (1995)	Efluentes de agua tratada	<i>Oreochromis niloticus</i>			5,000-7,000
Turner (1986)		Híbrido <i>O. niloticus</i> x <i>O. aureus</i>			3,900 – 8,100
Abella T. (1986)	Fertilización con gallinaza e inorgánica	<i>Oreochromis niloticus</i>		112 – 1.33	
D' Fortes (1987)	Fert. con gallinaza. Fert. sin gallinaza	<i>Oreochromis niloticus</i>			1,259 756
Garry (1977)	Lodo o Suelo negro(China) Aguas res. (Europa) Pozas oxidación (Guindy)	<i>Tilapia sp</i>			619 400 – 900 7,700
Burns (1980)	Fert. Gallinaza				876 - 5,913
Schroeder (1978)	Fert orgánica y química	Policultivo			5,475 – 11,680
Guerrero III. (1980)	Harina de pescado H. coco Alimento-peletizado Cultivo en Jaulas	<i>Tilapia nilotica</i>			1.13 Kg/m ³ 4.2 Kg/m ³ 8.5 – 11.6 Kg/m ³
Pillay (1990)	Cultivo en jaulas. Fert orgánica	<i>Tilapia nilotica</i>			1350 (3.5 – 7 Kg/m ³)
Mc Andrew (1989)		<i>Oreochromis niloticus</i>		3.99 ± 0.11	
Vega (2010)	Alimento comercial	<i>Oreochromis niloticus</i>	3.61		7,600
CENIACUA 2009		<i>Oreochromis niloticus</i>			2,2000
DAS (2006)		<i>Oreochromis niloticus</i>	1.87		1,800
Ramnarine (2008)		<i>Oreochromis niloticus</i>			210 - 948
FAO (2010)					76 – 116 Kg/m ³
Lovshin (1977)	Alimento suplementario				3,200
Córdova (1994)	Alimento comercial. Laboratorio	<i>Oreochromis niloticus</i>	0.09 (4org/30 l) 0.09 (6org/30 l) 1.0 (8org/30 l)	3.27 3.22 3.34	
Collins (1979)	Estiércol vacuno Dieta comercial	<i>Tilapia nilotica</i> y <i>Tilapia hornorum</i> .	1.7 2.8		5,840
Ruiz R. (1983)	Fert. gallinaza	Híbridos de tilapia en policultivo			8,000
Pretto R. (1980)	Estiércol porcino	<i>Tilapia nilotica</i> en Policultivo			5,000 – 10,000

El cuadro 20 resume algunos de los datos comparables con otros estudios. En cuanto a la tasa de crecimiento se observó que el valor promedio para este cultivo fue bajo, si se compara con las obtenidas por Moscoso (2005) y Saha (1994), para cultivos de la misma especie en aguas tratadas y es similar a la obtenida en Calcuta, India en 1984, después de tener una tradición de acuicultura con aguas crudas desde 1948 (Moscoso, 1995). También es comparable con la calculada por Jaramillo en sistemas con fertilización orgánica y mucho más alta que la obtenida por Córdova con alimento balanceado en condiciones de laboratorio. Con referencia a la tasa de crecimiento específica también es menor que las reportadas en otros trabajos. Es biomasa íctica a un área equivalente a una hectárea, el resultado es una producción muy alta, ya que las densidades por



jaula no fueron bajas. Sin embargo sí el cultivo se llevará a cabo en la poza, sin el uso de jaulas y utilizando una densidad de carga equivalente, esta sobrepasaría la capacidad de carga del embalse. Es por eso que en sistemas de este tipo cuando no se utilizan jaulas, las densidades que se eligen son bajas 2 organismos m^{-2} (Moscoso, 2005) o de 3 a 5 organismos, es importante hacer notar que este cultivo presentó altas tasas de crecimiento en algunos meses; sin embargo el periodo comprendido entre enero y abril las tasas de crecimiento se mantuvieron en muy bajos niveles, esto permite inferir que los meses elegidos para el cultivo no fueron los idóneos y el crecimiento hubiera sido más estable, si el tiempo de cultivo hubiera abarcado la primavera y verano, en lugar del invierno y primavera.

Al extrapolar la producción de m^{-2} a el área de los estanques esto es comparable con la registrada en Calcuta e inclusive que las utilizadas por Ranmarine (2008) que van de 5 a 20 organismos m^{-3} , en las cuales el crecimiento obtenido fue con suministro de alimento balanceado.

El crecimiento obtenido en este estudio para *Oreochromis niloticus* fue lento, ya que experimentos semejantes han logrado tallas semejantes, en periodos entre 90 y 180 días de cultivo (Moscoso, 2005; Edwards, 1981); sin embargo se logró alcanzar una talla y peso comerciales en un periodo de 13 meses, a partir de un peso inicial promedio de 14.7 g, esto representa el aprovechamiento y transformación de la energía y biomasa algal generada en la poza de oxidación para la producción de peces, con una inversión mínima en su cultivo.

El factor de condición múltiple, que considera el incremento que sufre cada uno de los organismos en peso, longitud patrón y altura, representa un indicador del bienestar o robustez de los peces, de acuerdo a los resultados de los análisis estadísticos, se puede confirmar que los organismos modificaron su condición durante el periodo de cultivo ya que se encontraron diferencias significativas entre los valores de este factor para los meses correspondientes, registrando que el mes en el cual, los organismos estuvieron en la mejor condición fue mayo, esto coincide con la obtención de la mayor tasa de crecimiento. Por otro lado el análisis estadístico para comprobar la influencia de la densidad en la condición de los peces, mostró que este indicador presentó diferencias significativas en función de la densidad. Los peces cultivados en una densidad de 40 organismos/ m^3 fueron los que desarrollaron menor condición. Este, este efecto de la densidad en la condición de los organismos, se presentó también para la carpa común en microembalses del estado de Michoacán (Huipé, 2009).

Es importante hacer mención que el cultivar organismos exóticos implica un riesgo muy importante, ya que puede desplazar a las especies endémicas e invadir diferentes ecosistemas. En este caso al hablar de *Oreochromis niloticus*, hacemos referencia a las tilapias uno de los grupos más controvertidos dentro de la población íctica, debido a que han sido introducidos en gran parte del mundo y se han adaptado a condiciones muy diversas, causando problemas para las especies nativas, aunque los resultados comerciales han sido buenos.

Es por lo tanto muy importante extremar precauciones cuando se cultivan organismos de tilapia, no basta el hacer selección de organismos machos, también deben realizarse en sistemas cerrados como jaulas o corrales y llevar un monitoreo y control continuo de la población. No es



recomendable el uso de individuos hormonados, por el peligro que implica la dispersión de las hormonas en los sistemas acuáticos

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

El desarrollo de acuicultura con aprovechamiento de aguas residuales o en aguas parcialmente tratadas es un tema altamente controvertido, que plantea alternativas de aprovechamiento muy atractivas pero a su vez enfrenta riesgos sanitarios y sociales.

Los análisis microbiológicos se realizaron al final del cultivo por lo que se cuenta con la información del estado de los peces y el agua en el momento de la cosecha de la segunda etapa. Los resultados arrojados por la técnica del Número Más Probable indicaron que el tracto digestivo concentra y retiene gran parte de las bacterias que el pez está ingiriendo y por lo tanto se encontró altamente contaminado. Por ello hay que manejar con extremo cuidado su extracción al eviscerar al pez, ya que es muy fácil contaminar los demás tejidos en caso de ruptura o de contacto. La concentración bacteriana disminuyó en la piel de los peces y aún más en el hígado, pero no deja de representar un peligro sanitario. La concentración en hígado y músculo estuvo por debajo de los criterios ecológicos establecidos en el acuerdo CE-CCA-001/89 en su artículo XVIII con respecto a coliformes totales; no siendo así para los coliformes fecales que no deben estar presentes y el único tejido que cubrió este criterio fue el músculo.

El análisis por conteo en placa mostró las concentraciones de las bacterias por gramo en peso seco para cada uno de los órganos. En este caso se observa nuevamente que la piel contrario a lo esperado por su contacto permanente con el agua presentó concentraciones bajas y el músculo o carne del pez contiene coliformes totales en menor cantidad que los otros órganos y no indica presencia de coliformes fecales.

El músculo es la parte del pez con mayor relevancia, ya que es el tejido con alto contenido proteico y susceptible de ser consumido, la concentración microbiana que presenta es baja, lo cual invita a buscar la manera de eliminar esa contaminación, y aprovechar la masa muscular, no únicamente para consumo humano, sino como materia prima para suplementos alimenticios o alimentos complementarios

Se observó que sí bien hay una reducción de la concentración de bacterias en cada uno de los órganos de los peces, se mantienen en el nivel de 10^{-6} , que es alto comparándolo con otros estudios en donde después del tratamiento, el estanque de peces ha reducido este parámetro 2 órdenes de magnitud de 10^4 a 10^2 (Cavallini, 1996) y algunos donde el éxito no ha sido tal ya que han pasado de $6.2 \times 10^6/100$ mL a $5.9 \times 10^7/100$ mL y de 1.3×10^4 a $1.0 \times 10^5/100$ mL (Bhowmik, 2000). Roy (2000) indica que en Kolkata los estanques de peces tienen una concentración de 1×10^7 coliformes termotolerantes y el flujo externo a los estanques con solo 10^3 o $10^4/100$ mL.

Por otro lado Rajan (1994) manifiesta que obtuvo una reducción de 60 a 100% de bacterias (conteo total de bacterias, coliformes, salmonela y estreptococos fecales) en diferentes estanques de cultivo de peces como parte del sistema de reciclamiento de aguas residuales. También Muthuswamy, *et al.* (citado en Rajan) reportó la reducción de coliformes y salmonela en los



estanque piscícolas en 99.5 y 93.7 %. Rajasekaran (1997) observó una reducción de 27% en conteo total, 6% en coliformes y 8% en estreptococos fecales.

Bhowmik (1994), determinó el número más probable de coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales pseudomonas y bacterias heterotróficas en niveles de 0.3×10^4 a 8×10^4 en el estanque y solo 3×10^4 de la placa de conteo total en el hígado de los peces cultivados.

En esta búsqueda se han propuesto algunas técnicas de depuración como mantener en agua limpia a los organismos durante un periodo de tiempo, antes de salir al mercado. Buras (1987) manejó que un tiempo de una semana con recambio de agua diario es suficiente para esto. Sin embargo Fattal (1993) dice que esto no es posible para la eliminación de todos los patógenos ya que microorganismos como las aeromonas son muy difíciles o imposibles de eliminar en Tilapia.

La Organización Mundial de la Salud (2006) recomienda un nivel de 1×10^4 como concentración para los estanques de peces. En los estudios realizados por Moscoso (1995) se estableció un nivel de 1×10^5 , considerando que cuando este límite es rebasado, el sistema inmunológico de la Tilapia se debilita y las bacterias ingresan al musculo. El sistema sobrepasó este límite por un orden de magnitud registrando concentraciones de 1×10^6 , esto colocaría a los organismos en riesgo de ser afectados por las bacterias coliformes. Los resultados indican que si bien si están contaminados en tracto digestivo, piel, e hígado, el nivel de bacterias que presentan en musculo es bajo y potencialmente susceptible de ser modificado en un proceso de depuración.

En otro contexto estudios realizados (Shereif, 1995) para comparar el nivel de contaminación de pesticidas policlorados y metales pesados, en peces que se encuentran en efluentes de aguas tratadas y en aguas superficiales contaminadas, demuestran que la contaminación fue mayor en el sistema natural que en los efluentes de aguas tratadas. Moscoso (1995) reportó niveles de metales pesados, pesticidas y PCB's muy por debajo de los límites establecidos en los criterios de calidad para peces de aguas cálidas del Comité Internacional de Especificaciones Microbiológicas de Alimentos (ICMSF, 1983) y la cosecha de peces experimentales aptos para consumo humano.

Buras (1987) propuso una clasificación para los peces cultivados en aguas tratadas o estanques alimentados con desechos, de acuerdo esta clasificación los peces cosechados, tendrían una clasificación de "aceptable", ya que contienen entre 10 y 50 coliformes por gramo de músculo; en los estudios realizados en Lima por el CEPIS han encontrado disminución importante de la concentración de coliformes del agua cruda y en su paso por las diferentes lagunas primarias, secundarias, terciarias y cuaternarias, obteniendo peces con una calificación de "muy buenos". Además después de 20 años de trabajo, han manifestado que un periodo mínimo de 30 días fue adecuado para la depuración de los organismos. La experiencia vivida en Lima, Perú es muy importante ya que a la fecha los organismos que producen por este medio, son de tallas comerciales, obtenidos en 4 meses de cultivo y vendidos en el mercado local. El producto ha sido bien aceptado por la población, aun conociendo el sistema de cultivo; su costo de producción ha sido de 0.48 dólares por kilogramo de pez y generalmente se comercializa vivo (Moscoso, 2005).

Sin embargo se sabe que los cultivos utilizando desechos o aguas residuales crudas o tratadas no son fácilmente aceptados a nivel mundial, sin embargo hay lugares en donde esto se práctica ya



no de forma experimental, sino como un sistema de producción y son ejemplo los países asiáticos en donde se practica desde la antigüedad, la India donde actualmente estas técnicas son utilizadas para satisfacer la demanda de alimento y aprovechamiento de recursos y Lima, Perú donde se habla de una buena aceptación.

Sin duda México no es un país en donde este tipo de prácticas haya logrado impactar en la sociedad y si se detecta un rechazo de antemano, hasta el momento son pocas las experiencias realizadas y aunque los sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales son una alternativa viable y sostenible para mejorar la calidad de vida, por el manejo adecuado de las aguas residuales de tipo doméstico y la producción de biomasa íctica.

La necesidad en México de lograr un mayor tratamiento de aguas residuales es inminente, la continua contaminación de los sistemas acuáticos, nos ha llevado a la degradación de un alto porcentaje de los recursos naturales del país.



ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Con la finalidad de establecer cuáles fueron los parámetros con mayor relevancia en el estudio y sobretodo detectar aquellos que impactaron en el crecimiento de los organismos se realizó en análisis de componentes principales.

Los cinco componentes seleccionados explican el 90%, de la variabilidad del sistema.

El primer componente es indicativo de cómo el peso desarrollado por los organismos y representado por la tasa de crecimiento y el porcentaje de peso ganado, estuvo altamente relacionado con la temperatura del sistema, en este trabajo la Tilapia presentó un mejor desarrollo en un intervalo de temperatura de 27 a 34 °C y los factores que afectaron este crecimiento fueron la concentración de sales carbonatadas en el sistema y el amonio que es tóxico, dificulta el metabolismo de los peces y llega a ser letal. Lo que indica que cuando la tasa de oxidación es baja en el sistema, los peces tienden a crecer menos.

El segundo componente nos muestra la relación entre el amonio y los fosfatos que nos habla de la gran cantidad de materia orgánica que se encuentra en proceso de descomposición en el sistema y como estos parámetros tienen una relación inversa con la concentración de nitratos, oxígeno disuelto, los niveles de pH, la cantidad de carbono disuelto y los sólidos suspendidos; en conjunto son indicativos del estado trófico en el cual se encuentra el embalse.

El tercer componente se enfoca a la productividad del sistema que nos muestra cómo la clorofila a mantuvo relación directa con alcalinidad, nitritos y pH, inversa con la transparencia y el carbono total disuelto.

El cuarto componente indica como el porcentaje ganado en peso para los peces estuvo en relación con la disponibilidad de clorofila "a", de carbono orgánico particulado y de carbono disuelto en el sistema lo que es representativo de la cantidad y tipo de alimento disponible, en contraposición con las concentraciones de oxígeno disuelto.

Y el quinto componente que reafirmó la relevancia de la concentración de carbono en el sistema y el nivel de pH.

Es importante mencionar que además del conocimiento sobre el comportamiento físico y químico de la poza de oxidación, se obtuvo biomasa fitoplanctónica abundante con el beneficio de la captura de carbono y producción de oxígeno que esto implica. Los peces crecieron bien aunque se llevaron más tiempo que el requerido en otros sistemas; su calidad microbiológica puede mejorarse con un periodo de depuración en aguas limpias y es susceptible de ser utilizado para la producción de harina de pescado con alto contenido de proteína. Además de esto el ecosistema tuvo un cambio evidente, se transformó de un sistema con problemas de muerte de organismos (tortugas) y olores desagradables, a un sistema grato a la vista por la cantidad de aves que atrajo, con olor poco perceptible y con producción piscícola.



Figura 99. Fotografías de la poza de oxidación en diferentes momentos del estudio y desde diversos ángulos.

CONCLUSIONES

1. El cuerpo acuático es un sistema artificial, con una dinámica propia; sin embargo su comportamiento estuvo influenciado por los aportes continuos de la planta de tratamiento y el embalse previo.
2. La Temperatura del agua osciló entre 18.7 y 34.8 °C., valores superiores a los de la temperatura ambiente pero guardando una estrecha relación.
3. El sistema presenta un comportamiento de mezcla continua, situándolo según Lewis (1983) como polimíctico cálido continuo.
4. La transparencia en el sistema estuvo determinada por el viento, la incidencia de luz solar, la nubosidad y el tipo de material suspendido.
5. Las menores concentraciones de oxígeno disuelto durante el día, se registraron frecuentemente a las 6 de la mañana, presentando niveles adversos para la acuicultura, con riesgo para la vida acuática, incluso causando mortalidad de los peces en el mes de abril.
6. El pH del sistema osciló entre 7.36 y 9.86 rebasando el intervalo óptimo recomendado para el crecimiento acuícola.
7. La alcalinidad se mantuvo en niveles adecuados para la piscicultura y de acuerdo a Nisbet y Verneux, citado en Arrignon 1970, se clasifica como un sistema con alcalinidad media, con aguas muy productivas.
8. Los aportes de nutrimentos provenientes de la planta de tratamiento tuvieron un gran impacto en el comportamiento del embalse, que además retiene un alto porcentaje de ellos.
9. El nitrógeno inorgánico muestra una dinámica de mineralización activa, sin embargo se requieren mayores concentraciones de oxígeno para lograr un proceso de nitrificación más exhaustivo.
10. La concentración de amonio en la poza de oxidación es alta con un cálculo de amonio no ionizado que fluctúa entre 0.9 y 2.7 mg L⁻¹ y cubre el intervalo entre 0.6 y 2 mg L⁻¹ manejado por Boyd (1979) como tóxico para peces.
11. Los nitritos se mantuvieron en concentraciones variables y menores a 1 mgL⁻¹, no representando ningún riesgo para la comunidad íctica.
12. La concentración de ortofosfatos en el sistema presenta el mismo comportamiento a nivel superficial y a un metro de profundidad y mantiene una relación inversa con la concentración de oxígeno disuelto.
13. La incorporación continua de fósforo al sedimento permite su liberación como fósforo soluble que provee la demanda fotosintética y permite el desarrollo de comunidades algales que favorecen la alimentación de *Oreochromis niloticus*.
14. La cantidad de sólidos suspendidos guardó una relación inversa con la transparencia y se mantuvo entre 7.0 y 109.3 mg/l, sin representar ningún problema para los peces.
15. El carbono total disuelto logra un equilibrio y se mantuvo casi constante de enero a junio
16. La concentración del carbono orgánico particulado tiene una relación directa con la variación térmica y está regulada por la actividad fotosintética y bacteriana además de que es influenciada por el aporte continuo de la planta de tratamiento y el embalse previo.



17. La relación entre carbono total disuelto y carbono orgánico particulado va de 1:4 a 1:50, lo que sitúa al embalse como un sistema inestable e hipereutrófico.
18. La productividad primaria no presenta variación estacional definida y de acuerdo a ella es sistema se clasificaría como eutrófico en alto grado (Martínez, 1998)
19. La variación de clorofila "a" y pH coinciden, sus concentraciones son menores a las registradas para sistemas altamente productivos.
20. La mayor densidad fitoplanctónica se presentó con un florecimiento de *Chroococcus dispersus* que se sitúa como la especie dominante durante el estudio.
21. El fitoplancton estuvo representado en orden de importancia por las siguientes divisiones Cyanophyta, Bacillariophyta y Chlorophyta.
22. Las cianofíceas o cianobacterias estuvieron representadas por *Chroococcus dispersus*, *Oscillatoria sp.*, *Anabaena spiroides*, *Mycrocystis aeruginosa* y *Coccochloris sp.*
23. Las Bacillariofíceas están conformadas por los géneros *Cyclotella sp.* y *Nitzschia sp.*
24. El grupo de las Clorofíceas por *Ankistrodesmus sp.*, *Crucigenia sp.* y *Scenedesmus quadricauda*.
25. En el embalse se presenta una sucesión continua de microalgas en función de los cambios físicos y químicos del sistema. La mayor diversidad se presentó en mayo y junio.
26. Los mayores porcentajes de mortalidad se registraron en las jaulas con mayor densidad de peces cuando coincidieron condiciones de anoxia al amanecer, incremento en sólidos suspendidos y nitritos.
27. De acuerdo con los análisis estadísticos existe una relación significativa e inversa entre la densidad y el crecimiento de los peces en términos de peso, longitud total y altura.
28. La pendiente encontrada en la relación peso-longitud patrón para la población total y por jaulas indica un crecimiento isométrico de *Oreochromis niloticus*.
29. La tasa de crecimiento específica no mostró diferencias significativas en función de la densidad de los organismos en cada jaula
30. La tasa de crecimiento relativo alcanzó su mayor valor para la segunda etapa en el mes de mayo a consecuencia del incremento en la concentración de oxígeno disuelto, de temperatura y la diversidad fitoplanctónica.
31. El peso promedio obtenido para los organismos en 8 meses de cultivo fue de 145 g y 255.8 g para 14 meses de cultivo
32. El peso y la talla obtenidos en la tercera etapa, por los organismos en cultivo fue de 20 cm y 250 g; sin embargo la velocidad de crecimiento fue lenta, ya que la obtención de estas medidas, tardó de 4 a 6 meses más que otros cultivos reportados en la literatura (Moscoso, 2005) en las mismas condiciones.
33. Utilizando el factor de condición KM, se encontraron diferencias significativas en la robustez de los peces en función de la densidad.
34. La producción de biomasa obtenida fue mayor a las registradas por Guerrero (1980) o Pillay (1990) y menor que la de FAO, cultivos en los que se suministró alimento suplementario.
35. El análisis microbiológico para el NMP/100 mL registra las concentraciones más bajas de coliformes totales y fecales (20-20) para el músculo y las más altas (16000-3500) para el



- tracto digestivo. Valores que rebasan los límites establecidos en México para contaminación de alimentos frescos y agua.
36. El músculo fue el tejido menos contaminado microbiológicamente y de acuerdo a otros estudios, si se mantuviera en agua limpia de dos a tres semanas, sería posible que estuviera libre de coliformes fecales y fuera susceptible de utilizarse para consumo humano.
 37. El análisis de componentes principales indicó que la temperatura tiene la mayor influencia en el crecimiento en peso de los organismos, y que los niveles del amonio y de ortofosfatos definen el comportamiento trófico del embalse.
 38. Las lagunas de oxidación son sistemas altamente productivos susceptibles de ser usados en acuicultura para cultivo de peces y microalgas.
 39. El crecimiento de microalgas favorece el uso de los nutrimentos presentes en el embalse y lo transforma en alimento viable para los peces.
 40. El crecimiento de los peces fue más lento que en otros estudios, pero se alcanzaron tallas comerciales y representa una producción de biomasa viable, sin costo adicional, que utiliza un recurso disponible y poco aprovechado en México.
 41. La calidad microbiológica de los peces, impide su consumo directo. Sin embargo estos organismos son susceptibles de ser sometidos a un proceso de depuración en agua limpia durante 2 o 3 semanas, para ser utilizados como alimento de consumo directo, otra alternativa es secarlos a temperaturas altas, para eliminar las bacterias coliformes y procesarlos como harina de pescado.
 42. El cultivo de Tilapia en aguas tratadas es factible en México, sin embargo el poco interés en el aprovechamiento de las pozas de oxidación y el rechazo a los productos obtenidos en estos sistemas, no estimula las investigaciones acerca del tema, cuando en otros países como Perú, esto se ha convertido en una fuente de alimento, de ingresos y un amplio tema de investigación.

REFERENCIAS

- Abdel-Fattah M., El.Sayed. 2006. Tilapia culture. CABI Publishing. U.K. 277 pp.
- Abdulrahaman, A.K. 1996-1997. Food, size and condition of *Oreochromis niloticus* in Nigeria (Pisces: Cichlidae). Rev. Biol. Trop. 44/45: 655-658.
- Abella T. A., M. S. Palada y R.B. Bolívar L. J. Lester. 1986. Evaluation of the growth performance of *Oreochromis niloticus* progenies in Fresh ponds. En J. L. Mclean L.B. Dizon y L.V. Osillos (eds.) The first Asian Fisheries Forum. Asian Fisheries Society. Manila, Philippines. 19-20.
- Abella, T. A. and Batao, M. N. 1989. Broodstock exchange technique for maximum production of *Oreochromis niloticus* egg and fry in hapas. Huisman, E. A.; Zonneveld, N., and Bouwmans, A. H. M.Malang, Indonesia: International Fisheries Society; pp. 9-18.
- Abella, T. A. Guerrero III, R. D.; Guzman, D. L., and Lantican, C. M. 1987. Improved tilapia strains through broodstock development in the Philippines. Los Banos, Laguna, Philippines.: PCARRD, BFAR, SEAFDEC. pp. 3-7
- Abella, T. A.; Bolivar, R. B.; Mair, G. C., and Skibinski, D. O. F. 1993. Fluctuating assymetry in *Oreochromis niloticus* selected for growth rate. Dodson, J. J.; Soewardi, K.; Phang, V. P. E.; Enriquez, G. L.; Na-Nakorn, U., and Sukimin, S.Bogor, Indonesia: SEOMEIO BIOTROP (Southeast Asian Regional Centre for Tropical Biology); pp. 88-93.
- Abella, T. A.; Palada, M. S., and Newkirk, G. F.1990 Within family selection for growth rate with rotation mating in *Oreochromis niloticus*. Hirano, R. and Hanyu, I.Manila, Philippines: Asian Fisheries Society; pp. 515-518
- Abella, T. A.; Palada, M. S.; Bolivar, R. B., and Lester, J. L.1996. Evaluation of the growth performance of *Oreochromis niloticus* progenies in freshwater ponds. Maclean, J. L.; Dizon, L. B., and Hosillos, L. V.Manila, Philippines: Asian Fisheries Society; pp. 19-20.
- Alamoudi M., A.F.M. El-Sayed y A. Ghobashy. 1996. Effects of termal and thermoaline shocks on survival and osmotic concentration of the tilapias and hibrids. Journal of the World Aquaculture Society 27(4): 456-461.
- Allen, G.H. and Hepher. 1979. Recycling of wastes through aquaculture and constraints to wider application, p. 478-487. In T:V:R: Pillay and W:A: Dill)eds. Advances in aquaculture. Fishing News Books Ltd.,Fraham, Surres, England.
- Alonso M. 1984. Potencial productivo en embalses. Asistencia al desarrollo de la Acuicultura en Cuba.FAO. Roma. <http://www.fao.org/docrep/field/003/AC390S/AC390S00>.
- Alphenaar P. A., Perez C. and Lettinga C. 1993. The influence of substrate transport on porosity and methanogenic activity of anaerobic sludge granules. Appl. Microb.
- Alzate R., J. A. 1792. Estanques para pescado. La Naturaleza (1884) 6: 198-199.



- APHA AWWA and WPCF. 1989. Standard Methods for the Examination of Water Wastewater. 15 ed. American Public Health Association, Washington, 874 p.
- Arredondo F. J.L. y J. T. Ponce. 1998. Calidad del agua en Acuicultura. Conceptos y aplicaciones. AGT Editor. S.A. 222 p.
- Arredondo F. J.L. y M. Guzmán Arroyo. 1986. Actual situación taxonómica de las especies de la Tribu Tilapiini (Pisces:Chiclidae) introducidas en México. An Inst. Biól. UNAM: 56, Ser. Zool. (2): 555-572 pp.
- Arredondo, J. L. 1993.- Fertilización y Fertilizantes: su uso y manejo en la Acuicultura. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. México, D.F. 202 p.
- Arrignon Jacques. 1984. Ecología y piscicultura de Aguas Dulces. 2ª. Edición. Ediciones Mundiprensa. Madrid. 390 p.
- Bagenal, T.B. y H.W. Tesch, 1978. Age and growth. In: Ricker, W.E. (Ed.), *Methods for assessment of fish production in freshwaters*. 3a. ed. Blackwell Scientific Publications. Oxford: 101-136.
- Balarin D.J. 1979. Tilapia. A guide to their biology & culture in Africa. Unit of aquatic pathobiology. Universidad de Sterling.
- Barnabé G. coord. 1986. Bases biológicas y ecológicas de la acuicultura. Editorial Acribia. 519 p.
- Bartone, C. International perspective on water management and wastewater reuse-Appropriate Technologies. IAWPRC Biennial International Conference and Water Reuse Seminar, Kyoto, 29 July-3 August. 1990.
- Beveridge, M. 1987. Cage aquaculture. Fishing News books. Farnham. 352 pp.
- Bhowmik M. L. ,B. K. Pandey y U.K. Sarkar. 1994. Microflora present in wastewater aquaculture ponds and fishes. *Environment & Ecology* 12 (2): 419-423.
- Birriel I. 2006. Una estrategia para la conservación del maíz. ALAI, América Latina en Movimiento. <http://alainet.org/active/10320&lang=pt>
- Borowitzka M. A. y Borowitzka L. J. Editores. 1989. Micro-algal biotechnology. Cambridge University Press. 477 p.
- Boyd, E. 1979. Water quality in warmwater fish ponds. Auburn. Univ. U.S.A. 354 p.
- Bunting S.W. 2004. Wastewater aquaculture: perpetuating vulnerability or opportunity to enhance poor livelihoods? Institute of Aquaculture, University of Stirling, Stirling FK9 4LA, Scotland, UKg CAB International Aquatic Resources, Culture and Development 1(1), 51-75
- Bunting S. W. 2006. Confronting the realities of wastewater aquaculture in peri-urban Kolkata with bioeconomic modeling. Department of Biological Sciences, Centre for Environment and Society, niversity of Essex, Colchester. *Water Research* 41 (2007) 499 – 505
- Buras, N.; Duek, L.; Niv, S.; Hopher, B.; Sandbank, E.1980. Microbiological aspects of fish grown in
- Burns, R.P: and Stickney, R., 1980. Growth of *Tilapia aurea* in ponds receiving poultry wastes. *Aquaculture*, 20: 117-121.
- Castro L. 2011. Humedales una alternativa para tratar el agua residual.Rev. Ciencia Compartida. 1, 2. www.cienciacompartida.com.mx/node/45
- Cházari, E. 1984. Piscicultura en agua dulce. Reproducción facsimilar. Secretaría de Pesca. Miguel Ángel Porrúa Librero-Editor. México.



- Cifuentes-Lemus J., L. y F. G. Cupul-Magaña. 2002. Un vistazo a la historia de la pesca en México: Administración, legislación y esfuerzos para su investigación. Ciencia Ergo Sum, marzo, volumen 9, número uno, UAEM, Toluca, México pp.112-118
- Cointreau, S.; Bartone, C.; Moscoso, J.; Nava, H.; Mocetti, N. 1987. Aquaculture with treated wastewater: a status report on studies conducted in Lima, Perú. Technical Note 3, UNDP/World Bank, Washington D.C. USA.
- Córdova, C.A. 1994. Influencia de la intensidad y fotoperiodo con diferentes temperaturas en el crecimiento de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) en condiciones controladas de laboratorio. Tesis de licenciatura. F.E.S. Zaragoza U.N.A.M. 71 p.
- Das S K. 2006. Small-Scale Rural Aquaculture in Assam, India – A Case Study NAGA, WorldFish Center Quarterly Vol. 29 No. 1 & 2. 42-47.
- De Gortari, Elí, 1979, "La Ciencia en la Historia de México", Grijalbo, 446 p, México
- De la Lanza E.G. y J.L. García Calderón. 2002. Lagos y Presas de México. AGT EDITOR. S.A. México 680 p.
- Dodson, J. J.; Soewardi, K.; Phang, V. P. E.; Enriques, G. C.; Na-Nakon, U., and Sokimin, S. 1993. Fluctuating assymetry in *Oreochromis niloticus* selected for growth rate BIOTROP Spec.Publ.; pp. 87-93.
- Dorantes-Gómez, E. y M.B. Zavala-Montero, 2003. Estudio de la calidad de agua de tres cuerpos acuáticos en el Estado de Morelos. Tesis de licenciatura. F.E.S. Zaragoza UNAM, México, 92 p.
- Edwards P. and Sinchumpasak, O. 1981. The harvest of microalgae from the effluent of a sewage fed high rate stabilization pond by *Tilapia nilotica* Part 1: Description of the system and the study of the high rate pond. Aquaculture, 23: 83-105
- Edwards P., Sinchumpasak O. and Tabucanon M. 1981. The harvest of microalgae from the effluent of a sewage fed high rate stabilization pond by *Tilapia nilotica* Part 2: Studies of the fish ponds. Aquaculture, 23: 107-147
- Edwards, P. 1980. A review of recycling organic wastes into fish, whit emphasis on the tropics. Aquaculture, 21: 261-279
- Edwards, P. 1984. Aquaculture: A component of low cost sanitation technology. World Bank
- Edwards, P., Polprasert, C., Pacharaprakiti, C., Rajput, V.S. and Suthirawut, S. 1983. Compost a fish feed, a practical, applications of detritivory for the cultivation of tilapia. Aquaculture, 32: 409-413.
- El -S. Easa *et al.* (1995),
- El-Gohary. F., S. El Hawarry, S. Badr and Y. Rashed. 1995. Wastewater treatment and reuse for aquaculture. Wat.Sci.Tech. 32 (11) 127-136.
- El-Sayed A. F.M. 2006. Tilapia Culture. CABI Publishing. 277 p.
- El-Shafai S A, H. J. Gijzen, F. Nasr F. A .Fatma A.,El-Gohary'. 2004. Microbial quality of tilapia reared. Water Pollution Control Department, National Research Centre, El-Tahrir Street, Dokki, Egypt. Environmental Resources Department, UNESCO-IHE Institute for Water Education, PO Box 3015, 2601 DA, Delft, The Netherlands.



- Everhart W.H. y W.A. Youngs. 1981. Principles of fishery science. 2° ed. Cornell. Univ. Press. Nueva York. 349 p.
- Fagade S.O., 1974. Age determination in *Tilapia melanotheron* (Ruppell) in the Lagos Lagoon, Lagos, Nigeria, In: Bagenal, T.B. (Ed.) The Ageing of Fish, 71-77. Unwin Brothers Limited, Gran Bretaña.
- FAO, 2010. The State of World Fisheries and Aquaculture - FAO Fisheries and Aquaculture Department. Roma. Italia. 199 pp.
- FAO. 1997. Orientaciones técnicas para la pesca responsable. N° 2. Roma, Italia. 64 pp.
- Fattal B., A. Dotan, L. Parpari, Y. Tchorsh y V. J. Cabelli. 1993. Microbiological purification of fish grown in fecally contaminated comercial fish pond. *Water Sci. Tech.* Vol. 27, No 7 y 8 , 303-311. pp.
- Feachem R.G., D. J. Bradley, H. Garelick y D.D. Mara.1978. Health aspect of excreta and wastewater management : Review and analysis . *Aquaculture Reuse.* 11.3. The International Bank.
- Fitzsimmons K. 2000. *Tilapia* aquaculture in Mexico. Pp. 171–183 in B.A. Costa-Pierce and J.E. Rakocy, eds. *Tilapia Aquaculture in the Americas*, Vol. 2. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, United States.
- Flores M. O., 1994. Crecimiento de *Oreochromis niloticus* en estanques con diferente fertilización, en un clima templado. Tesis de licenciatura, F.E.S. Zaragoza UNAM. 56 p.
- Flores O., J.L. Guzmán, I.H. Salgado, B. Peña y J.L. Gómez, 2000. Algunos aspectos tróficos de *Oreochromis niloticus* (Peters, 1757) en la presa Emiliano Zapata, Morelos, México. Resúmenes VII Congreso Nacional de Ictiología, 21-24 de noviembre de 2000, Palacio de Minería, México: 343-345.
- Fortes, R. D. 1987. "Culture Studies on *Tilapia* sp. Under Saline Conditions at the Brackishwater Aquaculture Center," pp. 21-33. In: Guerrero, R. D., D. L. Guzman and C. M. Lantican (eds.). *Tilapia Farming*. PCARRD, Los Baños, Laguna. 68
- Fraille H.,E. Orive y J. Pozo. 1995. Evaluación del estado trófico y comparación de modelos relativos al fósforo en los embalses de Cernadilla y Valparaíso (Río Tera, Zamora). *Limnética*, 11 (2): 29-37 . Asociación Española de Limnología, Madrid. España.
- Gajardo G. and L. Laikre. 2003. Chilean aquaculture boom is based on exotic salmon resources: a conservation paradox. *Conservation Biology* 17: 1173-1174.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 3ª Edición, Offset Larios, S.A., México, 252 p.
- García, E.1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 243 p.
- Garduño, M. y J. Avelar, 1996. Edad y crecimiento de la mojarra *Oreochromis niloticus* en la laguna de Coatetelco, Morelos. Tesis de licenciatura, F.E.S. Zaragoza U.N.A.M. México, 71 p.
- Gómez M. J. L. 1998. Age and growth of *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae) in México. *Rev. Biol.Trop.* 46 (4) 929-936.
- Gómez M.J.I. 2002. Estudio limnológico del lago de Coatetelco, Morelos, México. Tesis doctoral Facultad de Ciencias. UNAM. 181 p.



- Gray N.F.1989. 3. Choice of Tilapia species for aquaculture. ICLARM Contribution. N° 140. Biology of Wastewater treatment. Oxford University Press. USA
- Green. B. W., R. P. Phelps y H.R. Alvarenga.1989. The effect of manures and chemical Fertilizers on the production of *Oreochromis niloticus* in Earthen Ponds. *Aquaculture* 76: 37-42.
- Grizzle J.M.,S.A. Hoorowitz y D.R. Strenght. 1988. Caged fish as monitors of pollution: Effects of Chlorinated effluent from a wastewater treatment plant. *Water Resources Bulletin*. 24 (5): 951-959.
- Guerra H. E. y Peña M. B. 1985. Estudio del crecimiento *Oreochromis urolepis hornorum* (Trewavas, 1980) en relación a las condiciones limnológicas del embalse permanente "Michapa", Edo. De Morelos, Tesis licenciatura. ENEP Zaragoza. UNAM. México. 70 pp.
- Guerrero III R. D. 1980. Studies on the feeding of *Tilapia nilotica* in floating cages. *Aquaculture* 20: 169-175.
- Guzmán U.A., 1994. Parámetros biológicos de tilapia (*Oreochromis aureus* Steindachner, 1864) de la presa Adolfo López Mateos "El infiernillo" Michoacán-Guerrero, México. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 33 p.
- Hammer M.J. 1977. *Water and Wastewater Technology*. SI version. John Wiley & Sons.
- Harrison, Peter y B.L. Turner (eds.) 1978 *Prehispanic maya agriculture*, University of New Mexico Press, Albuquerque
- Hepher B. y G.L. Shroeder. 1977. Wastewater utilization in Israel aquaculture. In D'Itri. Ed. *Wastewater renovation and reuse*. Marcel Dekker. Nueva York y Basilea: 529-560 p.
- Hepher B. y Y. Pruginin. 1985. *Cultivo de peces comerciales*. Limusa.316 p.
- Hernández A. S. 1987. Evaluación de la tasa de crecimiento y robustez de la mojarra africana, carpa plateada y carpa cabezona en un sistema de policultivo extensivo en el estanque temporal Chavarría, en el estado de Morelos. Tesis de Licenciatura. ENEP Zaragoza, UNAM. México 94 pp.
- Herrera-Peña, J., 1981. *La acuicultura en México (Historia y legislación)*. Departamento de Pesca. México.
- Hillboe H. E. (Comisionado). 1980. *Manual de tratamiento de aguas negras*. Departamento de Sanidad del estado de Nueva York. Ed. Limusa, México.
- Huerta B. B. y J.G. Navarro, 2001. Evaluación del cultivo de mojarra (*Oreochromis niloticus*) en jaulas flotantes en la laguna de Meztlán, Edo. de Hidalgo. Tesis de licenciatura, F.E.S. Zaragoza UNAM, México, 61 p.
- Huipé R. A., F. Bernal. 2009. Manejo de microembalses para el cultivo extensivo de carpa común (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) en la región de Zacapu, Michoacán, México
- Hutchinson G.E. 1957. *A Treatise on limnology*. John Wiley & Sons. Nueva York, 1015 p.
- International Committee of Microbiological Specifications for Food (ICMSF). 1983.. Técnicas de análisis n fecal-contaminated ponds *Environmental Research*. Volume 95, 2, 231-238 pp.



- Jansson M. 1988. Phosphate uptake and utilization by bacteria and algae. *Hydrobiologia* 170. Uppsala, Suiza 177- 189 pp.
- Jaramillo-Salazar, G. y A. Sánchez-Vázquez, 1991. Evaluación del crecimiento de la carpa barrigona (*Cyprinus carpio rubrofuscus*) y tilapia (*Oreochromis urolepis hornorum*) bajo condiciones de policultivo en el bordo de temporal "Chavarría", en el Mpio. De Coatlán, Edo. de Morelos. De junio de 1989 a enero de 1990. Tesis de licenciatura, E.N.E.P. Zaragoza UNAM, México, 87 p.
- Jhingran V. G. 1974. A critics appraisal of water problem in India in relation to aquaculture. Proc. FAO Indo-Pacífico Fish Council 15: 45-50.
- Kindzierski W.B. y S Gabos. 1995. Health effects associated with wastewater treatment, disposal and reuse. *Wat. Env. Res.* 67 (4): 749-753
- Lagler, F.K., 1956. *Freshwater Fishery Biology*. Wm. C. Brown Co. Pub., E.U.A. 421 p.
- Lara V. M. A. Y J.L. Moreno. 1996. *Fitoplancton. Conceptos básicos y técnicas de laboratorio*. Universidad Autónoma Metropolitana. 227 p.
- Lewis W.M. Jr 1983. A revised classification of lakes based on mixing. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40: 1779-1787.
- Lind, O. T. 1985. *Handbook of common methods in limnology*. Second edition. Kendall, Hunt Publishing Company. U.S.A. 199 p.
- Mackereth H.F.J., J. Heron y F. Talling. 1987. *Water Analysis; Some revised methods for Limnologist*. Second impression. Freshwater Biological Association. Scientific Publication N° 36. 121 p.
- Margalef, R. 1983. *Limnología*. Ediciones Omega.España. 954 p.
- Marques de Cantú, M.J. 1991. *Probabilidad y Estadística para Ciencias Químico Biológicas*. McGraw-Hill, México. 657 p.
- Martínez C. L. 1998. *Ecología de los Sistemas Acuícolas*. AGT Editor S.A. 227 p.
- Mc Andrew B.J. and K.C. Majumdar. 1989. Growth Studies on juvenile tilapia using pure species, hormone-treated and nine interspecific hybrids. *Aquaculture and Fisheries management*. 20: 35-47
- Mc Larney W. 1987. *The Freshwater Aquaculture book. A handbook for small scale fish culture in North America*. Hartley&Marks, Publishers. Washington, USA. 583 p
- Medina G.M. 1979. El factor de condición múltiple KM y su importancia en el manejo de la carpa de Israel. *Manuales técnicos de acuicultura*. Depto. de Pesca, México 1 (1):34
- Metcalf & Eddy, INC. 1981. *Wastewater Engineering. Treatment, disposal and reuse*. Third edition. McGraw-Hill. U.S.A 1334 p.
- Mishra B. K., A. K.Sahu y K. C. 1988. Pani. Recycling of the aquatic weed, water hyacinth, and animal wastes in the rearing of Indian Major Carps. *Aquaculture* 68: 59-64.
- Morales D. A., 1991. *La tilapia en México biología, cultivo y pesquería de pesca*. AGT Editor S.A., México. 190 p.
- Morales, B.E. 1992. Evaluación de algunos aspectos biológico-pesqueros de la tilapia *Oreochromis aureus* (Steindachner, 1864) en la presa Vicente Guerrero, Las djuntas, Tamaulipas. Tesis de



Licenciatura, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 28 p.

Morales, D.A. 1974. El cultivo de la Tilapia en México. Datos biológicos. Instituto Nacional de la Pesca.

Moriarty, D. W. 1973. The physiology of digestion of blue green algae in the cichlid fish *Tilapia nilotica*. *Journal Zoology* 171: 25-40.

Morris D., Lewis W. 1992. Nutrient limitation of bacterial plankton growth in Lake Dillon, Colorado. *Limnol-Oceanogr* 37(6): 1179-1192 pp.

Moscoso J. 2005. Uso de las aguas residuales tratadas en las lagunas de estabilización de San Juan, Lima, Perú. CEPIS

Moscoso C.J. 2002. Acuicultura con aguas residuales tratadas en las Lagunas de Estabilización de San Juan, Lima, Perú. CEPIS

Moscoso J. y Florez. 1999. A. Reuso en Acuicultura de las aguas residuales tratadas en las Lagunas de Estabilización de San Juan – Resumen Ejecutivo. CEPIS-PAHO, Lima, Perú.

Moscoso, J. Egocheaga, L y León, G. 1995. Modelo para la formulación y evaluación económica y financiera de Sistemas Integrados de Tratamiento de aguas residuales y Acuicultura. CEPIS-PAHO, Lima, Perú.

Moscoso, J. y Nava, H.L. 1988. Reuse of treated ponds effluents for fishculture in Lima, Peru. *International Seminar on wastewater reclamation and reuse for aquaculture, Calcutta, 6-9 December*

Muthuswamy S.S., C.J.Basha, V.S. Govindan y B.B. Sundersan. 1978. Fish polyculture in sewage effluent ponds. *Indian J. Environ.Hlth.* 20: 219-223.

Needham J.G. 1978. Guía para el estudio de los seres vivos en las aguas dulces. Reverté. Madrid. 131 p.

Nikolsky, G.V. 1963. The ecology of fishes. Academic Press. Nueva York, 352 p.

Nisbet, M. & Verneaux, J. 1970. Composantes chimiques des eaux courantes. Discussion et proposition de lasses en tant que bases d'interpretation des analyses chimiques. *Ann. Limnol.*, 6: 161 - 190.

Oduleye S. O. 1982. Growth and Growth regulation in the cichlids. *Aquaculture* 27: 301-306.

Odum E. P. 1980. Ecología. Interamericana México. 639 p.

OECD. 1982. Eutrophication of waters: monitoring, assessment and control. Final Report, OECD . Organisation for Economic Cooperation and Development. Cooperative Program on Monitoring of Inland Waters. Eutrophication Control.

Othaz B., M.A., Agúndez, J.P. , Gil, M. I. Labollita, H. A. 2010. Congreso argentino de presas y aprovechamientos hidroeléctricos. Tema 4 Aspectos Socioeconómicos y medioambientales. Control de floraciones algales en los embalses de la cuenca del Río negro. Buenos Aires, Argentina.

Palacios S.S.E., 1995. Estudio biológico pesquero de la tilapia *Oreochromis aureus* (Steindachner, 1864) en la presa Adolfo López Mateos (El Infiernillo), Michoacán-Guerrero, México, Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias UNAM, 81 p.

Parsons, T.R., Y. Maita and C. M. Lalli. 1984. *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*. Pergamon Press. Great Britain. 173 p.



- Pauly, D., Hopkins, K. D. 1984. A method for the analysis of ponds growth experiments. ICLARM
- Pauly, D.; Moreau, J.; Prein, M. 1988. A comparison of overall growth performance of tilapia in open water. In Pullin, R., T. Bhukaswan, K. Tonguthai and J. Maclean (Eds.). The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conference Proceedings 15. 469-480 pp. Department of Fisheries, Bangkok, Thailand, and International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines.
- Peña M. B. y R. Domínguez C., 1999. The effects of different photoperiods on body growth, gonadal growth and hypothalamic monoamina content in juvenile *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1757). *Hidrobiológica* 9(1): 63-70.
- Pérez J. E. 1996. Mejoramiento genético en acuicultura. Editorial Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. 178 pp. [[Links](#)]
- Pérez J.E., C. Alfonsi, M. Nirchio, C. Muñoz and L.A. Gómez. 2003. The Introduction of exotic species in aquaculture: a solution or part of the problem. *Interciencia* 28: 234-238. [[Links](#)]
- Pérez J.E., M. Nirchio and J.A. Gómez. 2000. Aquaculture: part of the problem, not a solution. *Nature* 408: 514. [[Links](#)]
- Pérez O. G. y J. Patlani S., 2002. Edad y crecimiento de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) de la presa "Emiliano Zapata". Morelos. Tesis de licenciatura. F.E.S. Zaragoza UNAM, México, 87 p.
- Peri-urban Kolkata with bioeconomic modeling. Department of Biological Sciences, Centre for Environment and Society, University of Essex, Colchester. *Water Research* 41 (2007) 499 – 505. Available at www.sciencedirect.com .journal homepage: www.elsevier.com/locate/watres
- Pillay T.V. R. 1992. Aquaculture. Principles and practices. Fishing news Books. 574 p.
- Poot-Delgado C., 2009. R. A. Novelo-Salazar y M. F. Hernández-Hernández. ABC, en el cultivo integral de la Tilapia. Centro de Estudios Tecnológicos del Mar 02. Fundación Produce Campeche, A. C. Derechos Reservados.
- Porrás D. 1981. Estudio preliminar para la evaluación de charcas temporales. *Rev. Lat. Acuicultura* Vol 8.
- Prescott G. W. 1984. The Algae: A review. Bishen Shingh Mahendra Pal Singh y Otto Koeltz Science Publishers. Gran Bretaña. 436 p.
- Pretto R. 1980. Aprovechamiento de las aguas y excretas de la explotación porcina para el cultivo de peces en Panamá. *Rev. Lat. Acui.* Lima, Perú. 3 (1): 29-33
- Quines O.D., R.B. Vargas y V.M. Ibarra. 1986. Fecal coliforms as Index of pollution in an integrated Pig-Fish Farm System. In J.L. Maclean , L.B. Dizon y L.V. Hosillos. The First Asian Fisheries Forum. Asian Fisheries Society. Manila, Filipinas. 727 p.
- Quiroz H., García. J., Molina F. I., Díaz M. y Trujillo J. 2010. Condiciones abióticas de la presa "El Abrevadero", utilizada para el cultivo extensivo de *Oreochromis niloticus* en Morelos, México. *REDVET. Revista electrónica de Veterinaria* 1695-7504. Volumen 11 Número 07. <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070710.html>
- Rajan, M.R. and S. P. Raj. 1994. Sewage Recycling trough fish culture. *Environment & Ecology* 12 (2): 247-251.
- Ramnarine I.W. 2008. Intensive Mixed-Sex Culture of Nile Tilapia. 8th International Symposium on Tilapia in Aquaculture. University of the West Indies, St Augustine, Trinidad and Tobago



- Ramos C. S. 1995. Reproducción y crecimiento de la mojarra tilapia (*Oreochromis aureus*) en la presa Benito Juárez, Oaxaca, México, en 1993. INP-SEMARNAP. México. Ciencia Pesquera No. 11: 54 – 61.
- Ricker W.E., 1992. Back-calculation of fish lengths based on proportionality between scale and length measurement. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 49: 1018-1026.
- Ricker W.E., 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Department of Fisheries and Marine Service, Ottawa. Bulletin of Fisheries Research Board of Canada, 191: 382 p.
- Romero R.J.A., 2005, Lagunas de estabilización de aguas residuales. Escuela Colombiana de Ingeniería 300 p.p.
- Ruibal, A.L., M.I. Rodríguez., C.M. Angelaccio. 2005. Ocurrencia de cyanobacterias y sus toxinas (microcistinas) en aguas del Río de la Plata: Evaluación rápida usando el ensayo
- Saavedra, M. A. 2006. Manejo del Cultivo de Tilapia. Carrera Ingeniería Industrial. Departamento de Tecnología y Arquitectura. Facultad de Ciencia, Tecnología y Ambiente. Universidad Centroamericana. Managua, Nicaragua.
- Sáenz, R. Predicción de la calidad del efluente en lagunas de estabilización. CEPIS/HPE/OPS/OMS. Lima, Perú. 1987.
- Saha S.B. 1994. Observation on some aspects of culture of *Oreochromis niloticus* in sewage-treated water. Bangladesh J. Zool. 22 (1): 117-119
- Salgado U.I.H. 1992. Análisis exploratorio de datos biológicos. Marc Ediciones ENEP Zaragoza. UNAM. 243 p.
- Santiago L. M. y J. Jardón. 1997. Determinación de la edad, crecimiento y hábitos alimenticios de cuatro especies de cíclidos de importancia pesquera en la presa “Cerro de Oro”, Tuxtepec, Oaxaca. Tesis de licenciatura, F.E.S. Zaragoza, UNAM, México, 68 p.
- Schroeder G L. 1978. Autotrophic and heterothrophic production of microorganisms in intensely manures fish ponds, and related fish fields. Aquaculture 14: 303-325.
- Schroeder, G.L. 1974. Use of fluid cowshed manure in fish ponds. Bamidgeh 26: 84 – 96.
- SEDUE. 1989. Acuerdo que establece los Criterios <ecológicos de Calidad del agua. CE-CCA-001/89.
- SEMARNAP, 2000. Anuario Estadístico de Pesca 1999. Instituto Nacional de la Pesca, México, 271 p.
- SEMARNAP. 2003. Discurso del titular en el Marco del III Foro Mundial del Agua. Marzo.
- Shereif M.M., M. El-S. Easa, M.I. El-Samra and K.H. Mancy. 1995. A demonstration of wastewater treatment for reuse applications in fish production and irrigation in Suez, Egypt. Wat.Sci.Tech. 32 (11): 133-144
- Shereif M.M., y K. H. Mancy. 1995. Organochlorine pesticides and heavy metals in fish reared in treated sewage effluents and fish grown in farms using polluted surface waters in Egypt. Wat. Sci. Tech. Vol 32, 11: 153-161.
- Sherwood C.R., E.J. Middlebrooks y R.W. Crites. 1988. natural systems for waste management and treatment. Mc Graw-Hill Book Co. U.S.A.
- Shwoerbel, J. 1975. Métodos de Hidrobiología. Ed. Blume. Madrid. 228 p.



- Sierra de la R. J., X. Martínez, M. Mendoza. 2009. Evaluación del cultivo de Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) y Tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en diferentes sistemas intensivos de granjas camaroneras como alternativa productiva del sector camaronicultor colombiano. CENIACUA. COLCIENCIAS.
- Smith D. W. Wastewater treatment with complementary filter feeders: A new method to control excessive suspended solids and nutrients in stabilization ponds. *Wat. Env. Res.* 65 (5): 650-654.
- Snoeyink V. y D. Jenkins. 1990. *Química del Agua*. Limusa-Noriega. 508 p.
- Soto D.F., F. Jara and C. Moreno. 2001. Escaped salmon in the Chiloé and Aysen inner seas, southern Chile: facing ecological and social conflicts. *Ecological Applications* 11: 1750-1762. [[Links](#)]
- Stickney R.R. 1993. Tilapia. En: Stickney RR (ed) *Culture of non-salmonid freshwater fishes*: 81-115. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.]
- Stickney, R.R., Hesby, J.H., McGeachin, R.B. and Isabell, W.A. 1979. Growth of *Tilapia nilotica* in ponds with differing histories of organic fertilization. *Aquaculture* 17: 189 – 194.
- Strickland, J.D.H. y T. R. Parsons. 1979. *A practical handbook of seawater analysis*. Fisheries Research Board of Canada. 2 ed. Ottawa. 310 p.
- Talling J.F. and I.B. Talling, 1965. The chemical composition of African lake waters, *Internat. Rev. ges. Hydrobiol.* 50 .pp. 421–463.
- Talling J. F. 1966. *Internat. Rev. ges. Hydrobiologia* 51(4): 545-621.
- Talling, J. F., Wood, R. B., Prosser, M. V. and Baxter, R. M. 1973, The upper limit of photosynthetic productivity by phytoplankton: evidence from Ethiopian soda lakes. *Freshwater Biology*, 3: 53–76. doi: 10.1111/j.1365-2427.
- TED (Trade and Environment Database). 2001. Tilapia and the environment. www.american.edu/ted/TILAPIA.HTM [[Links](#)]
- Torres-Orozco Bermeo, R., 1991. *Los peces de México*. AGT Editor, S.A, México: 1988 p.
- Trewavas, E. 1983. Tilapiine fishes of the genera *Sarotherodon*, *Oreochromis* and *Danakilia*. British Museum of Natural History, Londres, 583 p.
- Turker H. 2004. Clearance rates of suspended particulate organic carbon by Nile Tilapia with a dual pattern of filter feeding. *The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh* 56 (1):29-34.
- Turker, H., A . G. Eversole, D. E Brune 2003. Effect of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), size on phytoplankton filtration rate. *Aquaculture Research*. Volume 34, Issue 12, pages 1087–1091,
- Turner J., W.D., R.R. Sibbald y J. Hemens. 1986. Chlorinated secondary domestic sewage effluent as a fertilizer for marine aquaculture III. Assessment of Bacterial and Viral quality and accumulation of heavy metals and chlorinated pesticides in cultured fish and prawns. Elsevier Science Publishers. *Aquaculture* 53, Amsterdam, Holanda. 157 – 168 pp.
- Van den Heever D.J. y B.J. Frey. 1994. Microbiological quality of the catfish (*Clarias gariepinus*) kept in treated wastewater and natural dam water. *Water SA* 20 (2): 113-118.
- Vega F., M. Cortés, L. Zúñiga, B. Jaime, J. Galindo, M. Nolasco. 2010. Cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) a pequeña escala ¿alternativa alimentaria para familias rurales y periurbanas de México.



REDVET. Revista electrónica de Veterinaria 1695-7504. 2010 Volumen 11 Número 03
<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n040410.html>

- Vollenweider R. 1968. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. OECD. Tech Report N° DAS/CSI/68.27,12..
- Weatherley, R.G. y H.S.Gill, 1987. The biology of fish growth. Academic Press. London. 443 p.
- Wedmwyer. G. A. 1996. Physiology of Fish in Intensive Culture Systems. Champan & may. USA. 232 p.
- Wetzel, R. G. 1979. Limnological Analysis. Saunders Company. Philadelphia. 357 p.
- Wetzel, R. G. 1981. Limnología. Ed. Omega. Barcelona. 679 p.
- Wetzel, R.G. 2001. Limnology: Lake and River Ecosystems. Third Edition. Academic Press.
- Whitney, R.R. y K.D. Carlander, 1956. Interpretation of body-scale regression for computing body length of fish. Journal of Wildlife Management 20(1): 21-27.
- WHO. 2006. Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater . Volume 3. Wastewater and excreta use in aquaculture. World Health Organization.
- Winkler, M. A. 1986. *Tratamiento biológico de aguas de desecho*. Limusa. México. 338 p.
- Wohlfarth G. W., Shmuel Rothbard, Il. Karplus, Sh. Harpaz y A. Halevy. 1994. The association between initial weight and growth in Tilapias during communal testing.. I. Pond Testing. The Israeli Journal of Aquaculture – Bamidgeh 46 (2) 83-88.
- Wong M. H. y F.Y. Tam. 1984. Sewage sludge for cultivating freshwater algae and the fate of heavy metals at higher trophic organisms. III Sludge grown algae as feeding materials for shrimps and carps. Arch. Hydrobiol. 100 (3): 385-394.
- Yáñez, F. Evaluation of The San Juan Stabilization Ponds. Final Research Report of The first Phase. Pan American Center for Sanitary Engineering and Enviromental Sciences and International Development Research Center of Canada, Lima. 1980.
- Yi Y., C K. Lin y J.S. Diana. 1996. Influence of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* stocking density on their growth and yield in cages and ponds containing the cages Aquqculture. 146: 205-215.
- Yi Y.C., K. Lin, J. S. Diana. 2003. Hybrid catfish (*Clarias macrocephalus*×*C. gariepinus*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture in an integrated pen-cum-pond system: growth performance and nutrient budgets. *Aquaculture, Volume 217, 1-4, 395-408 pp.*

ANEXO 1.

VARIACION DIURNA DE LA TEMPERATURA DEL AGUA									
HORA		NOV.	DIC.	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
6.00	SUP.	23.0	23.0	21.0	21.0	27.0	28.0	28.0	30.0
	FONDO.	25.0	22.5	21.0	21.5	26.0	27.0	27.0	30.0
10.00	SUP.	26.0	24.0	21.0	23.0	27.0	29.0	29.0	32.0
	FONDO.	26.5	23.5	20.0	23.0	28.5	30.5	29.5	31.2
12.00	SUP.	28.0	25.0	21.0	26.8	28.5	30.5	31.5	34.0
	FONDO.	26.0	23.5	20.0	24.0	28.0	32.8	30.0	32.5
16.00	SUP.	28.5	24.0	21.0	29.0	30.0	32.5	31.5	34.8
	FONDO.	25.5	24.0	21.0	22.8	28.8	29.5	29.5	34.5
20.00	SUP.	26.0	23.0	20.5	24.5	28.5	29.5	29.0	32.5
	FONDO.	23.2	23.0	19.8	21.5	27.0	29.0	28.0	31.5
24.00	SUP.	25.2	23.0	19.8	23.0	27.0	28.5	28.0	31.8
	FONDO.	25.1	22.0	18.7	22.0	26.0	27.8	26.5	31.0

VARIACIÓN DIURNA DE pH									
HORA		NOV.	DIC.	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
6.00	SUP.	8.83	7.65	7.84	9.17	8.68	8.64	8.38	8.16
	FONDO.	9.03	7.56	7.83	9.28	8.72	8.73	8.36	8.25
10.00	SUP.	9.27	7.90	8.38	9.21	8.99	9.19	8.98	9.15
	FONDO.	9.58	7.80	8.32	8.94	8.93	8.36	8.67	8.79
12.00	SUP.	9.54	8.24	8.61	9.46	9.31	9.34	9.60	9.33
	FONDO.	9.32	7.90	7.85	8.98	7.93	8.56	9.23	8.68
16.00	SUP.	9.72	8.16	8.64	9.86	9.17	9.71	9.34	9.61
	FONDO.	9.22	8.10	8.01	8.89	8.91	8.91	8.60	8.41
20.00	SUP.	9.66	9.40	8.26	9.69	9.05	9.12	9.31	9.14
	FONDO.	9.22	9.29	7.89	8.37	7.68	8.94	8.46	7.85
24.00	SUP.	9.19	9.60	7.80	7.47	6.46	8.88	8.94	8.35
	FONDO.	9.00	9.66	7.83	7.62	7.36	8.18	9.03	8.49

VARIACION DIURNA DE OXIGENO DISUELTO									
HORA		NOV.	DIC.	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
6.00	SUP.	2.68	1.91	4.21	6.40	6.60	0.40	3.20	1.43
	FONDO.	2.30	1.53	4.60	5.55	4.20	0.40	3.20	1.43
10.00	SUP.	4.60	1.91	4.60	6.40	5.00	6.20	8.30	10.40
	FONDO.	4.10	1.53	2.30	5.55	3.28	0.80	4.20	5.00
12.00	SUP.	6.71	4.98	5.20	10.35	5.60	10.60	14.40	6.40
	FONDO.	4.10	1.53	2.30	5.55	3.28	0.80	4.20	5.00
16.00	SUP.	18.01	6.90	6.59	12.84	9.80	11.20	20.30	17.50
	FONDO.	8.43	5.36	3.14	5.18	6.20	2.70	10.40	8.80
20.00	SUP.	8.24	3.83	4.80	9.20	6.90	7.70	9.50	10.40
	FONDO.	6.20	3.26	2.50	6.90	5.80	3.90	7.60	6.60
24.00	SUP.	3.83	3.45	4.00	8.24	6.20	5.00	9.50	5.20
	FONDO.	2.50	3.06	2.10	6.32	5.40	4.00	8.50	5.00



VARIACION DIURNA DE ALCALINIDAD									
HORA		NOV.	DIC.	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
6.00	SUP.	122.60	215.80	231.03	233.20	257.50	269.80	208.50	210.90
	FONDO.	161.90	235.40	252.70	223.50	245.20	294.30	188.90	198.60
10.00	SUP.	171.70	196.20	276.80	242.90	245.30	269.80	220.70	186.40
	FONDO.	171.70	215.80	255.10	233.20	233.00	220.70	220.70	186.40
12.00	SUP.	142.20	245.20	252.80	233.20	220.70	220.70	220.70	196.20
	FONDO.	184.50	225.60	245.50	223.50	196.20	220.70	98.10	161.90
16.00	SUP.	107.90	196.20	245.50	204.10	245.30	233.00	196.20	147.10
	FONDO.	176.60	206.00	240.70	223.50	233.00	196.20	147.10	171.70
20.00	SUP.	132.40	215.80	240.70	223.50	245.30	245.30	220.70	186.40
	FONDO.	201.10	215.80	240.70	218.60	208.50	220.70	245.20	183.90
24.00	SUP.	147.50	186.40	252.70	194.30	171.70	233.00	208.40	198.60
	FONDO.	157.00	196.20	252.70	174.90	196.20	208.50	196.20	186.40

VARIACION DIURNA DEL AMONIO									
HORA		DIC.	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	
6.00	SUP.	2800	21700	6778	11320	9916	7633	5232	
	FONDO.	5740	21000	5317	10089	10597	6465	6140	
10.00	SUP.	8680	19600	7670	7698	8098	5816	2441	
	FONDO.	15400	23800	5723	7222	10294	5361	6616	
12.00	SUP.	4900	19600	2938	9278	8000	3696	4063	
	FONDO.	1820	16100	4939	7417	11279	5210	1164	
16.00	SUP.	8680	18200	5101	7839	7417	1976	3003	
	FONDO.	5600	17920	4939	8228	9342	4063	4810	
20.00	SUP.	7000	17500	4858	7449	8986	5870	3782	
	FONDO.	6440	16800	4993	8185	8380	4128	4810	
24.00	SUP.		18200	4182	6817	13388	3879	5383	
	FONDO.		16800	6534	7915	11538	3696	6097	

VARIACION DIURNA DE NITRITOS									
HORA		NOV.	DIC.	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
6.00	SUP.	226.00	75.90	47.60	691.50	358.50	985.90	651.20	660.80
	FONDO.	323.00	67.30	62.90	696.10	377.90	768.00	623.80	605.90
10.00	SUP.	399.00	73.20	59.20	623.50	670.60	952.00	901.10	63.30
	FONDO.	375.00	62.30	44.20	588.80	338.10	830.30	655.10	522.80
12.00	SUP.	177.00	68.50	47.60	671.40	457.30	837.40	698.20	134.00
	FONDO.	339.00	73.80	44.80	696.10	349.40	796.50	732.50	529.80
16.00	SUP.	192.00	102.90	62.33	664.30	456.30	835.70	590.20	505.80
	FONDO.	341.00	74.50	46.10	581.30	564.60	870.70	467.70	606.30
20.00	SUP.	404.00	120.50	50.00	709.50	778.70	948.80	680.10	88.90
	FONDO.	380.00	134.90	46.40	662.60	349.60	848.20	573.00	628.80
24.00	SUP.	442.00	137.90	41.00	764.10	785.70	888.60	662.90	640.70
	FONDO.	451.00	121.70	49.70	660.80	385.80	875.70	647.80	631.60

VARIACION DIURNA DE NITRATOS									
HORA		NOV.	DIC.	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
6.00	SUP.	294.00	30.20	107.70	435.30	0.00	58.50	700.00	0.00
	FONDO.	193.90	47.10	54.60	503.00	499.40	90.70	663.60	363.50
10.00	SUP.	123.20	34.90	36.00	459.60	0.00	0.00	344.10	853.20
	FONDO.	138.30	34.61	24.30	478.10	245.80	38.80	626.30	389.50
12.00	SUP.	219.10	53.70	30.60	502.13	536.80	0.00	582.10	537.10
	FONDO.	57.50	64.70	0.00	459.00	421.50	17.76	562.00	416.80
16.00	SUP.	29.70	63.80	27.30	540.90	0.00	0.00	558.20	403.20
	FONDO.	64.30	75.32	16.80	423.60	70.13	0.00	589.20	11.20
20.00	SUP.	93.50	46.20	26.40	610.30	0.00	0.00	420.90	801.90
	FONDO.	60.60	41.80	16.50	485.20	270.90	34.40	567.20	155.90
24.00	SUP.	73.70	79.00	24.20	266.70	354.30	0.00	713.60	141.90
	FONDO.	86.60	86.12	17.30	542.00	0.00	0.00	614.40	125.30



VARIACION DIURNA DE ORTOFOSFATOS									
HORA		NOV.	DIC.	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
6.00	SUP.	234.8	359.9	3251.5	1541.7	3394.2	4881.8	4147.3	3985.0
	FONDO.	211.6	394.9	3179.5	844.0	2854.0	3994.0	3210.0	3112.0
10.00	SUP.	200.3	201.7	3293.4	1523.6	3128.0	3568.7	3790.2	3145.0
	FONDO.	265.1	405.7	2788.8	1429.9	3668.0	4244.0	3394.2	3361.0
12.00	SUP.	21.7	261.9	2952.5	1377.3	2574.0	4102.0	2712.5	2513.0
	FONDO.	266.6	245.3	2258.2	1425.5	3145.0	4351.0	4220.0	3513.0
16.00	SUP.	58.7	326.0	3366.3	505.6	3377.0	1089.0	1278.3	1600.0
	FONDO.	227.5	271.3	2586.5	1736.3	3547.0	3804.0	3193.8	3047.0
20.00	SUP.	117.3	373.8	2956.1	793.5	2246.0	2583.0	2245.0	2173.0
	FONDO.	237.8	422.0	3270.5	1807.7	3562.0	3685.8	1652.2	3361.0
24.00	SUP.	197.5	522.6	2763.7	1157.7	3194.0	4816.2	1486.0	3112.0
	FONDO.	213.0	379.0	2625.1	2507.0	2202.0	3284.8	1989.2	2589.0

VARIACION DIURNA DE SOLIDOS SUSPENDIDOS									
HORA		NOV.	DIC.	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
6.00	SUP.	61.00	20.50	54.00	71.50	14.00	24.50	6.00	7.50
	FONDO.	56.00	27.50	36.80	55.00	24.50	30.00	13.00	8.30
10.00	SUP.	76.50	54.00	35.80	62.00	18.00	31.50	24.00	9.30
	FONDO.	68.80	50.50	40.40	58.00	29.50	23.50	31.50	10.70
12.00	SUP.	96.50	62.00	98.00	65.00	30.50	32.50	40.00	11.80
	FONDO.	75.50	49.50	67.20	81.50	39.00	24.50	23.00	9.90
16.00	SUP.	55.50	76.50	39.60	88.50	11.50	58.00	32.50	10.90
	FONDO.	87.00	69.00	38.40	55.50	19.50	27.00	47.00	7.30
20.00	SUP.	53.30	69.00	44.80	101.00	11.00	32.50	22.00	8.30
	FONDO.	48.00	80.50	48.80	60.00	20.00	43.00	27.60	11.70
24.00	SUP.	71.50	90.00	22.00	78.50	17.00	18.50	7.00	10.60
	FONDO.	109.30	11.00	25.60	111.30	17.50	45.00	29.00	8.80

VARIACION DIURNA DE CARBONO TOTAL DISUELTO									
HORA		NOV.	DIC.	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
6.00	SUP.	107.77	132.00	11.00	20.00	51.18	52.46	40.53	58.74
	FONDO.	93.20	103.90	25.00	54.30	54.67	42.60	46.06	57.27
10.00	SUP.	120.26	258.50	87.50	62.00	55.54	49.78	66.36	49.94
	FONDO.	86.95	134.00	41.00	30.60	50.31	49.78	53.44	52.87
12.00	SUP.	76.54	138.00	32.00	44.60	51.18	49.78	51.60	50.67
	FONDO.	89.03	149.50	45.50	51.50	45.95	47.09	44.22	54.34
16.00	SUP.	109.85	103.00	65.50	34.95	51.18	56.05	49.76	45.54
	FONDO.		113.00	51.30	49.40	51.18	51.21	57.13	42.60
20.00	SUP.		100.20	96.00	45.10	52.93	48.88	55.29	44.07
	FONDO.	61.97	104.50	60.50	47.30	55.54	56.40	53.44	51.41
24.00	SUP.	68.21	102.00	40.00	38.50	47.69	58.73	60.82	48.47
	FONDO.	61.97	94.00	37.50	39.40	56.42	54.25	58.98	56.54

VARIACION DIURNA DE CARBONO ORGANICO PARTICULADO									
HORA		NOV.	DIC.	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
6.00	SUP.	1116.4	939.1	1256.2	1650.6	1220.6	1574.3	1262.3	1993.1
	FONDO.	945.6	914.7	1405.0	1634.4	1187.3	1786.2	1520.6	3011.0
10.00	SUP.	674.8	1087.9	914.7	1818.2	1387.3	1855.2	666.4	2718.1
	FONDO.	612.3	1066.0	1087.9	1693.8	1087.3	1362.4	1499.8	2475.3
12.00	SUP.	958.1	1063.5	648.9	1588.4	1116.4	1581.4	2266.4	2718.1
	FONDO.	-216.9	1319.6	1273.3	1418.2	1128.9	1074.3	2687.3	2032.4
16.00	SUP.	-233.6	1139.1	1341.6	1531.7	-191.9	2036.2	1249.8	2896.7
	FONDO.	1237.3	1307.4	1280.6	1269.5	1228.9	1321.9	1891.4	2146.7
20.00	SUP.	1116.4	1073.3	1268.4	1664.1	724.8	1138.6	1428.9	2761.0
	FONDO.	1066.4	1356.2	1329.4	1647.9	1153.9	1398.1	1728.9	3175.3
24.00	SUP.	478.9	939.1	1063.5	1585.7	1041.4	1086.2	233.1	2368.1
	FONDO.	383.1	1185.5	1146.4	1642.5	1212.3	1293.3	962.3	3028.8



VARIACION DIURNA DE CLOROFILA "a"									
(mg Pigmento / l)									
HORA		NOV.	DIC.	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
6.00	SUP.	247.35	72.98	84.67	146.63	64.26	106.83	105.52	133.52
10.00	SUP.	233.44	120.76	81.59	113.53	68.45	486.57	183.78	178.63
12.00	SUP.	157.66	368.49	289.79	443.01	58.65	360.20	192.72	191.07
16.00	SUP.	246.30	226.43	285.25	297.90	47.56	959.43	161.70	183.59
20.00	SUP.	367.30	147.20	171.78	352.60	37.95	188.67	100.90	172.84
24.00	SUP.	310.00		556.25	153.16	57.32	159.34	75.91	183.32