

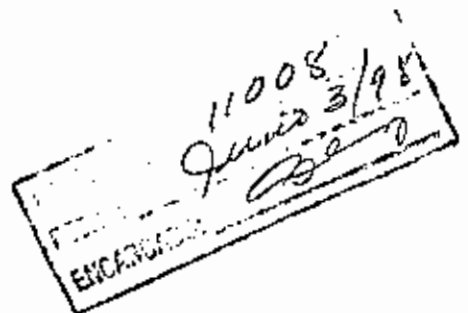
Análisis de la calidad del agua en cultivos comerciales de tilapia en Honduras

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar
Al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado
Académico de Licenciatura

Presentado por

Oscar Darío Zelaya Montes

Zamorano-Honduras
Abril, 1998



11864

El autor concede a Zamorano permiso para reproducir y distribuir copias de este trabajo para fines educativos. Para otras personas físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.



Oscar Danilo Zelaya Montes

Zamorano – Honduras
Abril, 1998

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso y a la Virgen de Guadalupe que iluminen al hombre en todas sus actividades.

A mi familia, especialmente a mi madre Noivia Esperanza de Zelaya.

A mi novia Sandra González

A la familia González y a los Molina.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios todo poderoso y a la Santísima Virgen por darme siempre ánimo, por hacerme ver lo positivo de todo y por estar siempre a mi lado.

A mi familia por darme el apoyo y el amor y por incluirme siempre en sus oraciones.

A mi novia Sandra González por darme ánimo, por rezar por mí y por darme todo el amor y comprensión.

Al Dr. Zimmermann, por todas sus atenciones y el trato personal que siempre nos han facilitado a los becarios.

A mis asesores Dr. Meyer, Ing. Carlos Aceituno y Dr. John Hairo Hincapié por su ayuda en la realización de este trabajo.

Al Ing. Carlos Leiva, Ing. Gustavo Argeñal, Vivían Quan por su apoyo en la realización de los muestreos y por facilitarme la información necesaria.

A todo el personal del departamento de Zootecnia y de la sección de acuicultura que han apoyado de una y otra forma en este estudio.

A mis amigos del PIA, que de una u otra forma me han ayudado para realizar este trabajo y durante este año muy especialmente a Otilia Tordoya.

A mis amigos Juan Carlos Salazar e Iván Cruz por brindarme siempre su amistad.

A mi amiga Amy Riedel.

AGRADECIMIENTOS A PATROCINADORES

A la Deutsche Stiftung für internationale Entwicklung (DSE) de la República Federal de Alemania por su valiosa y generosa colaboración en la financiación de mis estudios durante el programa de Agronomía y el programa de Ingeniería.

RESUMEN

Zelaya, Oscar 1998. Análisis de la calidad del agua en cultivos comerciales de tilapia en Honduras. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo, El Zamorano, Honduras. 28p.

La producción piscícola comercial en Honduras ha crecido rápidamente. En el país existen varios manejos para el cultivo intensivo de peces. Los sistemas intensivos utilizan agua de recambio para sostener un engorde de peces a una alta densidad. La calidad del agua se ve afectada por el cultivo intensivo de peces. Los excrementos y orina del pez contribuyen amoníaco (NH_3) y otros nutrimentos al agua del cultivo. Parte del alimento no es consumida por los peces y su posterior descomposición contribuirá al deterioro de la calidad del agua. El objetivo del presente estudio fue evaluar la calidad de agua en tres cultivos comerciales de tilapia en Río Lindo, Cortés, Honduras. Se comparó la calidad del agua entrando y saliendo en un cultivo de engorde hiper intensivo (EHI), un engorde intensivo (EI) y de un alevinaje intensivo (AI) analizando la concentración de NH_3 , PO_4 , clorofila *a*, sólidos totales, alcalinidad, y demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) en el agua de cada sistema. Además, se analizaron muestras del sedimento de los estanques y se hizo un estudio durante 24 horas del comportamiento de la concentración de NH_3 , PO_4 , OD, pH y temperatura en el agua de los cultivos EHI y AI. Todos los sistemas estudiados provocaron cambios en la calidad del agua. Para el cultivo EHI la cantidad de incremento en las concentraciones de NH_3 , PO_4 y DBO_5 al pasar el agua por el sistema de producción fue de 19.4kg/día, 0.66kg/día y 188.3kg/día de consumo de oxígeno, respectivamente. Los demás sistemas provocaron menores cambios. El manejo hiper intensivo provocó la mayor DBO_5 y contribuyó una gran cantidad de NH_3 al agua. Contaminantes conteniendo N y P tienden a incrementar las concentraciones de los nutrimentos básicos en aguas naturales resultando en un proceso de eutroficación. Como resultado del cultivo intensivo de peces, los sedimentos de los tres estanques tenían una alta fertilidad. Se observó un incremento continuo en la concentración de NH_3 durante el monitoreo de 24 horas en el cultivo EHI. En el cultivo AI, el NH_3 alcanzó su máxima concentración durante las horas de la tarde y luego, esta disminuía durante las horas de la noche. Hubo más variación entre los parámetros estudiados (temperatura, pH y oxígeno disuelto) en el sistema EHI en comparación con el manejo AI.

Palabras claves: acuicultura, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno amoniacal, sistemas intensivos.

NOTA DE PRENSA

¿Como afecta la producción intensiva de peces la calidad de agua?

Actualmente se han establecido en Honduras, varios proyectos de producción piscícola, los cuales hacen uso de cuantiosas cantidades de agua para lograr la producción de peces, en especial la de tilapia, con el propósito de exportar el producto a mercados internacionales. El agua al ser empleada en los sistemas de producción sufre un deterioro en su calidad y en muchos casos se retorna al medio sin haber sido tratada, de manera que puede causar un impacto ambiental en detrimento del ecosistema que la comprende.

La sección de acuicultura de Zamorano recientemente (Enero-Marzo de 1998) realizó un estudio de tesis en dos fincas de producción de tilapia ubicadas en Río lindo, Cortés; con el propósito de cuantificar alteraciones que podrían estar causando los sistemas de producción en la calidad del agua al emplearse esta en los ciclos productivos. Se consideró en el estudio los sistemas de engorde intensivo e hiper intensivo y el de alevinaje intensivo, practicándose análisis de laboratorio de seis parámetros de calidad de agua a muestras de la entrada y la salida de cada sistema . Los parámetros considerados fueron: Nitrógeno amoniacal, fósforo, clorofila a, sólidos totales, alcalinidad y demanda bioquímica de oxígeno(DBO_5) también se hizo un estudio durante 24 horas del comportamiento de la concentración de NH_3 , PO_4 , OD, pH y temperatura en el agua de los cultivos EHI y AI.

Todos los sistemas en todos los parámetros, presentaron una alteración de incrementar las concentraciones. Se encontró un mayor deterioro en la calidad del agua en el sistema de engorde hiper intensivo , presentándose concentraciones elevadas principalmente en los parámetros mas influyentes en el impacto ambiental, como ser nitrógeno amoniacal con concentraciones de 19.4 kilogramos por día (kg/día), un PO_4 de 0.66kg/día y DBO_5 de 188.3kg/día. Se observó un incremento continuo en la concentración de NH_3 durante el monitoreo de 24 horas en el cultivo EHI.

Los altos niveles de nitrógeno y fósforo tienden a incrementar las concentraciones de los nutrimentos básicos en aguas naturales resultando en un proceso de eutroficación (Generación de materia orgánica en los cuerpos de agua debido a altas concentraciones de nutrimentos y que afectan la vida acuática por causar insuficiencias de oxígeno en el medio.). Con lo anterior se ha sentado un precedente que se espera despierte el interés de los dueños de las fincas productoras así también de las autoridades de la Secretaría del medio ambiente , sobre la necesidad de evaluar permanentemente el impacto ambiental que se puede dar por la producción piscícola y establecer mecanismos de control que los prevengan o minimicen de manera que las operaciones sean sostenibles ambiental y económicamente.

CONTENIDO

	Portadilla.....	i
	Autoría.....	ii
	Página de firmas.....	iii
	Dedicatoria.....	iv
	Agradecimientos.....	v
	Agradecimientos a patrocinadores.....	vi
	Resumen.....	vii
	Nota de prensa.....	viii
	Contenido.....	ix
	Índice de cuadros.....	xi
	Índice de figuras.....	xii
	Índice de Anexos.....	xiii
1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Objetivos.....	2
1.1.1	General.....	2
1.1.2	Específico.....	2
2.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
2.1	Ubicación geográfica y descripción del estudio.....	3
2.2	Análisis de laboratorio.....	5
2.3	Monitoreo de Nitrógeno amoniacal (NH_3) y fósforo (PO_4) durante 24 horas.....	6
2.4	Análisis estadístico.....	6
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	7
3.1	Resultados de análisis de laboratorio.....	7
3.1.1	Nitrógeno amoniacal NH_3	10
3.1.2	Fósforo PO_4	11
3.1.3	Clorofila a.....	11
3.1.4	Sólidos Totales.....	12
3.1.5	Alcalinidad.....	12
3.1.6	Demanda bioquímica de oxígeno.....	13
3.2	Análisis de suelo de los estanques piscícolas.....	16
3.3	Monitoreo de la calidad del agua durante 24 horas.....	17
4.	CONCLUSIONES.....	23
5.	RECOMENDACIONES.....	24

6.	BIBLIOGRAFÍA.....	25
7.	ANEXOS.....	27

INDICE DE CUADROS

1.	Comparación de los sistemas de producción; engorde hiper intensivo (EHI), alevinaje intensivo (AI) y engorde intensivo (EI), del cultivo comercial de tilapia en dos fincas en Río Lindo, Cortes, Honduras, 1998.	3
2.	Comparación de tres manejos diferentes utilizados en la producción comercial de tilapia en Honduras. Engorde hiper intensivo(EHI), alevinaje intensivo (AI), y engorde intensivo (EI).....	7
3.	Comparación de la calidad de agua de entrada y salida de tres estanques en dos fincas de producción bajo manejo intensivo en Honduras 1998.....	8
4.	Resumen de las cantidades (kg/día) de contaminantes generadas en el agua saliendo por 3 sistemas piscícolas en Honduras.....	9
5.	Calculo de los kg de NH ₃ generados en el sistema de cultivo engorde hiper intensivo (EHI) considerando la cantidad de alimento suministrado y el porcentaje de proteína en el mismo.....	10
6.	Comparación de la composición química de los sedimentos tomados de tres estanque con el cultivo intensivo de tilapia :Engorde hiper intensivo(EHI); alevinaje intensivo(AI), y engorde intensivo(EI) en Honduras 1998.....	16

INDICE DE FIGURAS

Figura		
1.	Mapa del Valle de Amapa, zona de los proyectos de tilapia en Río lindo, Cortés, Honduras.....	4
2.	Correlación entre la DBO_5 en el agua y el alimento ofrecido a peces cultivados bajo diferentes sistemas de manejo en Río lindo, Cortés, Honduras.....	15
3.	Resultados del monitoreo de O_2 disuelto, temperatura y pH en el agua del sistema de alevinaje intensivo durante 24 horas en Río lindo, Cortés, Honduras.....	19
4.	Resultados del monitoreo de O_2 disuelto, temperatura y pH en el agua del sistema de engorde hiper intensivo durante 24 horas en Río lindo, Cortés, Honduras.	20
5.	Tendencia de NH_3 y PO_4 en mg/l en el sistema de alevinaje intensivo durante 24 horas en Río lindo, Cortés, Honduras.	21
6.	Tendencia de NH_3 y PO_4 en mg/l en el sistema de engorde hiper intensivo durante 24 horas en Río lindo, Cortés, Honduras.....	22

INDICE DE ANEXOS

1.	Resultados de los análisis de laboratorio.....	27
----	--	----

1. INTRODUCCIÓN

La producción comercial piscícola en Honduras se estableció en Honduras en 1989 y ha crecido rápidamente desde entonces. Actualmente existe una gran demanda en los mercados internacionales para el filete de tilapia. Los precios de filete fresco en Los EE.UU. oscilan entre \$7.40 y 8.80/kg.

En Honduras existen muchos de los recursos necesarios para la producción piscícola. Hay ríos con suficiente caudal y con buena calidad de agua, zonas con temperaturas adecuadas (por sobre los 25 C) durante todo el año y con una topografía favorable para la construcción de estanques. También están disponibles alimentos concentrados para peces formulados por compañías nacionales y extranjeras. En Honduras la mano de obra es barata en términos relativos.

La tilapia es cultivada comercialmente en Honduras con diferentes manejos de los cultivos intensivos. Un fuerte recambio de agua en el estanque permite mantener los peces a una elevada densidad de siembra. El recambio de agua trae oxígeno en solución y remueve los desechos metabólicos de los peces siendo engordados

El agua circula por los estanques de producción eventualmente es vertida al caudal del río o algún otro cuerpo de agua. La calidad de esta se ve afectada por diversos factores al ser empleada en los estanques de producción. Esta agua puede volverse no apta para usos posteriores o puede tener un impacto negativo afectando el ecosistema que la recibe.

Conceptualmente, calidad de agua es el conjunto de características físicas, químicas, y biológicas del agua en su estado natural o después de ser alteradas por la acción del hombre (Cubillos, 1988). Muchas operaciones realizadas en acuicultura invariablemente resultan en la emisión de productos metabólicos como desechos (orina y excrementos sólidos de los peces). Además, parte del alimento no será consumida por los peces y su posterior descomposición resultara en mas contaminación del agua (Barg 1992).

La fuente principal de contaminantes generadas en explotaciones acuícolas es el alimento (Cho *et al.* 1991, 1994) ya sea de forma directa al no ser consumido por los organismos cultivados o indirectamente como desechos biogénicos. Estos contaminantes comprenden alimento, sólidos y productos de desecho disueltos. El enriquecimiento orgánico en el ecosistema puede resultar en un incremento en el consumo de oxígeno por la presencia de sedimento orgánico, que, en casos extremos causa la presencia de bióxido de carbono, gas metano, sulfuro de hidrogeno. Todas estas sustancias tienden a reducir la diversidad de la fauna en sistemas acuáticos (Barg 1992). La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) es una prueba empírica para determinar el requerimiento de oxígeno en el agua.

El oxígeno disuelto consumido durante la incubación es un estimado de la cantidad de contaminación orgánica en el agua.

La DBO₅, tiene su aplicación mayor en el tratamiento de aguas residuales. La DBO₅ es una medida del requerimiento de oxígeno para descomponer la materia orgánica. Es un valioso parámetro en la evaluación de la fuerza de contaminación del agua por parte de un desecho orgánico (Pillay 1992).

Tradicionalmente los sistemas acuícolas intensivos requieren mas agua que los menos intensivos, dependiendo así en grandes volúmenes de agua fresca entrando al sistema para proveer oxígeno disuelto y remover metabolitos en el estanque de producción. La calidad del agua se ve afectada al ser usada en la producción acuícola.

En Honduras no se ha realizado ningún estudio para determinar la dimensión de los cambios que sufre el agua al pasar por sistemas de producción intensiva de peces.

1.1 OBJETIVOS

Por lo anterior se trae a este estudio los siguientes objetivos:

1.1.1 General

- Evaluar la calidad de agua en tres sistemas de producción intensiva de peces en Honduras comparando las concentraciones de nitrógeno amoniacal, fósforo, sólidos totales, clorofila *a*, alcalinidad y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en agua entrando y saliendo de los estanques.

1.1.2 Específicos

- Relacionar los aspectos técnicos de producción (densidad de siembra, cantidad de alimento y recambios de agua) con la calidad del agua de desecho del sistema.

- Monitorear durante 24 horas la concentración de oxígeno en solución, nitrógeno amoniacal (NH₃) y fósforo (PO₄) en el agua entrando y saliendo de un estanque con cultivo hiper intensivo de tilapia y de otro estanque con un cultivo de alevinaje intensivo.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO

Se tomaron muestras de agua de entrada y salida en estanques ubicados en dos fincas de producción intensiva en el norte de Honduras. Las dos fincas se encuentran localizadas en las cercanías de Río Lindo a 70 km de San Pedro Sula, a una altura de 70 msnm (Figural). En la primera finca se hace uso de un reservorio, en el cual se almacena agua que posteriormente es distribuida a los estanques. El estanque monitoreado en esta finca corresponde a la fase de engorde intensivo (EI).

La segunda finca recibe agua proveniente del desagüe de una planta hidroeléctrica. Los estanques monitoreadas en esta finca fueron: uno con un cultivo en la fase de engorde hiper intensivo (EHI) y el otro en la fase de alevinaje intensivo (AI). Se selecciono los diferentes estanques en estas fases ya que son las que normalmente ocupan la mayor cantidad de agua en una finca piscícola.

Cuadro 1. Comparación de los sistemas de producción : engorde hiper intensivo (EHI), alevinaje intensivo(AI) y engorde intensivo (EI), del cultivo comercial de tilapia en dos fincas en Río Lindo, Cortes, Honduras, 1998.

Aspecto	EHI	AI	EI
Area estanque (m ²)	500	4000	5771
Volumen Estanque (m ³)	500	4800	5348
Volumen de recambio (m ³ / Día)	36,000	960	317
Densidad (peces/m ²)	38	18	4
Peso x (g)	913.5	85.5	657
Biomasa Total (kg/estanque)	17,321	8,442	12650
Alimento (kg/día)	283	258	190
Tipo de construcción	concreto	tierra	tierra

EHI (engorde hiper intensivo), AI (Alevinaje intensivo) y EI (engorde intensivo)

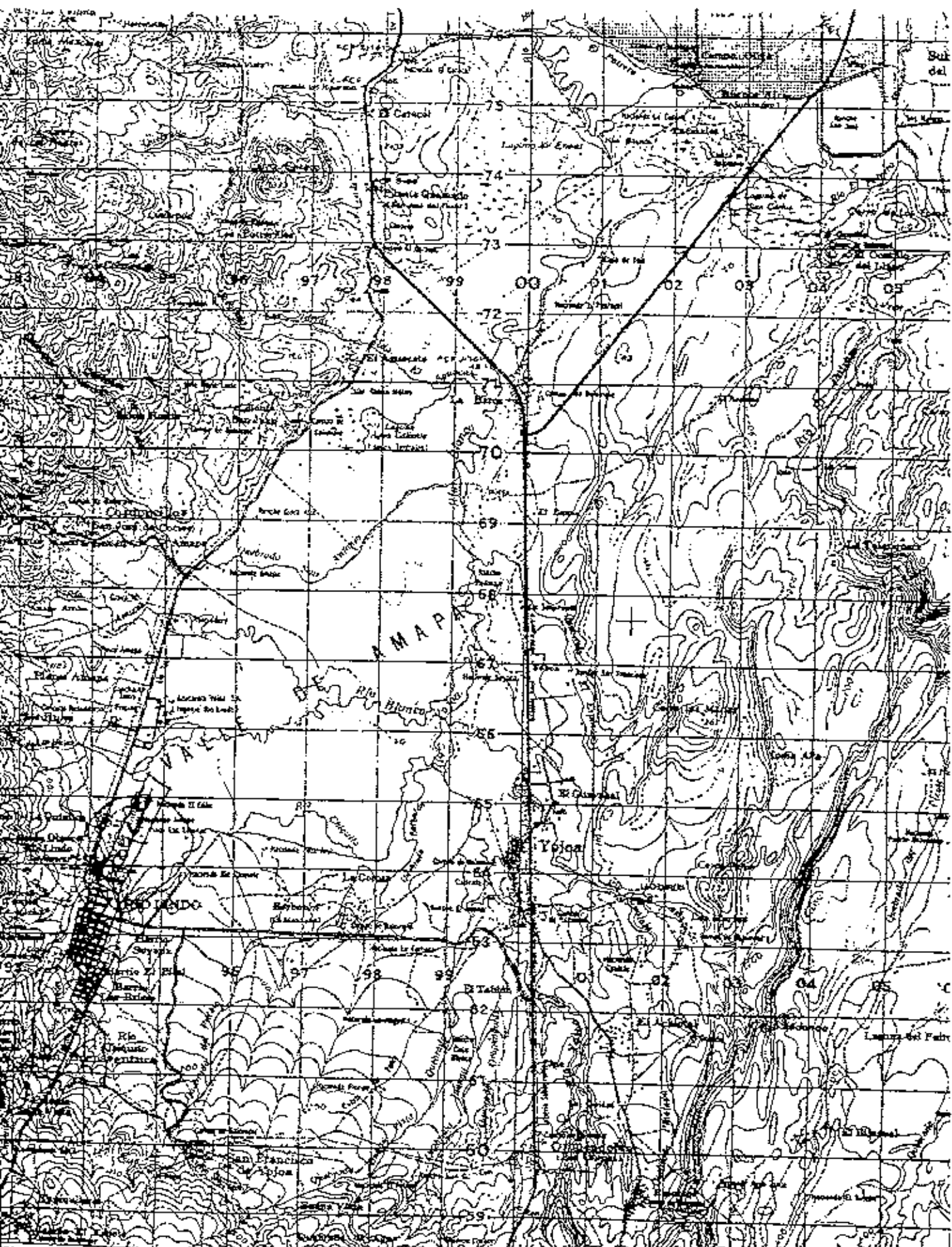


Figura 1. Mapa del Valle de Amapa, zona de los proyectos de tilapia en Rio lindo, Cortés, Honduras.

El sistema de engorde hiper intensivo es empleado en la ultima fase del ciclo de producción y el estanque es revestido de concreto en su totalidad. Este estanque posee la menor área en comparación con los estanques con los cultivos AI y EI. En el cultivo EHI se le practica un mayor recambio de agua durante cada día (36000 metros cúbicos) y en forma permanente. De los tres sistemas es el que tiene la mayor biomasa total y emplea la mayor cantidad de alimento para su crecimiento (Cuadro 1).

El sistema de alevinaje intensivo (AI), posee la menor biomasa total (6,442kg/estanque) ya que el peso promedio de los peces fue menor comparado a los otros dos sistemas. El manejo AI se emplea para la fase intermedia en la que los alevines alcanzan un peso mayor que permita una mayor sobrevivencia al ser transferidos al engorde. Sin embargo a este se le suministra una cantidad de alimento (258kg/día) similar a la del EHI.

El sistema de EI, es el estanque con mayor área y menor porcentaje de recambio diario de agua. La biomasa total de los peces en este estanque fue similar al de EHI sin embargo es al cual se le suministra menor cantidad de alimento (3.0% de la biomasa/día).

En cada uno de los sistemas de producción, se tomaron el mismo día muestras de 8 litros de agua en la entrada y la salida de cada estanque bajo estudio en cada finca. Al momento de su recolección, se tomó la lectura de oxígeno disuelto, temperatura, pH, y turbidez del agua. Las muestras fueron preservadas según las indicaciones de Hauser (1996) y transportadas a Zamorano para realizar los procedimientos analíticos y determinar la concentración de NH_3 , alcalinidad, PO_4 , sólidos totales, clorofila *a* y demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5). También se tomaron muestras de los sedimentos de los fondos de los estanques para determinar su pH, y las concentraciones de materia orgánica, nitrógeno total, fósforo, potasio, calcio y magnesio por procedimientos estándares en el laboratorio de suelos del Zamorano.

2.2 ANÁLISIS DE LABORATORIO

Los análisis de laboratorio se hicieron lo antes posible y siempre en menos de 24 horas posteriores a su recolección. Las muestras de agua, tanto de la entrada como de la salida, se analizaron replicando cada muestra en tres submuestras para verificar la repetibilidad. Para los análisis de NH_3 y PO_4 se utilizó el espectrofotómetro DR/2000 según indicaciones de HACH COMPANY (1989). Los análisis de clorofila *a*, alcalinidad y sólidos totales se realizaron según las indicaciones de Boyd (1979). Se realizaron las pruebas de demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) en CESCO (Centro de Estudio y Control de los Contaminantes), en Tegucigalpa por el método yodométrico de Winkler (APHA 1992).

2.3 MONITOREO DE NITRÓGENO AMONÍACAL (NH_3) Y FÓSFORO (PO_4) DURANTE 24 HORAS

Se realizó un monitoreo durante 24 horas de la calidad del agua en los sistemas de EHI y AI de la segunda finca. El monitoreo consistía en determinar las concentraciones de oxígeno disuelto, pH y temperatura cada hora y a intervalos de cada 3 horas se recolectaron muestras del agua de entrada y de la salida de cada estanque. Cada muestra fue de un litro. Se dividió cada muestra en tres submuestras para replicar las determinaciones de NH_3 y PO_4 .

2.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados de los análisis de las muestras tomadas en los tres sistemas de producción fueron arreglados en un diseño completamente al azar (DCA) y sometidos a un análisis de varianza (ANDEVA). Para la separación de medias se usó la prueba Student-Newman-Keuls (SNK). También se hizo una correlación entre los parámetros de DBO_5 , cantidad de sólidos totales y nitrógeno amoniacal con el porcentaje de recambio de agua en los estanques incluidos en el monitoreo de 24 horas. El análisis estadístico se realizó utilizando el paquete estadístico "Statistical Analysis System" (SAS).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO

El cuadro 2 presenta una comparación del manejo empleado en cada uno de los cultivos incluidos en este estudio. Según la cantidad de agua disponible los manejos involucran diferentes niveles de intensificación del cultivo. El cultivo EHI es mantenido por un enorme y permanente recambio de agua (Cuadro 2). En los sistemas de manejo AI y EI hay menor recambio de agua, el agua reside más tiempo en los estanques y la biomasa de peces en los cultivos es reducida en comparación con el sistema EHI.

Comparando la biomasa de peces por metro cúbico de agua usado cada día en cada cultivo, el manejo EHI resulta con la biomasa relativa más baja, en comparación con los sistemas de manejo AI y EI (Cuadro 2). El sistema EHI está completamente ligado al recambio de agua. Cualquier interrupción en el flujo de agua fresca a este proyecto pondría en peligro el bienestar de los peces y el futuro del negocio. Los manejos de EI y de AI son basados en agua más estancada en el estanque y mucho menos recambio cada día. Correspondientemente, estos cultivos tienen densidades de peces muy inferior al sistema EHI (Cuadro 2).

Cuadro 2. Comparación de tres manejos diferentes utilizados en la producción comercial de tilapia en Honduras. Engorde hiper intensivo(EHI), alevinaje intensivo (AI), y engorde intensivo (EI).

Descripción (Unidades)	EHI	AI	EI
Recambio/día (m^3)	36000	960	317
Recambio diario (%)	7200	20	5
Biomasa (kg/m^2)	35	1.61	2.74
Biomasa ($kg/m^3/día$)	0.47	1.11	1.89
Alimento (g/m^2)	600	60	30

Todos los manejos comparados en este estudio provocan impactos negativos en el agua del cultivo (Cuadro 3). La fuente del agua para el cultivo EI es de mejor calidad que la de los otros, sin embargo en todos el agua es de una calidad aceptable para el cultivo piscícola comercial.

Cuadro 3. Comparación de la calidad de agua de entrada y salida de tres estanques en dos fincas de producción bajo manejo intensivo en Honduras 1998.

Laguna	Lugar estanque	N-NH ₃ mg/lit	PO ₄ mg/lit	Clorofila a mg/lit	Sólidos tot. mg/lit	Alcalinidad mg/lit CaCO ₃	DBO ₅ mg/lit
EHI	Entrada	0.00	0.06±0.017	37.77±4.03	13.8±0.62	74.22±1.16	3±0.60
	Salida	0.54±0.016	0.13±0.016	45.7±2.06	15.13±0.28	75.25±0.60	6.23±0.38
Incremento %		54.0	116.7	21.0	11.3	1.4	174.3
Alteración mg/lit		0.54a	0.07b	7.93c	1.53a	1.03c	6.23b
AI	Entrada	0.00	0.02±0.02	60.37±2.52	14.57±0.49	69.86±0.59	3.57±0.55
	Salida	0.44±0.025	0.41±0.023	104.40±7.21	16.33±0.70	83.29±0.58	17.93±1.40
Incremento %		44.00	1950.0	72.0	12.1	19.2	402.2
Alteración mg/lit		0.44b	0.36a	44.03a	1.76a	13.44b	14.4a
EI	Entrada	0.34±0.02	0.17±0.0	23.87±2.60	14.7±0.40	68.08±2.09	1.1±0.17
	Salida	0.77±0.010	0.23±0.028	49.67±4.02	17.9±1.18	70.86±1.16	4±0.69
Incremento %		128.50	35.0	108.0	21.8	28.6	263.60
Alteración mg/lit		0.43b	0.06b	25.8b	3.2a	16.78a	2.9c

1 Resultados que se presentan son promedio de tres submuestras de análisis +/- la desviación estándar (Anexo 1). Valores en las columnas con la misma letra no son estadísticamente diferentes al nivel alfa = 0.05 según la prueba SNK.

Los tres sistemas de manejo contribuyen al agua del cultivo con una importante cantidad de nitrógeno amoniacal. A consecuencia del enorme recambio de agua en el sistema EHI, la cantidad diaria de NH₃ producida en el cultivo es de 19.4kg (Cuadro 4). Los otros dos sistemas producen cantidades diarias inferiores de NH₃.

En el sistema EHI hay un fuerte efecto de "lavado" y de dilución de los desechos y del alimento no consumido. En los sistemas EI y AI los desechos metabólicos de los peces y el alimento no consumido son parcial o totalmente descompuestos dentro del mismo estanque durante su más prolongada residencia allí.

En los sistemas con menor recambio de agua (AI y EI), el incremento en la concentración clorofila a fue mayor. Esto se explica por el mayor tiempo de residencia del agua en estos cultivos, el cual permite una acumulación de nutrientes en el agua y el desarrollo de una fuerte floración de fitoplancton.

La gran cantidad de fitoplancton en el agua del sistema AI también ayuda explicar su elevada DBO₅. Fitoplancton es materia orgánica que será descompuesta durante la incubación de las muestras para determinación de la DBO₅. Esta floración de fitoplancton también ayuda a explicar porque el agua de este estanque con manejo AI contenía la mayor concentración de fosfatos. Probablemente la mayor cantidad de fosfatos detectado en la muestra fue fosfato orgánico de las algas en el agua.

Además, este fitoplancton ayuda explicar las diferencias en la concentración de sólidos totales en el agua saliendo de los 3 estanques. Los 3 estanques reciben agua con similar carga de sólidos. A mayor tiempo de residencia en el estanque, el agua acumula una mayor cantidad de plancton, el cual es incluido en la determinación de sólidos totales. Con un recambio de 7200% por día, el cultivo EHI no permite que el agua acumule esta biomasa de algas.

El tiempo de residencia del agua en los sistemas afecta indirectamente el incremento observado en la alcalinidad del agua. La alcalinidad se aumenta debido a procesos biológicos e inorgánicos en el agua. Los niveles observados en el agua saliendo de los tres sistemas son aceptables para la vida acuática.

Cuadro 4. Resumen de las cantidades (kg/día) de contaminantes generadas en el agua saliendo por 3 sistemas piscícolas en Honduras.

SISTEMAS	NH ₃ kg/día	PO ₄ kg/día	Clorofila g/día	Sólidos Tot. kg/día	Alcalinidad kg/día	DBO ₅ kg/día
EHI	10.4	0.68	285	65	37	188.3
AI	0.42	0.37	42.27	1.69	12.9	13.79
EI	0.14	0.019	8.18	1	5	0.92

Calculo de kg/día según m³ empleados en un día, ver cuadro 3.

El impacto ambiental de cada sistema de manejo se presenta en el Cuadro 4. El sistema EHI libera al medio ambiente una importante cantidad de NH₃ y provoca un enorme consumo de oxígeno por agregar materia orgánica al agua del cultivo.

Los otros sistemas de manejo (AI y EI) tienen impactos ambientales menores. En estos sistemas el mayor tiempo de permanencia del agua en el estanque permite desarrollarse y funcionar un ecosistema de organismos capaces de reciclar nutrientes y remover los contaminantes procedentes de los alimentos para los peces.

El ecosistema que funciona para procesar los desechos del sistema EHI es parte del río que recibe las aguas vertidas de este cultivo. El problema de la contaminación está siendo tratado en un medio ambiente natural. Este río podría sufrir un impacto ambiental negativo e importante debido al ingreso de esta agua con una cantidad elevada de nutrientes y DBO₅.

Con el manejo EHI hay tantos nutrientes liberados al agua que si desarrollan algas a pesar del poco tiempo de residencia del agua en el cultivo (Cuadro 4). La cantidad diaria de clorofila a saliendo de este estanque es impresionante en comparación con los otros sistemas.

3.1.1 Nitrógeno amoniacal NH_3

El amoníaco no ionizado (NH_3) es tóxico para los peces, no así la forma ionizada NH_4 . Los niveles tóxicos en forma general son de 0.6 ppm de NH_3 . La toxicidad de NH_3 dependerá del pH y la temperatura. Entre mayor es el pH y la temperatura, mayor es el porcentaje de NH_3 y su efecto nocivo sobre los peces. Las altas concentraciones de NH_3 reducen el ritmo de crecimiento en los peces, provocan daños en sus branquias y consecuentemente pueden causar su mortalidad (Boyd 1979).

El sistema EI recibe agua con una alta concentración de NH_3 (Cuadro 2). No obstante la alteración de este parámetro en los tres sistemas fue similar.

Se encontró una correlación ($r^2=0.99$; $P=0.01$) entre el porcentaje de recambio diario de agua y los kg./día de NH_3 generados en cada manejo. En el sistema EHI, se dan fuertes recambios de agua (tres veces el volumen del estanque en una hora) sin embargo la biomasa de peces que hay en él y la cantidad de alimentos que se le suministran generan nitrógeno amoniacal suficiente como para causar una alteración similar a los otros dos sistemas.

El nitrógeno amoniacal excretado por los peces a partir de un kg de alimento puede ser estimado considerando una utilización de proteína promedio para dietas de alta calidad de 0.4 (Boyd 1990). Por ejemplo en un estanque de un metro de profundidad y que recibía 50kg/ha diarios de un alimento con 28% de proteína, la cantidad total de nitrógeno amoniacal excretado sería de 1345g.

Los cálculos se hacen según la siguiente fórmula:

$$\text{Gramos de } \text{NH}_3/\text{kg de alimento} = (1.0 - \text{UPN})(\text{proteína}/6.25) (1000) \quad [1]$$

Donde;

UPN = utilización neta de la proteína por los peces

Proteína = fracción decimal de la proteína en el alimento

6.25 = promedio de la proporción de proteína a nitrógeno.

Haciendo los cálculos para cada uno de los sistemas y considerando la cantidad de alimento suministrada respectivamente se encontró las cantidades de nitrógeno amoniacal resumidas para el sistema EHI (Cuadro 5).

Cuadro 5. Cálculo de los kg de NH_3 generados en el sistema de cultivo engorde hiper intensivo (EHI) considerando la cantidad de alimento suministrado y el porcentaje de proteína en el mismo.

Sistema	Alimento Kg/día	Kg de NH_3 generados por día	Kg de NH_3 esperados por alimento diario
EHI	283	19.4	8.89

Los alimentos empleados en los tres sistemas eran el mismo (ALCON 32% PC) y cualquier variación se deberá a los kilogramos de alimento suministrados por día en cada uno de los cultivos.

En el sistema EHI los peces están generando más NH_3 que en los otros dos sistemas. Si se consideran los kg/día de NH_3 generados por día, en el sistema EHI hay mas kg de NH_3 que los esperados a partir de los desechos de los peces por el metabolismo del alimento suministrado diariamente.

3.1.2 Fósforo PO_4

El fósforo es un macronutriente importante para el metabolismo de los organismos. El fósforo es considerado como nutriente limitante para el crecimiento de plantas y algas en agua dulce. Un nivel de 10-30ug/l de fósforo ha sido reportado por la USEPA en 1976 para lagos no contaminados. Estos valores están muy por debajo de los observados en sistemas estudiados aquí (Cuadro 2). El excesivo contenido de fósforo en muchos de los alimentos para peces, generalmente se debe a los altos niveles de fósforo en la proteína animal como ser la harina de pescado. Eventualmente el alimento libera grandes cantidades de fósforo al agua (Wiesmann et al. 1988). De 0.3 a 0.8% del fósforo disponible en la dieta es considerado adecuado para el crecimiento y desarrollo del esqueleto (Borran et al 1993).

Las alteraciones en la concentración de PO_4 (Cuadro 3) en los tres sistemas oscilaban entre 0.06 a 0.39 mg/l, siendo la menor la de EL. Es probable que el fósforo este siendo mejor aprovechado por los peces en el EHI.

En el caso del AI y EI el fósforo en el agua puede estar siendo aprovechado por el fitoplancton. Debido a que el agua permanece mucho más tiempo en el estanque por el bajo porcentaje de recambio que en ellos se practica, esto se sustenta por la turbidez observada en el agua de estos dos, caso contrario del EHI donde es posible ver hasta el fondo por la claridad del agua.

3.1.3 Clorofila *a*

Clorofila *a* es la prueba mas conocida para medir la abundancia de fitoplancton. Por lo general, los estanques cultivados con peces poseen una floración de fitoplancton mucho más densa que estanques no cultivados y otros cuerpos de agua naturales que no reciben nutrientes adicionales. Los estanques en los que se suministra alimento a los peces poseen mayor abundancia de fitoplancton. Cerca del 75% de los nutrientes en el alimento eventualmente se disuelven en el agua y son aprovechados para el crecimiento del fitoplancton (Boyd 1973).

Las concentraciones de clorofila *a* encontradas en tres lagunas fertilizadas y no fertilizadas durante el verano en Alabama promediaron entre 62.4 a 7.4 ug/l respectivamente (Boyd 1973). En lagunas en Israel las concentraciones de clorofila *a*

oscilaron entre 8.8 y 115.5ug/l para lagunas no fertilizadas y 103.4 y 212.3ug/l para las fertilizadas.(Hepher 1962). El recambio de agua para lavar los nutrientes y el fitoplancton de los estanques es un procedimiento bastante usado en el cultivo de peces y camarones. Muchas veces se emplean recambios que representan el 5 o 10% del volumen del estanque diariamente (McGee y Boyd 1983).

Los incrementos observados en este estudio para clorofila *a* en el agua oscilaban entre 7.93 y 44.03ug/l (Cuadro 3). La alteración de la clorofila *a* fue menor en el sistema EHI, debido a los fuertes recambios del agua en este sistema.

El sistema AI presenta la alteración mayor en clorofila *a*, teniendo esto una relación probable con la gran alteración observada en la concentración de fósforo con este manejo.

3.1.4 Sólidos Totales

Los tres cultivos del estudio recibían agua con similar concentración de sólidos totales (Cuadro 3). No hubo ninguna diferencia entre la alteración de la concentración de sólidos totales en el agua a pasar por estos 3 cultivos.

El manejo EHI provocó la generación de mucho más sólidos totales por día en comparación con los otros 2 manejos. La generación de sólidos en los manejos EI y AI se debe en gran parte al fitoplancton que desarrolla en estos estanques. Estos manejos (EI y AI), por incluir recambios mínimos del agua del sistema, permiten un proceso de sedimentación en los estanques, el cual reduce la cantidad de sólidos en la salida del agua de cada uno.

Se encontró una fuerte correlación ($r^2=0.99$; $P=0.01$) entre el porcentaje de recambio y la cantidad de los sólidos totales en el agua saliendo de los 3 cultivos. Los datos demuestran que el EHI genera mas kg de sólidos por día que los otros sistemas. También se estableció que el sistema de EI genera la menor cantidad de sólidos totales (kg/día) lo cual se puede atribuir a la menor cantidad de alimento suministrado diariamente en el sistema.

3.1.5 Alcalinidad

La alcalinidad representa la concentración de bases titulables en una muestra de agua, expresadas como equivalentes de carbonato de calcio. La alcalinidad en el agua de los sistemas acuícolas resulta principalmente de los iones de bicarbonato en aguas donde el pH esta entre 4.5 y 8.3. Agua con un pH inferior a 4.5 no tiene alcalinidad. Aguas naturales que contienen 40mg/l o más de alcalinidad total como equivalentes de carbonato de calcio son consideradas para fines biológicos como aguas duras, mientras que aguas con alcalinidades abajo de 40 mg/l se les conoce como aguas blandas (Boyd, 1990).

alteración en la alcalinidad osciló poco, entre 1.0mg/l en el sistema con manejo EHI a 15.8mg/l en el sistema con manejo EI.

El estanque con el manejo EI, con un recambio de 5% del agua/día, presenta la alteración mayor de alcalinidad. Esto se explica posiblemente, por la mayor evaporación y la permanencia del agua en el estanque por mas tiempo, los cuales provocan una acumulación de las bases por procesos biológicos e inorgánicos en el estanque (Boyd 1990).

3.1.6 Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO₅

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) representa la cantidad de oxígeno disuelto necesario para oxidar la materia orgánica en el agua. La demanda de oxígeno de un afluente en un cuerpo de agua que lo recibe será calculado a partir de su volumen y su DBO₅. La DBO₅ es importante para determinar el potencial de circulación de nutrimentos de los afluentes de un estanque (Boyd, 1990).

Se encontró una fuerte correlación ($r^2=0.99$, $P=0.04$) entre el porcentaje de recambio de agua y la DBO₅ del agua saliendo de los estanques (Figura 2).

También se encontró una correlación ($r^2=0.74$, $P=0.04$) entre la DBO₅ y los kilogramos de alimento ofrecido por día en los 3 cultivos. La figura demuestra como un incremento en la cantidad de alimento causó una mayor DBO₅ en el agua saliendo del cultivo.

En el caso del estanque de engorde hiper intensivo, el agua de salida pasa a un canal de desagüe y que inmediatamente el agua se emplea en un segundo lote de estanques para engordar peces en la finca.

Por esto la elevada DBO₅ de esta agua podría no tener suficiente oxígeno para sostener este segundo lote de peces de engorde. Según Boyd (1978) se puede estimar la respiración de la tilapia empleando la siguiente formula:

$$Y=0,001w^{0.82} \quad [2]$$

Donde: Y = consumo en gramos de oxígeno por pez/hora, y
W = peso del pez en gramos.

El cálculo para una población de 18000 peces con un peso promedio de 914g en la fase de engorde, será de una demanda por respiración durante un día de 115kg de oxígeno. El agua entrando en este segundo lote de estanques lleva una alta BDO de aproximadamente 188kg/día, la cual compite por la cantidad de oxígeno disponible a los peces.

En los sistemas AI y EI, la generación de la DBO₅ fue mucho menor en comparación con el cultivo EHI (Cuadro 4). Estos cultivos cuentan con sistemas de aireación artificial y

floraciones de fitoplancton que ayudan en la descomposición de la materia orgánica en el agua. Este fitoplancton contribuye a la elevada DBO_5 observada en estos dos cultivos.

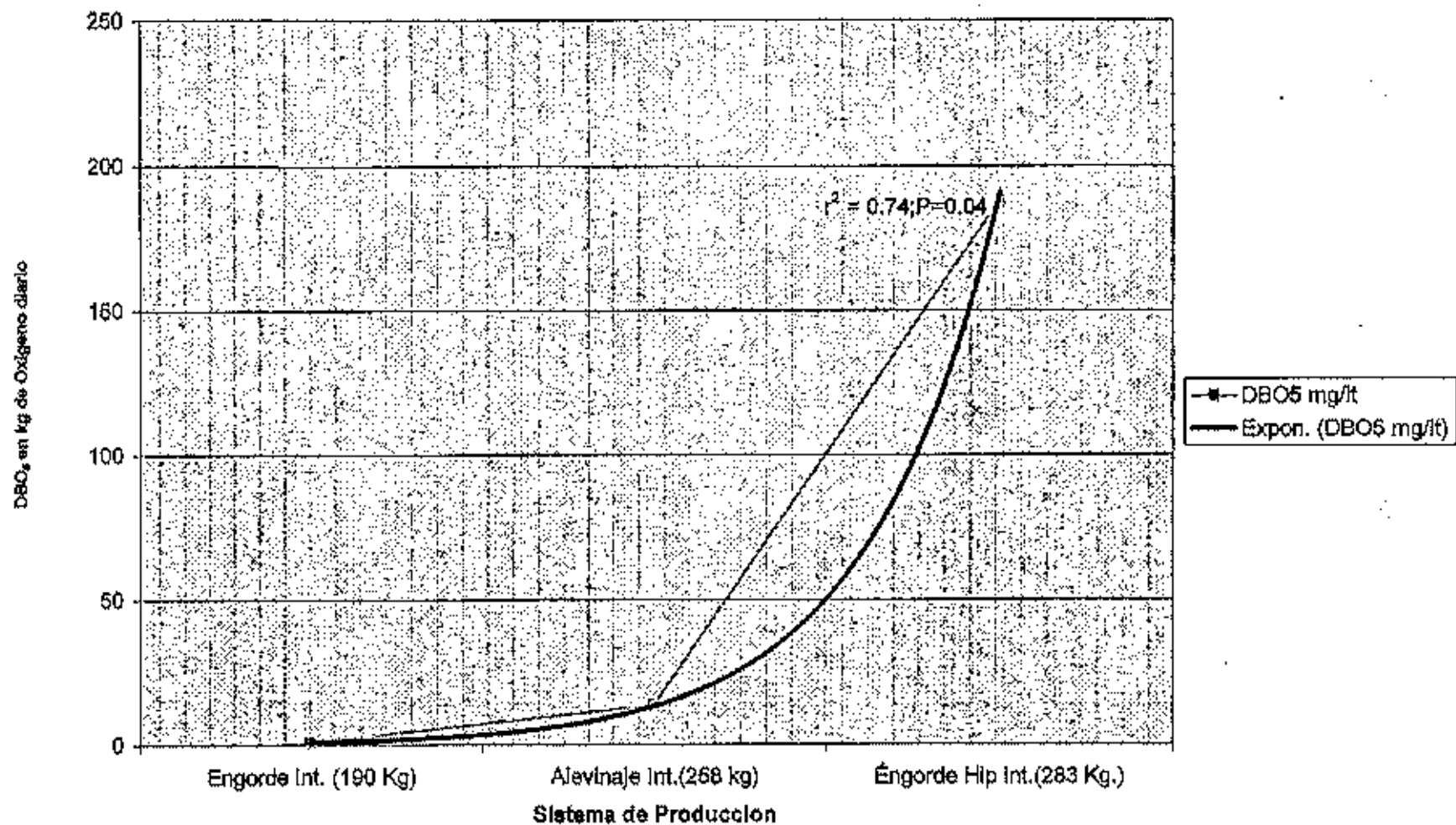


Figura 4. Correlación entre la DBO₅ en el agua (en kg. de oxígeno diario) y el alimento ofrecido a peces cultivados bajo diferentes sistemas de manejo en Rio Lindo, Cortes, Honduras.

3.2 ANÁLISIS DEL SUELO DE LOS ESTANQUES

Existe una creciente concientización sobre el papel importante del suelo en la ecología del estanque en el cultivo de peces. El suelo del estanque es hábitat de organismos bentónicos, recipiente de sedimentos orgánicos e inorgánicos y fuente de varias sustancias críticas para la producción acuícola. El intercambio de gases, nutrientes y sustancias potencialmente tóxicas entre el suelo y el agua es un aspecto crítico en la dinámica de los estanques (Boyd 1990).

Un retardo en el crecimiento de los peces se ha observado en los estanques con microambientes anaerobios (Avnimelech y Zohar 1986). Las zonas anaerobias en el suelo tienen un bajo potencial de reducción y altas concentraciones de hierro y magnesio, nitritos, amoníaco y fosfatos (Lofgren y Bostrom 1989; Sondergaard 1990). El fósforo proveniente del alimento no consumido y el excremento de los peces estimulan el crecimiento del bentos y fitoplancton (Chapochuk 1977; Boyd 1990).

Cuadro 6. Comparación de la composición química de los sedimentos tomados de tres estanque con el cultivo intensivo de tilapia: Engorde hiper intensivo(EHI), alevinaje intensivo(AI), y engorde intensivo(EI) en Honduras 1998.

Muestra	(H ₂ O)	%	%	ppm (Disponible)			
	pH	M.O	N _{total}	Fosforo	Potasio	Ca	Mg
EI	6.21	4.98	0.28	29	295	7075	375
*EHI	6.67	5.48	0.56	642	299	12875	275
AI	7.05	3.22	0.19	39	164	39687	400
Suelo Agrícola	~	2-4%	0.1-0.2	4.0-40	150-350	800-10,000	150-500

* La muestra de suelo se logró del sedimento sobre el concreto en el fondo.

Estos sedimentos tienen un alto nivel de fertilidad en comparación con suelos agrícolas de Honduras (Cuadro 6). En cuanto a los porcentajes de materia orgánica (M.O.) y nitrógeno total (N total) todos los sistemas presentaron resultados mayores a los que se esperarían encontrar en un suelo agrícola.

El sistema EHI presentó los porcentajes más altos de M.O., fósforo y N total aun cuando este es de concreto y se le practican fuertes recambios de agua diarios. En este sistema se acumula en el fondo bastante sedimento, el cual proviene del alimento no aprovechado y del excremento de los peces. También parte del sedimento consiste en arena que sedimenta en el estanque arrastrada desde su procedencia por el agua de entrada.

El sistema de AI presenta las más altas concentraciones de Ca y Mg y según la clasificación de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA), este se consideraría alto en ambos elementos. Esto posiblemente se debe a algún tratamiento de cal aplicado al estanque en un inicio, o a la abundancia natural de dichos elementos. Los

tres sistemas presentan valores que están dentro del rango aceptable para suelos agrícolas comunes en lo que se refiere a potasio y magnesio.

3.3 MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA DURANTE 24 HORAS

En el caso del sistema de alevinaje intensivo (AI) las tendencias fueron muy similares entre los parámetros de oxígeno disuelto, temperatura y pH (Figura 3). Esto posiblemente se debió a que el recambio de agua no es fuerte en AI (20% diario) en comparación al de EHI. En el AI la temperatura osciló entre los 24 y 28° C y las lecturas más altas se registraron entre las 11am y 6pm del día.

El pH osciló entre 6 y 8 en ambos estanques. Los valores mayores de pH se registraron entre las 11am y 6pm del día. Se encontró una correlación entre el pH y la temperatura del agua en los dos estanques ($r^2=0.94$; $P=0.01$).

El oxígeno disuelto osciló entre 9.0 y 0.7mg/l en ambos estanques. A la 1:00pm sucedió un notable incremento en la concentración de oxígeno disuelto en el agua debido a una corriente de aire que se dio en la finca. Las lecturas más bajas de oxígeno disuelto se registraron entre las 8:00pm y las 6:00am. Se encontró una correlación ($r^2=0.89$; $P=0.01$) entre el oxígeno disuelto y la temperatura del agua en ambos estanques.

En el caso del sistema de EHI las tendencias en todo los parámetros son mucho más variantes (Figura 4). La temperatura osciló en un rango entre 23 y 25 C, siendo inferiores al AI, debido al poco tiempo en que permanece el agua en el estanque del sistema de EHI y por lo cual no se espera un aumento en la temperatura. Sin embargo las lecturas más altas coinciden con las 11am y las 6am. El pH osciló entre 7 y 7.6. Las lecturas de oxígeno disuelto fueron superiores al AI, siendo la más baja de 2 ppm. No se encontró una correlación significativa entre estos tres parámetros, posiblemente debido a que los recambios tan fuertes y en tan corto periodo (3 veces el volumen en una hora) no permite la influencia de uno sobre los demás.

Con relación a las tendencias de nitrógeno amoniacal y fósforo, en el caso del sistema de alevinaje intensivo se noto una tendencia a incrementar y luego bajar en el transcurso de las 24 horas (figura 5). El NH_3 en el sistema AI oscilo en un rango entre 0.79 a 1.1 mg/l, lo cual se considera alto (siendo crítico niveles superiores a 0.60mg/l).

La cantidad de nitrógeno amoniacal encontrada a las 3pm en este sistema fué superior ($P=0.05$) al de las otras horas. También se notó que la temperatura y el pH mostraron concentraciones altas entre la 1pm y 3pm. Esto comprueba que un incremento en el NH_3 es determinado por un incremento en el pH y temperatura. El fósforo (PO_4) osciló en un rango entre 0.52 y 0.74 mg/l y fluctuó con altas y bajas en el periodo de las 24 horas.

En el caso del sistema EHI, el ciclo del NH_3 presentó una tendencia a incrementar (Figura 6), en el ciclo de 24 horas, el cual no llegó a un punto de descenso en las concentraciones. El ascenso fue a partir de 0.23 hasta 0.78mg/l (rangos inferiores a los

del Al). Las concentraciones de PO_4 presentaron una tendencia de subida y bajada a lo largo del monitoreo de 24 horas y oscilaron entre un rango de 0.11 y 0.25 ppm.

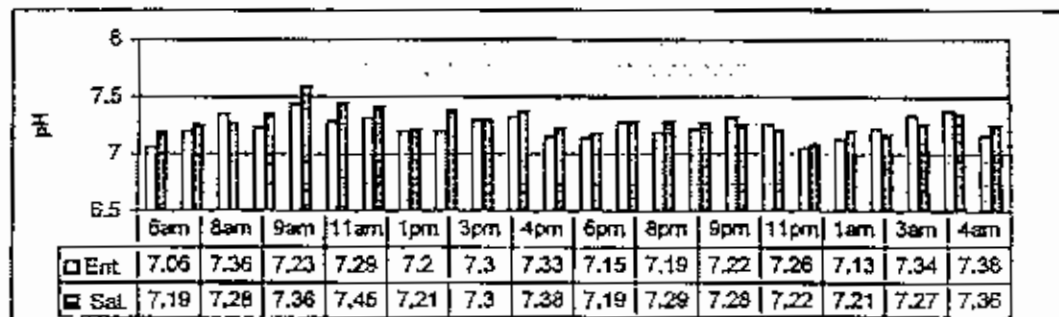
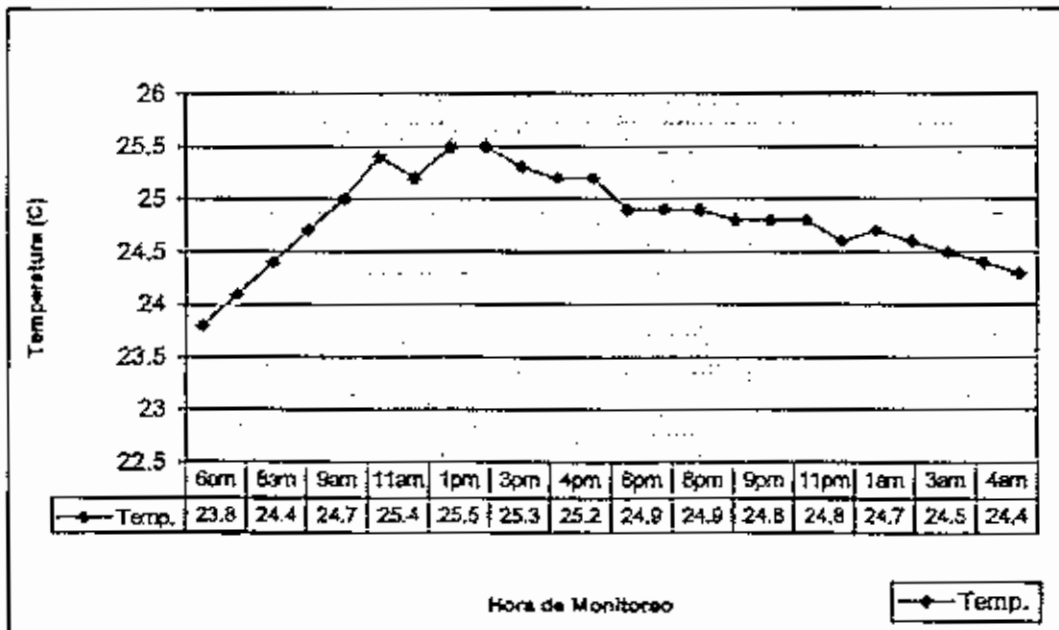
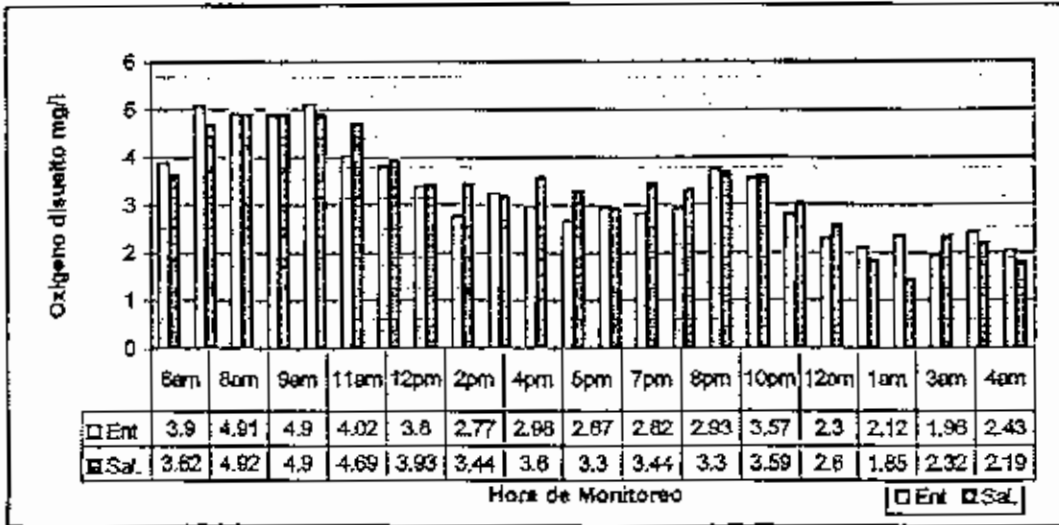


Figura 4. Resultados del monitoreo de O_2 disuelto, temperatura y pH en el agua del sistema de engorde filper intensivo intensivo durante 24 horas en Río Ildo, Cortés, Honduras.

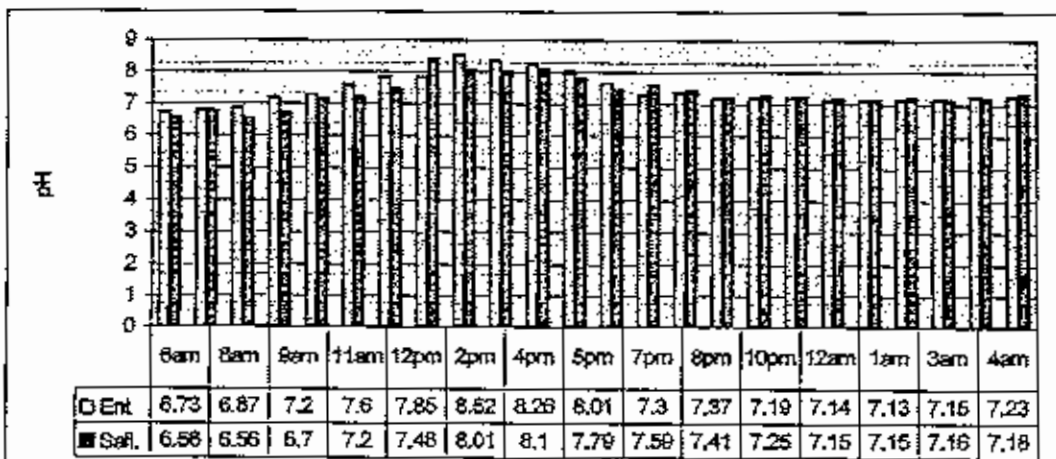
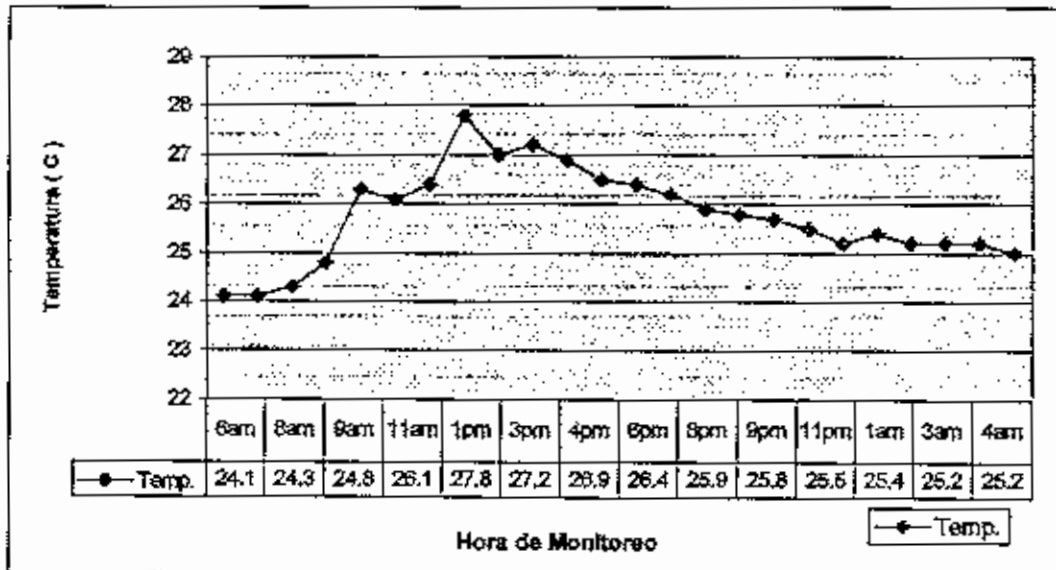
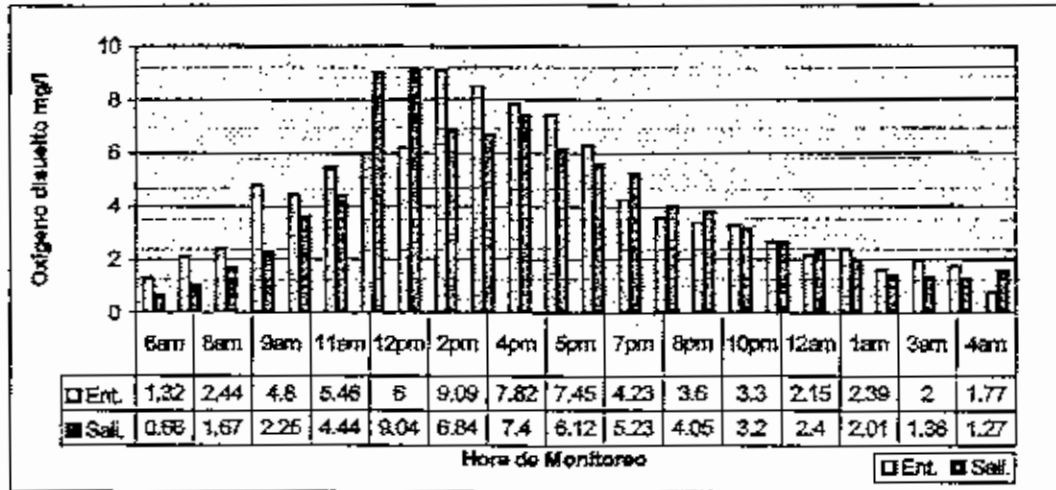


Figura 3. Resultados del monitoreo de O_2 disuelto, temperatura y pH en el agua del sistema de alevinaje intensivo durante 24 horas en Río Indio, Cortés, Honduras.

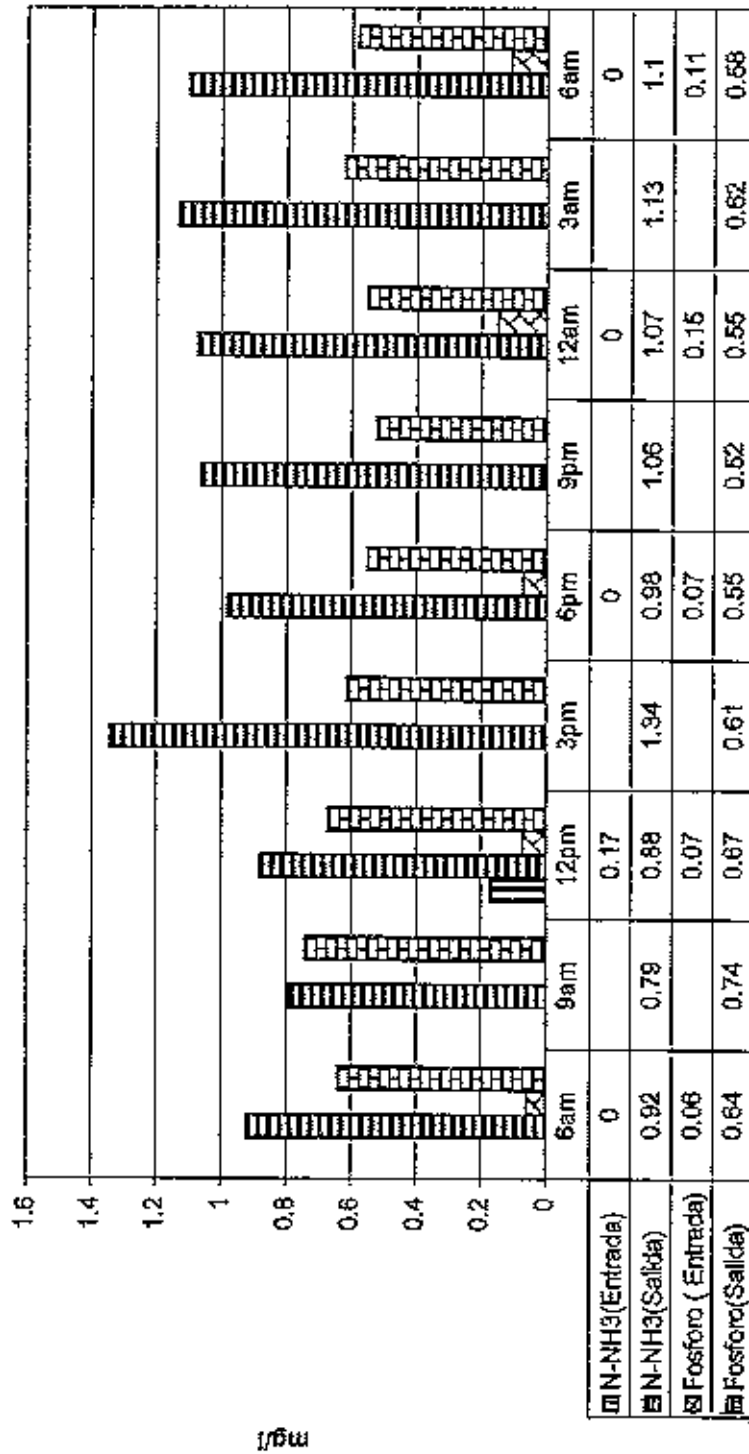
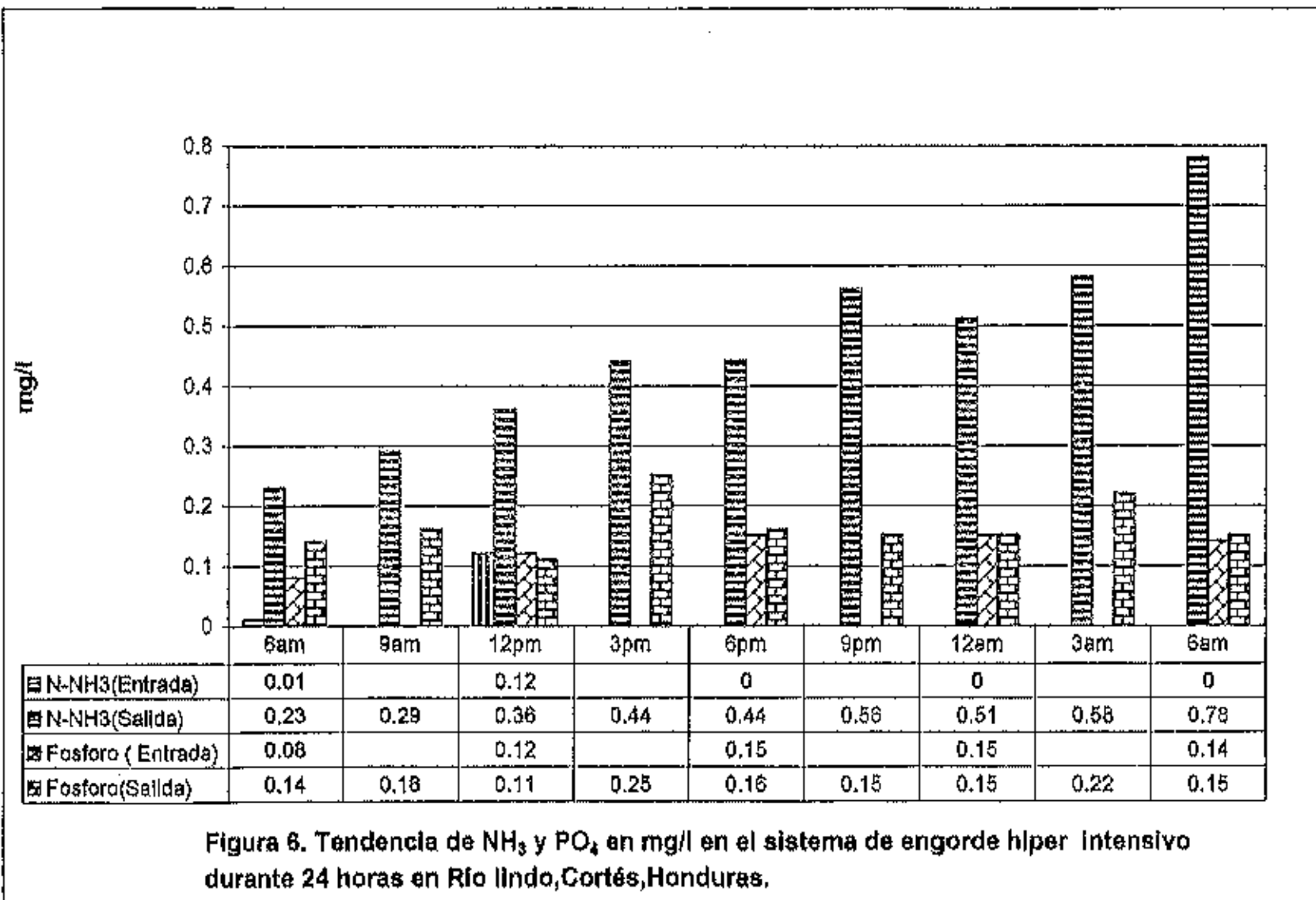


Figura 5. Tendencia de NH₃ y PO₄ en mg/l en el sistema de alevinaje intensivo durante 24 horas en Río Lindo, Cortés, Honduras.



4. CONCLUSIONES

El cultivo comercial de tilapia provoca alteraciones en la calidad del agua saliendo de los cultivos. Los parámetros más afectados por el cultivo comercial de tilapia son la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y el nitrógeno amoniacal (NH_3) en el agua.

El intensidad del efecto contaminante diferirá con los volúmenes de descarga de agua desde los estanques, el manejo empleado y la de calidad de agua de la fuente.

Tomando en cuenta el recambio de agua y la biomasa de los peces en cada sistema, la intensidad relativa del sistema EHI se reduce a un nivel inferior a los otros sistemas de manejo.

5. RECOMENDACIONES

Realizar estudios con más detalles de la calidad de agua y que incluya agua tomada de los canales de abastecimiento y del desagüe general de la finca, lo cual reflejara mas la alteración o el impacto ambiental en el ámbito de toda la finca.

Realizar estudios para determinar el posible impacto del sedimento sobre la calidad del agua y bienestar de los peces en los estanques de concreto usados con el manejo EHI.

Estudiar cuidadosamente la utilización de la protefina en el alimento por los peces para poder reducir la acumulación de nitrógeno amoniacal en las aguas usadas en el cultivo y evitar una contaminación de las aguas locales.

6. BIBLIOGRAFÍA

- ACEVEDO, J. 1995. Monitoreo de pesticidas en agua de esteros del Golfo de Fonseca, Honduras. Tesis Ing. Agr., El Zamorano, Honduras, El Zamorano. 48 pp.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 1992. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 18 th ed., Washington, USA. 130 pp.
- AVNIMELECH, Y. y G. ZOHAR. 1986 . The effects of local anaerobic conditions on growth retardation in aquaculture systems. *Aquaculture* 58:167-174.
- BARG, U.C. 1992. Guidelines for the promotion of environmental management of coastal aquaculture development. Fisheries Technical paper 328, FAO, Roma, Italia. 121 pp.
- BOYD, C.E. 1979. Water quality in warmwater fish ponds. Auburn University, Agricultural Experiment Station, Alabama, USA. 359 pp.
- BOYD, C.E. 1990. Water quality in ponds for aquaculture. Auburn University, Alabama Agricultural Experiment Station, Alabama, USA. 482 pp.
- BROWN, M L., F. JARAMILLO y D. M. Gatlin. 1993. Dietary phosphorus requirements. *Aquaculture* 113:355-363.
- CHAUPOEHUK, W. 1977. Nutritional contribution of natural pond organisms to channel catfish growth in intensively-fed ponds. Doctoral Dissertation, Auburn University, Alabama, USA. 88 pp.
- CUBILLOS, Z.A. 1988. Calidad del agua y control de la polución. CIDIAT, Mérida, Venezuela. Serie: Ambiente y recursos naturales renovables. 3-46
- DUST, J. V. and SHINDALA. 1970. Relationship of chlorophyll a to algal count and classification in oxidation ponds. *J. Water Pollution Control Fed.* 42: 1362-1369.
- HACH COMPANY. 1989. Water analysis handbook. Loveland, Colorado, U.S.A. 690 980 pp.
- HAUSER, B. 1996. Practical manual of wastewater chemistry. Ann Arbor Press, Chelsea, Michigan, USA. 135 pp.

- LOFGREN, S. and B. BOSTROM. 1989. Interstitial water concentrations of phosphorus, iron and manganese in a shallow, eutrophic Swedish lake: implications for phosphorus cycling. *Water Resources* 23:1115-1125
- WIESMAN, D. 1988. Water pollution with phosphorus of dietary origin by intensively fed rainbow trout (*Salmo gairdneri* Rich.). *Aquaculture* 69: 263-270.

Resultados de los análisis de laboratorio sobre varios parámetros de calidad de agua

Sistema	Lugar	R	Nitrogeno-NH3	Fosforo tot.	Clorofila a	Sólidos tot.	Alcalinidad	DBO
Engorde Intensivo (EI)	Entrada	1	0.36	0.17	26.8	14.7	57.43	1.2
		2	0.33	0.17	21.81	15.1	54.41	1.2
		3	0.32	0.17	23	14.3	53.4	0.9
		x	0.34	0.17	23.87	14.70	55.08	1.10
	Salida	1	0.78	0.2	63	19.2	71.53	3.6
		2	0.78	0.24	50.8	17.6	71.53	3.6
		3	0.77	0.25	45.2	18.9	69.52	4.8
		x	0.77	0.23	48.87	17.90	70.86	4.00
Alevinaje Intensivo AI	Entrada	1	0	0.02	63.01	14.9	69.51	4.2
		2	0	0.04	58.0	14.8	70.53	3.2
		3	0	0	60.1	14	69.52	3.3
		x	0.00	0.02	60.37	14.57	69.85	3.57
	Salida	1	0.41	0.4	96	17	83.62	18
		2	0.46	0.44	110	15.6	83.62	16.5
		3	0.44	0.4	106	16.4	82.62	19.3
		x	0.44	0.41	104.00	16.33	83.29	17.93
Engorde hiper intensivo (EHI)	Entrada	1	0	0.08	38.4	13.4	75.56	3.6
		2	0	0.05	34.6	13.1	73.55	2.4
		3	0	0.05	42.3	14.3	73.55	3
		x	0.00	0.06	37.77	13.80	74.22	3.00
	Salida	1	0.54	0.16	43.6	15.4	75.56	7.8
		2	0.52	0.13	46.0	15	75.62	8.4
		3	0.55	0.12	47.6	15	74.56	8.5
		x	0.54	0.13	45.70	15.13	75.25	8.23