



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
Centro Universitario de la Costa Campus Pto. Vallarta

Estudio de la dinámica de la calidad de agua en un sistema de jaulas flotantes para engorda de lutjanidos.

TESIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRO EN INGENIERIA PESQUERA

Presenta:

Biol. Nohé Genovevo Pelkastre Mendoza.

DIRECTOR EXTERNO: DR. JESÚS T. PONCE PALAFOX

DIRECTOR INTERNO: M. EN C. SERGIO CASTILLO VARGASMACHUCA

Bahía de Matanchén, Nayarit, México, octubre del 2006.



Universidad Autónoma de Nayarit
ESCUELA NACIONAL DE INGENIERIA PESQUERA

OFICIO NO: 393/06
FECHA: 19/Sepiembre/2006
ASUNTO: Solicitud de Autorización
de Examen de Grado.

C. ING. ALFREDO GONZALEZ JÁUREGUI
DIRECTOR DE SERVICIOS ESCOLARES
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NAYARIT
PRESENTE.

Por medio del presente le comunico a usted que el C. Nohé Genovevo Pelkastre Mendoza, ha presentado a satisfacción de la Comisión de Tesis su trabajo titulado "Estudio de la dinámica de la calidad de agua en un sistema de jaulas flotantes para engorda de tujjanidos" por lo cual, le solicito su autorización a efecto de que realice su Examen de Grado correspondiente al Programa Académico Maestría en Ingeniería Pesquera con especialidad en Acuicultura.

Sin otro particular y agradeciendo de antemano sus finas atenciones a la presente, me reitero de usted como su atento y seguro servidor.

ATENTAMENTE
POR LO NUESTRO A LO UNIVERSAL
EL DIRECTOR

MTRO. GERÓNIMO RODRIGUEZ CHAVEZ

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE NAYARIT



ESCUELA NACIONAL DE
INGENIERIA PESQUERA
DIRECCIÓN

**A mis padres: José Zeferino Pelcastre García
Juana Mendoza Mendoza.**

Reconocimiento:

El presente trabajo se realizó en las instalaciones de la "Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera" ubicada en Bahía de Matanchén, Nayarit, dentro del proyecto de "Engorda de Lutjanidos en jaulas flotantes" desarrollado por la misma institución educativa, dependiente de la Universidad Autónoma de Nayarit, bajo la dirección del Dr. Jesús T. Ponce Palafox y el M. en C. Sergio Castillo VargasMachuca.

A los profesores que laboran para tan noble institución, que sin su enseñanza, información y cooperación no hubiera sido posible obtener los resultados que aquí se emiten.

A mis compañeros de aula, cuyos trabajos físicos e intelectuales, apoyaron en buena medida el trabajo hoy realizado.

Agradecimientos:

A mis padres por el apoyo físico, económico y moral para el término de este trabajo, que corona una meta más planteada en conjunto con ellos.

A la "Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera" por la formación académica que de ella recibí, así como por el apoyo en todo sentido para la realización de este trabajo de tesis.

Al Dr. Jesús T. Ponce Palafox por el tiempo y paciencia concedido en la dirección y realización de este trabajo.

Al M. en C. Sergio Castillo VargasMachuca por su confianza y empuje en el desarrollo de esta investigación.

A los docentes de la "Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera" a lo largo de es curso de postgrado.

A mis compañeros y amigos que seguimos juntos este camino: Ygor, Paúl, David y Alfredo.

Y a todos aquellos que creyeron que esto fuera posible.

Contenido:	Pagina
Resumen	1
Abstract.	2
Introducción.	3
Antecedentes	9
Objetivos	14
Materiales y métodos	
Área de estudio	15
Parámetros Físico – químicos	18
Métodos Estadísticos	19
Resultados	20
Discusión	45
Conclusiones	47
Bibliografía	48

ESTUDIO DE LA DINÁMICA DE LA CALIDAD DE AGUA EN UN SISTEMA DE JAULAS FLOTANTES PARA ENGORDA DE LUTJANIDOS.

Resumen

La columna de agua de una granja de peces fue monitoreada en tres profundidades para determinar los cambios en la calidad del agua. La finalidad del presente estudio fue determinar la variación de la concentración de nutrientes en el cultivo de *Lutjanus guttatus* cultivado en jaulas flotantes en el mar y el efecto sobre el ciclo de nutrientes en la columna de agua. La concentración de nutrientes (amonio-N, nitritos-N, nitratos-N y fosfatos) fue evaluada cada 15 días en la columna de agua, en tres estaciones en el sistema de jaulas y a tres profundidades. Los parámetros analizados fueron oxígeno disuelto, temperatura del agua, salinidad y profundidad del Disco de Secchi. En términos generales las determinaciones en las jaulas y la estación control mostraron que no hay una diferencia significativa. El amonio fue el nutriente que tuvo las concentraciones más altas, sin embargo las concentraciones fueron normales para este tipo de aguas. Los resultados del primer año de operación del sistema de jaulas mostró que no hay un impacto sobre la columna de agua y sedimento, a pesar de que se suministraron considerables cantidades de alimento balanceado. Los resultados obtenidos en el presente estudio mostraron que es necesaria su determinación adecuada para conocer la variabilidad diaria del sistema.

The water quality in the floating cage culture of *Lutjanus* a tropical marine farm.

Abstract

The water column in a fish farm was sampled at three depth layers to determine large and short term changes in water quality. The overall goal of this study was to determine the variation of nutrient concentrations in open-ocean floating cage culture of *Lutjanus guttatus* (spotted rose snapper) that could be attained within cycle of nutrients in the water column. Nutrient concentration (ammonia-N, nitrite-N, nitrate-N, and phosphate) were evaluated every fifteen days in the column water at three stations around the cage and three depths for the water samples; likewise, several water quality parameters were analyzed (dissolved oxygen, water temperature, salinity and Secchi disk). Water analyses indicated that, in general, both cages and the control site showed similar nutrient concentrations throughout the months analyzed. Water analyses indicated that, in general, both cages and the control site showed similar nutrients concentrations throughout the months analyzed. Ammonia was the nutrient with the highest concentration; however, these values were relatively low and normal for these waters. Results of the first year indicate that this operation did not impact the quality of the water column, or the sediments even though large quantities of feed were introduced into the system. Our results supports the idea that monitoring of these variables should be properly designed to avoid bias due to diel variability.

I. Introducción.

La producción de acuicultura en agua dulce como marina ha contribuido significativamente a la producción de productos derivados de la pesca y el cultivo en jaulas ha logrado una producción a gran escala de peces comerciales y probablemente sea la forma más eficiente y económica de obtener este recurso.

Actualmente muchas especies de peces están siendo cultivadas en jaulas con distintos diseños y distintos tamaños en todos los continentes. Predominando el cultivo en agua dulce de la carpa y la tilapia en Asia y los salmónidos en Europa y América. El rápido crecimiento de la acuicultura marina en muchos países puede ser atribuido a:

- a) Lugares convenientes para el cultivo en jaulas.
- b) Buen establecimiento de técnicas para la crianza y producción y cantidades suficientes de varios peces juveniles marinos y dulceacuícolas.
- c) Disponibilidad de industrias de soporte, como de alimentos y producción de manufactura de peces, procesadoras y empacadoras.
- d) Fuerte investigación e iniciativas de desarrollo por instituciones, gobiernos y universidades, y
- e) El sector privado asegurando el refinamiento y mejoramiento de técnicas en sistemas de cultivo, por medio del desarrollo de la industria. (Chua, et. al. 2002).

A escala mundial y considerando la gran cantidad de especies pertenecientes a los peces la FAO en el 2002 reporta que solo 100 son cultivados comercialmente y solo el 28 por ciento son de origen marino, teniendo en cuenta la gran cantidad de especies marinas se ha considerado a la piscicultura como una alternativa. En las últimas dos décadas la acuicultura ha proliferado en las zonas costeras, convirtiéndose en una industria con un alto potencial de desarrollo. Desde el punto de vista del desarrollo sustentable del medio ambiente, el cultivo de peces se considera como un contaminante potencial del ambiente marino (Findlay et al., 1995). El enriquecimiento orgánico del sedimento marino es el impacto

ampliamente encontrado en el cultivo de peces en las jaulas (Gowen y Bradbury, 1987, Iwama, 1991).

Los datos más antiguos de la acuicultura en jaulas se reportó a finales del siglo XIX en el sudeste de Asia, particularmente en los lagos y ríos del sistema Kampuchea, las especies que se cultivaban eran *Channa spp.*, *Pangasius spp.* y *Oxyeleotris spp.* Las primeras producciones a gran escala se registraron en los años 40's y 50's. Para Japón comienzan en los años 50's con el inicio de una granja de investigación desarrollada por el Laboratorio de Pesquerías de la Universidad de Kinki comenzando con *Seriola quinqueradiata*, (Chua et. al. 2002), sin embargo Takasima y Arimoto (2000) mencionan que se tiene que remontar 200 años atrás cuando las primeras jaulas de madera fueron utilizadas para la sardina y la anchoveta, cuya técnica fue utilizada en Japón para desarrollar una importante industria en los años 60's al igual que el inicio del cultivo de la carpa común (*Ciprynus carpio*). En los años 70's Tailandia desarrolla la técnica para el cultivo de dos importantes especies marinas de cultivo el *Pagrus major* y *Epinephelus spp.* Para Europa el cultivo de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), comenzó en la década de 1950's siguiendo en Noruega el cultivo del *Salmo salar* en los 60's a la fecha, el cultivo de salmónidos es dominado por Noruega, Escocia y Chile. En América el primer registro de cultivo en jaulas se presenta en EUA con el desarrollo de la tecnología del cultivo de bagre de canal (*Ictalurus punctatus*).

La expansión rápida y el desarrollo de la industria de la maricultura han aumentado los problemas medioambientales y cuestiona los posibles impactos ecológicos. Las administraciones medioambientales, y sobre todo las reguladoras, han señalado la necesidad de minimizar los impactos medioambientales de la productividad en la nueva industria para que sea sustentable. Sin embargo, una reducción completa para poner a cero los desechos descargados de las jaulas de peces marinos no es posible para los sistemas de cultivo presentes, desde ningún punto de vista; tecnológico o económico. Hay muchas formas de desechos

producidos como consecuencia de la transformación de cualquier recurso natural en un producto comerciable. Sin embargo, de todos los posibles desechos producidos por el cultivo de peces marinos en jaulas las partículas orgánicas en forma de alimento no ingerido y heces, normalmente son el fragmento más significativo (Beveridge, 1996). Este material que generalmente se establece en el lecho marino cerca de las jaulas proporciona una entrada neta de carbono orgánico y nitrógeno a los sedimentos, así la acumulación por pérdida puede causar los cambios mayores en la comunidad del bentos y puede exceder la capacidad del ambiente para bio-procesar este material (Findlay y Watling, 1994; GESAMP, 1996; Gowen y Bradbury, 1987; Gowen et al. 1988; Hargrave, 1994). Se ha encontrado que el deterioro medioambiental debido a las concentraciones altas de la materia orgánica en los sedimentos afecta la salud del cultivo y la rentabilidad (Beveridge, 1996.; GESAMP, 1991b).

Los ecólogos han encontrado que las actividades humanas producen degradación de ecosistemas naturales, qué normalmente es reflejada en la disminución de biodiversidad de las comunidades bióticas en el área afectada (Margalef, 1968). De la misma manera cualquier unidad de producción acuícola debería tener dentro de su protocolo de trabajo el monitoreo constante y periódico del medio, para poder determinar con datos concretos cualitativos y cuantitativos de que manera afecta o no al medio que lo circunda, pues es de vital importancia que se mantenga un equilibrio entre el entorno y la unidad de cultivo y de esta manera diferenciar cualquier influencia de fuentes de impacto ambiental en la misma área.

La principal causa de contaminación en un sistema de producción acuícola es ocasionada directamente por la introducción de alimentos y/o nutrientes al medio. De manera directa por el desecho de metabolitos de los organismos en cautiverio y por el alimento no consumido. La acuicultura marina involucra una variedad de especies, creando técnicas y métodos de agricultura. La extensa acuicultura marina involucra el cultivo de peces o mariscos en un hábitat 'natural' sin comida suplementaria agregada y con el impacto mínimo en el ambiente. El cultivo

intensivo de peces marinos, normalmente se practica en jaulas o estanques; lo cual involucra el suministro de alimentos artificiales y medicación con los impactos consecuentes en el ambiente, principalmente debido a la descarga de nutrientes orgánicos e inorgánicos y de químicos usados para la medicación. Estos impactos tienden a ser muy severos en las áreas con el intercambio de agua bajo.

El alimento en acuicultura y los regímenes de alimentación pueden jugar un papel mayor, determinando la calidad y el impacto potencial o no al medioambiente por parte de cultivos de peces. Esto es verdad para los sistemas de cultivos intensivos que emplean los sistemas de producción de acuicultura como trampas puestas en los ríos, estuarios o cuerpos de agua abierta, tanques circulares móviles que funcionan con flujo continuo, *raceways* o sistemas de producción de estanques. Esto quizá sorprenda por el volumen de la materia inorgánica y/o orgánica disuelta y/o suspendida contenida en los desechos de los sistemas de producción de acuicultura manejados intensivamente y derivado de las entradas del alimento, directamente en la forma de los productos finales de digestión del alimento y metabolismo o del alimento no ingerido; o indirectamente a través de eutroficación e incremento de la productividad natural que circunda al sistema.

La acuicultura marina de peces ha sido más intensiva durante los últimos 15 años debido principalmente:

- a. Introducción de nuevas tecnologías.
- b. Expansión de sitios convenientes.
- c. Mejoras en la tecnología del alimento.
- d. Mejoras en el entendimiento de la biología de las especies cultivadas.
- e. Aumento de la calidad del agua dentro de los sistemas de cultivo, y
- f. Aumento en la demanda de peces cultivados.

Ahora se reconoce ampliamente que este desarrollo intensivo de la industria ha sido acompañado por un aumento en los impactos medioambientales (Ervik et al.,

1997). En este contexto, la sostenibilidad de la acuicultura marina intensiva ha sido cuestionada (Read et. al. 2001a). Además de las consideraciones de sostenibilidad, el desarrollo de la acuicultura marina ha llevado a un conflicto de demandas para los recursos costeros. Los impactos medioambientales de actividades de la acuicultura han recibido una cantidad creciente de atención durante los recientes años. Las descargas de la acuicultura al ambiente acuático pueden categorizarse como:

- a. Descargas continuas de la producción de la acuicultura.
- b. Descargas periódicas de las actividades de la granja, y
- c. Descargas periódicas de químicos.

El comportamiento de cualquier tipo de desecho soltado en la columna de agua depende de las condiciones hidrográficas, topografía del fondo y geografía del área en cuestión. Los productos disueltos incluyen amoníaco, fósforo, carbono orgánico disuelto (qué incluye el nitrógeno orgánico disuelto y fósforo orgánico disuelto) y los lípidos producidos de la dieta que puede formar una película en la superficie de agua. El impacto medioambiental de estos productos disueltos depende de la proporción a que se diluyen los nutrientes antes de asimilarse por el ecosistema pelágico.

El origen de cualquier impacto ambiental deriva de la acuicultura intensiva en jaulas y el principal desecho es la materia orgánica vertida, resultado del metabolismo del pez (excreción, mucus, etc.) y el suplemento alimenticio (comida balanceada). Esto causa cambios en las características físicas, químicas y biológicas del ambiente receptor y es más evidente en el sedimento marino (Beveridge et al., 1991; Costa-Pierce, 1996; Barg et al., 1997; Boaventura et al., 1997; Preston and Rothlisberg, 2000; Dosdat, 2001; Aguado, 2001; MAPA, 2002).

La magnitud de algún efecto depende básicamente de la intensidad de producción de peces, la dispersión de desechos, las corrientes y la capacidad de carga del

medio para asimilar cualquier peso orgánico (nitrógeno y fósforo principalmente). La influencia de una granja de jaulas en el sedimento localizado debajo y con un rango de decenas y cientos de metros ha sido estudiada por diversos autores (Weston, 1990; Johnsen et al., 1993; Henderson et al., 1997; McGhie et al., 2000; Morrisey et al., 2000; Molina et al., 2001) y bajo diversas condiciones hidrogeográficas. Cuando la deposición orgánica desechada en el lecho marino supera la proporción de asimilación de nutrientes, el sedimento se pone anaerobio y los organismos del bentos serán afectados (Gowen et al., 1991; Angel et al., 2000). Previo a esto, habría un grado de enriquecimiento orgánico acompañado por la acumulación de compuestos de nitrógeno y fósforo (Holby and Hall, 1991; Hall et al., 1992). Estas perturbaciones se ligan a las variaciones espaciales y temporales y algunos parámetros químicos del sedimento podrían sufrir cambios antes que otros.

El monitoreo de impactos ambientales de la acuicultura es la colección regular de datos biológicos, químicos o físicos de las situaciones pre-determinadas tal que los cambios ecológicos atribuibles a los desechos de la acuicultura pueden cuantificarse y evaluarse" (GESAMP, 1996). El cultivo intensivo, sin embargo, genera cantidades grandes de desechos orgánicos que se vierten inmediatamente al ambiente, alrededor de la granja, que a menudo resulta en los cambios medioambientales adversos como la desoxigenación (Hirata et al., 1994), emisiones gaseosas de sulfuro de hidrógeno (Tsumumi, 1995) y blooms de plancton dañino (Nishimura, 1982), llevando a consecuencias negativas para la dirección de la granja y el ambiente. Por consiguiente, nosotros necesitamos clarificar el criterio y los umbrales críticos para ambientes de granjas de peces que permitan la acuicultura sustentable.



II. Antecedentes

La producción acuícola mundial de la familia Lutjanidae se refiere básicamente a dos especies (*Lutjanus argentimaculatus* y *L. riselli*) y solo se realiza en siete países asiáticos, destacando Malasia y China con una producción de 2,997 TM (FAO, 1999). En dichos países, aunque ya se realiza la reproducción y el cultivo larval de estas especies, su cultivo comercial aún depende de la colecta de los juveniles silvestres.

Durante los últimos cinco años se han publicado una serie de artículos que abarcan temas como el impacto de cultivo de peces en la química de la columna de agua y parásitos (Papoutsogiou et al., 1996), efectos en los nutrientes y plancton (Pitta et al., 1999), efectos en los pastos marinos (Delgado et al., 1999), acumulación de materia orgánica en los sedimentos debajo de las jaulas de granjas de peces (Karakassis et al. 1998), el proceso de la recuperación de bentos después de la cosecha en el cultivo de peces (Karakassis et al., 1999; Mazzola et al., 2000; La Rosa et. al., 2001) y los efectos en la geoquímica del sedimento y organismos del bentos (McDougall y Black, 1999; Karakassis et al., 2000; Mazzola et al., 1999; La Rosa et. al. 2001b; Mirto et al., 2002).

Los impactos medioambientales de actividades de acuicultura han recibido una cantidad creciente de atención durante los recientes años (e.g. Gowen y Bradbury, 1987, Iwama, 1991, Wu, 1995). La investigación se enfoca normalmente en los ciprínidos, ostras, mejillones, y salmónidos, y hay una falta general de información con respecto a las especies marinas de cultivo como el besugo y mero (Munday et al., 1994; Karakassis et al., 1998), a pesar de la expansión de la industria de cultivo de las dos especies en las áreas del sur del hemisferio norte europeo. Cualquier material descargado en el mar inevitablemente causa algún cambio en el ambiente. Tal cambio puede ser grande o pequeño, duradero o transeúnte, de ancha cobertura o sumamente localizado. Si el cambio puede detectarse y puede considerarse como dañino, constituye contaminación (Clark, 1998). La

contaminación de varios tipos es responsable de alta mortalidad de peces en numerosas jaulas en la operación de cultivo (Beveridge, 1996).

La producción de animales acuáticos cultivados es dependiente de la provisión y suministro de nutrientes, ya sea directamente en la forma de comida y/o compuestos de alimentación para los organismos, o indirectamente en la forma de fertilizantes. Se deduce que la proporción de suministro y asimilación de esta entrada de nutrientes a la granja jugará un papel importante en los rendimientos de nutrientes y/o desechos de la producción (López Alvarado, 1997; McGoogan y Gattin, 2000; Sugiura y Hardy, 2000; Cho y Bureau, 2001). Es más, estos rendimientos y sus impactos ambientales podrían, a su vez, variar, dependiendo del sistema de cultivo empleado (sistema abierto o cerrado); en la cantidad de comida/nutrientes de la granja y administración del agua; y la capacidad asimilativa del ambiente acuático y terrestre circundante (European Commission, 1995; Tacon et al., 1995; Phillips, 1997; Asian Development Bank and Network of Aquaculture Centres in Asia- Pacific, ADB/NACA, 1998; Beveridge et al., 1998; Black, 2001; Lawrence et al., 2001; Moss et al., 2001; Wu, 2001; Tacon, 2001). Así mismo también derivaran del tipo de cultivo o encierro que sea utilizado intensivo, semi-intensivo o extensivo y de la cantidad de productos que sean utilizados en su desarrollo.

Los nutrientes (nitrógeno y fósforo principalmente) desechados de un sistema de cultivo de jaulas de peces, puede separarse en fragmentos disueltos (excreciones disueltas y re-disolverse en los sedimentos), y fragmentos de partículas (alimentos no ingeridos pelotillas fecales, más peces muertos). Estos nutrientes pueden establecerse finalmente y acumularse en los sedimentos. La cantidad de nutrientes cargados al ambiente ha sido calculada para diferentes especies de peces, incluyendo el besugo (*Sparus aurata*) (e.g. Holby y Hall, 1991, Neori y Krom, 1991, Hall, 1992, Schwartz y Boyd, 1994, Molina Domínguez et al., 1997). Sin embargo, en la mayoría de los estudios, la cantidad de nutrientes soltada al ambiente es teóricamente calculada, y sólo algunos de ellos son basados en la

determinación de nutrientes de campo. Algunos autores hacen pensar en la necesidad de mediciones directas de nutrientes, ambos en desechos sólidos y disueltos (Merican y Phillips, 1985, Ackefors y Enell, 1990).

Los impactos medioambientales de granjas de peces en el medio marino cubre varias escalas espaciales y temporales Silvert (1992) tiene clasificados estos impactos como internos (efectos particulares de la granja en si misma y su ambiente inmediato), local (los impactos que afectan las granjas cercanas y las poblaciones salvajes dentro de el orden de un kilómetro) y regional (impactos involucrando un cuerpo de agua más grande con escalas espaciales de muchos kilómetros y escalas de tiempo que van de un solo ciclo de la marea a una estación entera). Los efectos locales han sido dirigidos extensivamente en varios estudios particularmente con referencia a los nutrientes de la columna de agua y plancton (Papoutsoglou et al., 1996; Pitta et al., 1999; Karakassis et al., 2001), efectos en pastos marinos (Delgado et al., 1999; Pergent et al., 1999; Ruiz et al 2001), la dinámica de acumulación de sedimento bajo las jaulas de cultivo (Holby and Hall, 1991.; Hall et al, 1992; Holmer and Kristensen, 1992, Karakassis et al., 1998), el proceso de la recuperación del bentos después de la cesación de la granja (Lu y Wu, 1998.; Karakassis et al., 1999) y el efecto en la geoquímica del sedimento y organismos bentónicos (Brown et al, 1987; Weston, 1990.; McDougall y Black, 1999; Mazzola et al., 1999, 2000.; Karakassis y Hatziyanni, 2000.; Karakassis et al., 2000, 2002.; La Rosa et al., 2001; Mirto et al., 2002). La mayoría de estos estudios ha indicado que los efectos visibles de la acuicultura en el medio ambiente del bentos son encontrados dentro de una distancia corta, normalmente no excediendo 25 a 30 m del borde de las jaulas de peces. Se conoce bien que las granjas descargan una cantidad sustancial de nutrientes en el ambiente marino (Holby y Hall, 1991.; Hall et al., 1992) y por consiguiente sería razonable esperar efectos a escalas espaciales más grandes, particularmente cuando un grupo de granjas se establece en una bahía costera. Tales efectos de gran potencia han sido informados por Pohle et al. (2001) en la costa canadiense que muestra señales de stress para la macro fauna del bentos a distancias más

grande que 200 m de cualquier granja de cultivo en esa área. No es conocido si estos cambios también afectan a las comunidades de peces de zonas de desarrollo de la acuicultura adyacentes y particularmente en los ambientes oligotróficos donde la escasez de nutrientes limita la productividad y la producción de pesquerías. Este tipo de información sería importante para ordenar y estimar el potencial negativo o efecto positivo de la acuicultura en las pesquerías costeras y por consiguiente para concluir si hay una base objetiva para confrontar entre estos dos usos importantes de la zona costera.

En 1999 en el Japón se estableció "la Ley para Asegurar la Producción de Acuicultura Sustentable" cuyo objetivo es el promover la mejora de áreas de acuicultura por las cooperativas de los pescadores, que dirige a granjeros en cada granja local, y para prevenir contagios de enfermedad en organismos cultivados. Para promover mejoras de la calidad medioambiental en la vecindad de actividades de acuicultura, la Ley estableció el criterio medioambiental y los indicadores.

Las granjas de peces generan ortofosfatos y compuestos nitrogenados y concentraciones altas de nutrientes se han observado en las aguas de la superficie adyacentes. Sin embargo, las concentraciones bajan rápidamente con respecto a la distancia de las jaulas como resultado de la dilución y asimilación en el fitoplancton o algas que crecen en los alrededores del encierro de las jaulas e instalaciones (e. g. Aure et al., 1988; Hensey, 1992; Wildish et al., 1993).

La mayoría de los trabajos encontrados hacen referencia en el estudio de sedimentos debajo de las jaulas y en sedimentos conforme se aleja del sistema; de estudios sobre el comportamiento de la fauna benthónica o pelágica basándose en la cantidad de material desechado tomando como común denominador a la cantidad de amonio que se encuentra en el sedimento, sin tomar en cuenta las características de la columna de agua, así como sus relaciones

entre ellos, aquellos encontrados solo están desarrollados en aguas lénticas con poco intercambio.

La finalidad del presente trabajo es analizar diversos parámetros físicos y químicos para poder determinar como se manifiesta la presencia de diversos compuestos suspendidos y/o disueltos en la columna de agua en aguas abiertas como lo es la bahía, estableciendo relaciones con otros factores climáticos. Evaluando el comportamiento de las características químicas de la columna de agua alrededor de una granja de peces en un ciclo de producción.

Conocer la dinámica del medio marino, en relación con sus parámetros físicos (temperatura, salinidad, corrientes, mareas, tipo de suelo, oleaje, turbidez, transparencia) y químicos (oxígeno, amonio, sulfitos, sulfatos, nitritos, nitratos, etc.) es necesario para diseñar estrategias de manejo que optimicen la producción en las jaulas flotantes.

Teniendo en cuenta esta visión es de vital importancia para el éxito de un proyecto el conocer la estructura ambiental del área donde se desarrollara un sistema productivo como el planeado con tanto interés por parte de distintas instituciones educativas, de investigación y sociales. El conocimiento generado ayudara de manera definitiva en la toma de decisiones para este proyecto y contribuirá de manera importante en el éxito del mismo.

III. Objetivo General.

- Estudiar la dinámica de la calidad del agua en un sistema de jaulas flotantes en el mar para engorda de lutjanidos.

Objetivos específicos:

- Describir el comportamiento de los parámetros más importantes de la calidad de agua para el cultivo de peces en jaulas.
- Determinar si existen relaciones en un ciclo de cultivo entre los parámetros de la calidad del agua.
- Estimar si hay diferencias entre la calidad de agua del sistema y su entorno en condiciones de cultivo de peces en baja densidad 17 peces/m³.
- Establecer una relación entre las variaciones de la calidad del agua en el sistema y la bahía y el aporte pluvial.

Por la población de Santa Cruz de Miramar, pasa un pequeño afluente pluvial permanente que se alimenta de la cordillera montañosa perteneciente a la Sierra madre occidental y que en la época de lluvias es una descarga importante para la zona donde esta establecido el sistema.

El sistema de jaulas esta compuesto por un solo tren de 10 jaulas de 2 en 2 y adjuntas teniendo una formación de 5 x 2 jaulas (Fig. 2). Estas jaulas tienen una forma cúbica de 5 metros y están colocadas alineando su base superior a un metro sumergidas con respecto al nivel del mar, y en su base inferior a 6 metros suspendidas del fondo marino, ancladas en el fondo por medio de muertos o sistemas de anclaje a través de costal de arena dispuestos en el fondo (Fig. 3).

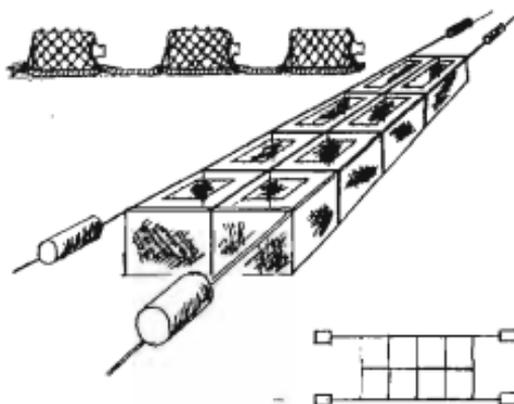


Figura 2. Disposición del sistema de jaulas flotantes para el cultivo de Pargos en el mar.



Figura 3. Sistema de anclaje de las jaulas flotantes.

Tabla 1. Coordenadas de ubicación del sistema de jaulas flotantes.

Vértice	Longitud N	Latitud W
1	478.214	2,370,000
2	478.514	2,370,000
3	478,514	2,369,800
4	478.214	2,369,800
5	478,214	2,370,000

El área definida tiene un fondo de arena y limo en la mayoría con un rango de profundidad de 20 metros promedio. El proyecto piloto opera un sistema de cultivo en jaulas flotantes para acondicionamiento, crecimiento y engorda de peces marinos (*Lutjanus* sp.) con carácter experimental. Diseñado y construido en Junio del 2003 en la etapa de experimentación. Se emplea tecnología y los conocimientos adquiridos en la primera experiencia de manejo de engorda en jaulas y aprovechamiento de los recursos disponibles en la Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera y de la Sociedad Cooperativa de la Escuela.

Parámetros físico químicos.

Se determinaron diversos parámetros físicos y químicos de la zona de las jaulas durante el periodo comprendido de los meses de junio a noviembre del año 2004 con muestreos diarios para oxígeno disuelto, temperatura y pH; y catorcenales para Amonia (NH₄), Nitritos (NO₂), Nitratos (NO₃), Fosfatos (PO₄) y Sulfatos (SO₄).

La temperatura, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno y pH se determinaron *in situ*. Para la determinación de temperatura, saturación de oxígeno y oxígeno disuelto, se utilizó un oxímetro comercial de la marca YSI modelo 55, acondicionado con un cable de 30 pies y cuya lectura se realiza de manera directa en la pantalla; se tomaron las lecturas de tres estratos: superficie (0 metros), media agua (6 metros) y fondo (12 metros) y en cuatro jaulas que se encontraban en el sistema todo en el periodo comprendido del 10 de junio al 30 de agosto del año 2004. Para la determinación del pH solo fue de superficie utilizando un potenciómetro de bolsillo de la marca HANNA, calibrado con una solución búfer de 7.00 pH y al igual que el oxímetro la medición es directa de la pantalla, solo se tomo una sola estación situada en el centro de las jaulas.

Para la determinación de las concentraciones de nutrientes disueltos en la columna de agua (amonio, nitritos, nitratos, fosfatos y sulfatos), se realizaron las colectas en botellas de agua en tres estaciones diferentes, cada una con dos estratos superficie y media agua. La estación uno esta ubicada en el centro del sistema, la estación dos en el extremo norte del sistema y la tercera fuera del sistema aproximadamente a 600 metros de distancia dirección norte, se anexa la tabla de abreviaciones de las estaciones de muestreo. Estos parámetros se determinaron por medio del análisis especto fotométrico con lectura de índice de refracción en un fotómetro marca YSI modelo 9000 cuya lectura de refracción es trasladada a una tabla de datos que nos proporciona el resultado final. Para el caso de amonio, nitritos y nitratos el resultado esta expresado en cantidad de

miligramos de nitrógeno disuelto en un litro (mg/l N), en el de fosfatos la tabla indica en miligramos de fosfatos disueltos en un litro (mg/l PO₄) y en el de sulfatos la cantidad de miligramos de estos disueltos en un litro (mg/l SO₄).

Tabla 2. Claves de estaciones de muestreo.

Abreviatura	Nombre	Localización
E1S	Estación 1 Superficie	Centro de las jaulas
E1F	Estación 1 Fondo	Centro de las jaulas
E2S	Estación 2 Superficie	Extremo norte de las jaulas
E2F	Estación 2 Fondo	Extremo norte de las jaulas
E3S	Estación 3 Superficie	600 metros dirección norte fuera del sistema
E3F	Estación 3 Fondo	600 metros dirección norte fuera del sistema

Métodos estadísticos.

Se realizaron graficas de todos los datos, utilizando una hoja de calculo EXCEL con medidas de tendencia central (media, mínimo, máximo, desviación estándar). Se realizaron Matrices de correlaciones de todos los parámetros (temperatura, oxígeno disuelto, pH., nitritos, nitratos, amonio, fosfatos y sulfatos). Asi como análisis de CLUSTER para las variables estudiadas y un análisis estadístico de las componentes principales. Además, se realizó un Análisis de discriminante para los puntos de muestreo de acuerdo a Ponce y Arredondo (1998).

V. Resultados

Descripción del comportamiento de los parámetros más importantes de la calidad de agua para el cultivo de *L. guttatus* en jaulas.

Determinaciones diarias

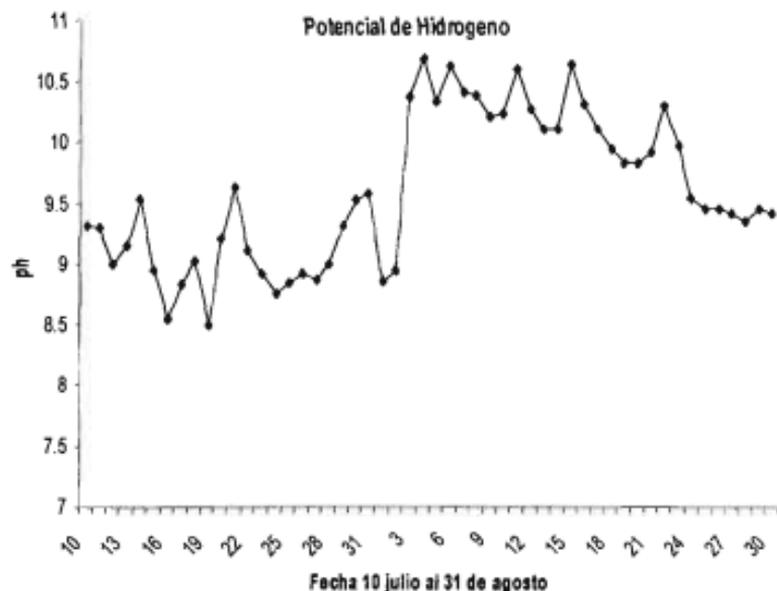


Figura. 4. Variación temporal de pH en el agua del sistema de cultivo.

En la figura 4 se observa una estabilidad del pH +/- 1 unidad hasta el 4 de agosto, aumentando del 5 de agosto hasta el 31, con una tendencia a disminuir al final de los muestreos.



Figura 5. Variación temporal de la profundidad de visión del disco de Secchi en el agua del sistema de cultivo.

Se presentó una disminución durante el mes de agosto de la profundidad de visión del disco de Secchi mostrando un comportamiento similar al pH.

Temperatura

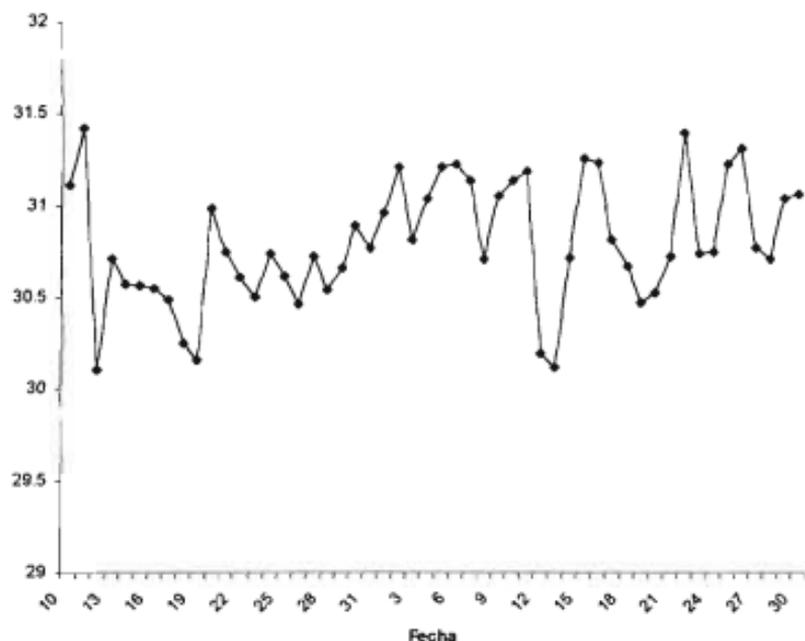


Figura 6. Variación temporal de la temperatura en el agua del sistema de cultivo.

La temperatura tuvo poca variación durante el periodo de muestreo (± 1.4 °C), a diferencia de la temperatura y pH, no se marca una diferencia en el final de este periodo.

Oxígeno disuelto

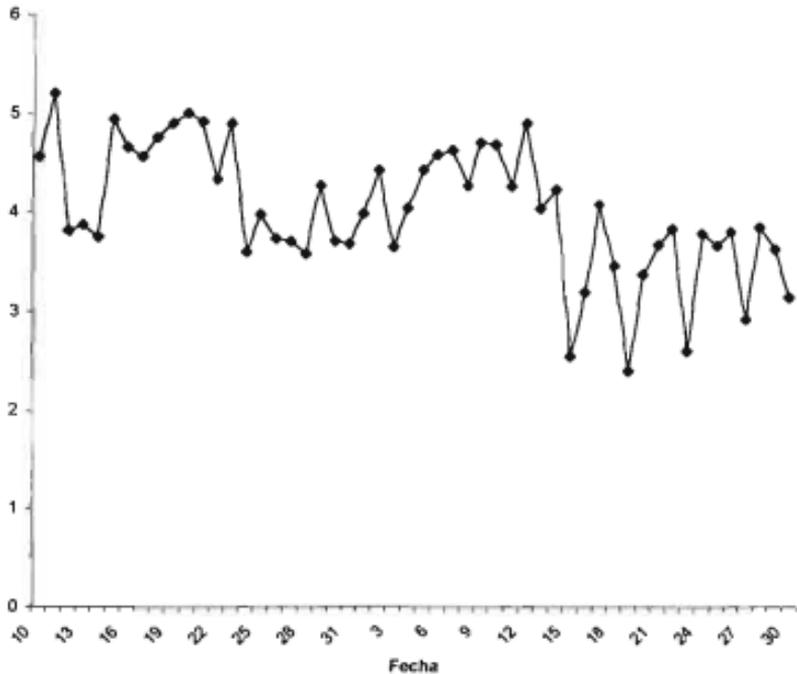


Figura 7. Variación temporal de la concentración de oxígeno disuelto en el agua del sistema de cultivo.

El oxígeno presentó variación muy marcada en la segunda parte del mes de agosto con el mismo comportamiento que pH y transparencia.

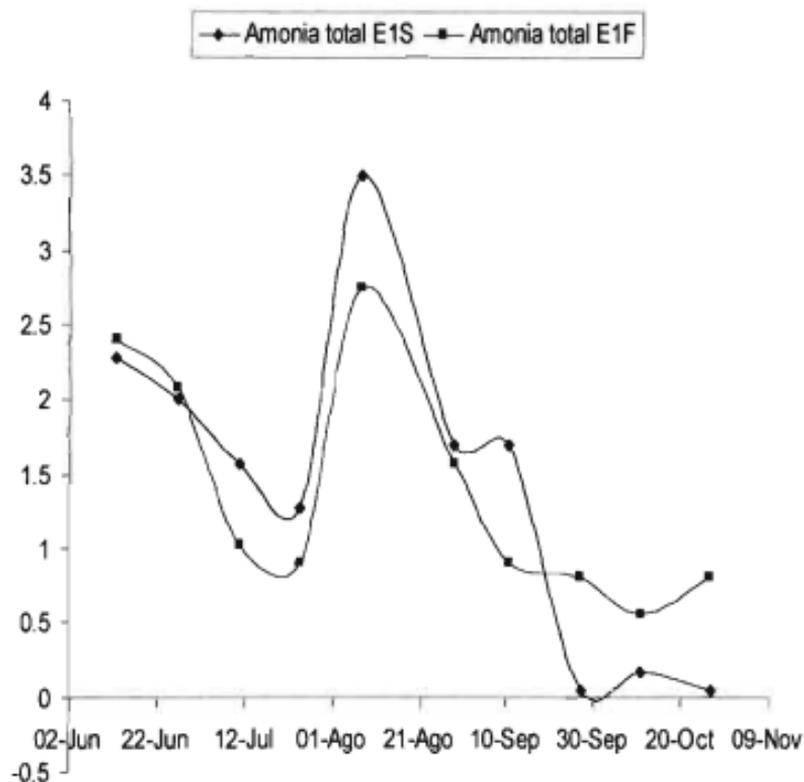


Figura 8. Variación temporal de la concentración de amonio en al agua de la estación 1 del sistema de cultivo.

El amonio total tuvo una pequeña disminución en los primeros meses pero en agosto obtuvo un incremento importante, bajando nuevamente al termino del mes y tendiendo a niveles bajos hasta el final.

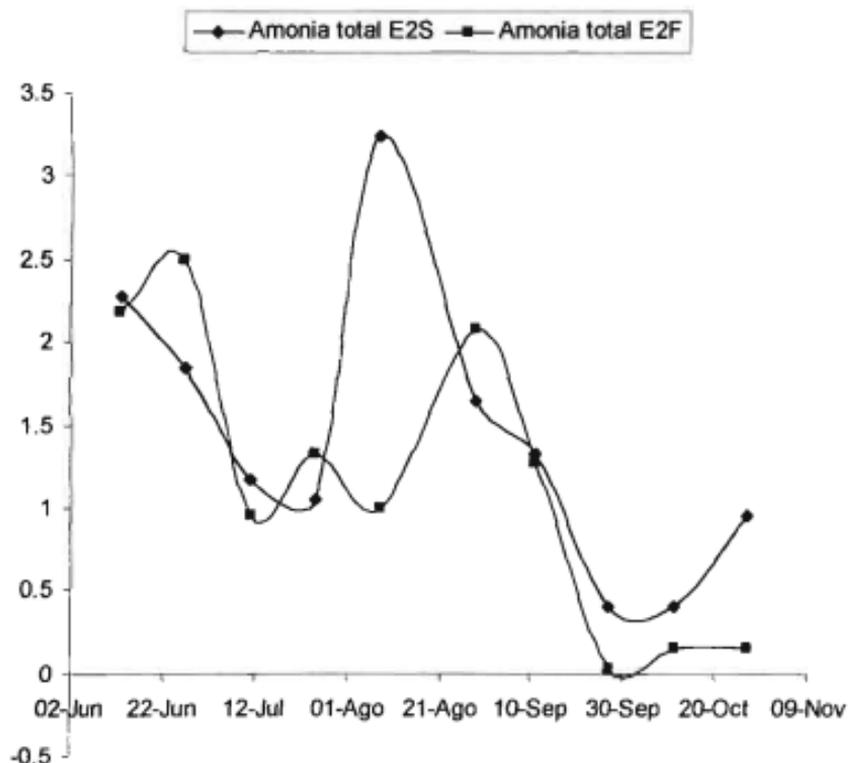


Figura 9. Variación temporal de la concentración de amonio en al agua de la estación 2 del sistema de cultivo.

Al igual que en la estación 1 se presentó una disminución hasta finales de julio, con un incremento en agosto en la estación de superficie, para al final del mes disminuyó, pero la lectura de fondo presenta características inversas, disminuyendo ambas al final del ciclo.

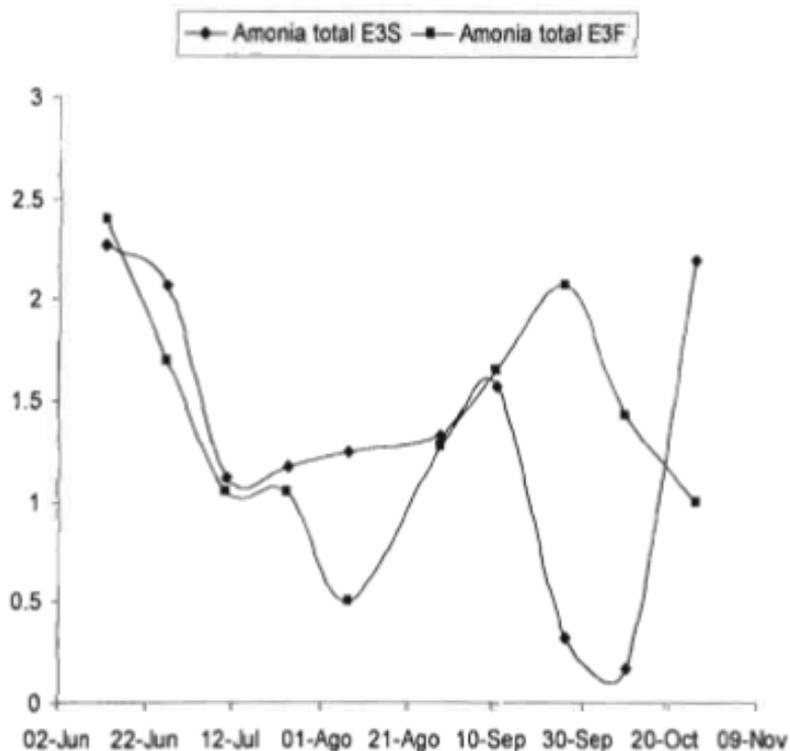


Figura 10. Variación temporal de la concentración de amonio en el agua de la estación 3 del sistema de cultivo.

El amonio total presenta disminución hasta principios de julio, con poca variabilidad durante agosto pero al final de septiembre la estación E3S presenta un incremento importante.

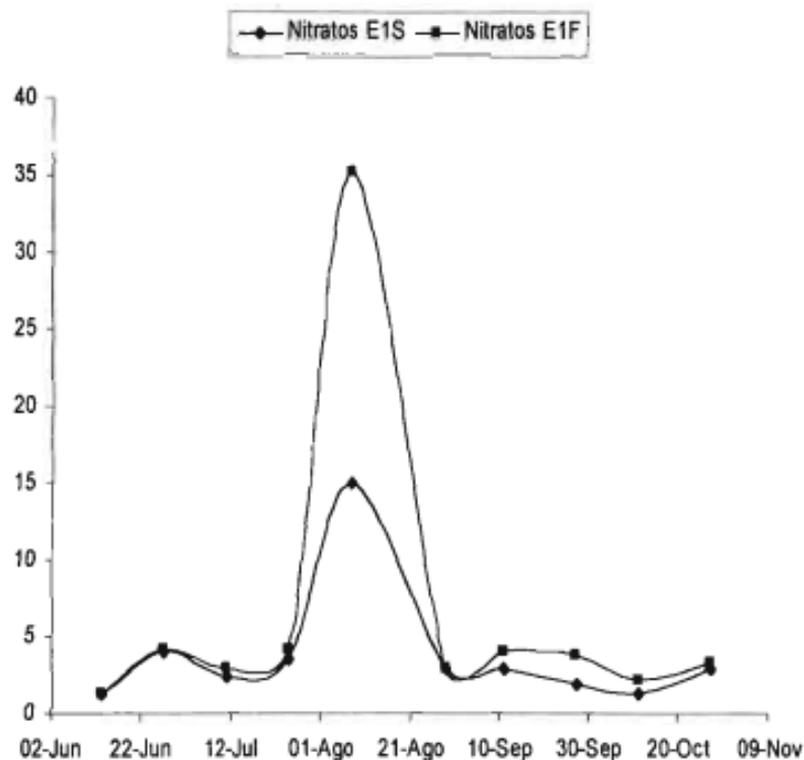


Figura 11. Variación temporal de la concentración de nitratos en el agua de la estación 1 del sistema de cultivo.

La concentración de nitratos se presenta de manera uniforme a lo largo del ciclo exceptuando un incremento durante el mes de agosto para después volver a valores iniciales.

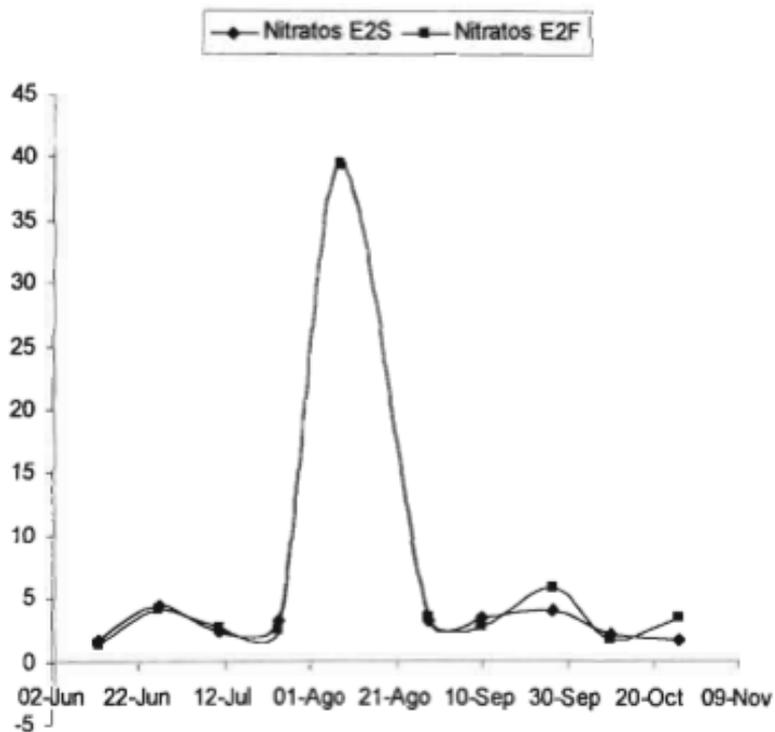


Figura 12. Variación temporal de la concentración de nitratos en al agua de la estación 2 del sistema de cultivo.

De la misma manera en esta estación se muestra el incremento de los valores de nitratos en el mes de agosto para regresar a valores iniciales al término del mes y continuar sin variaciones.

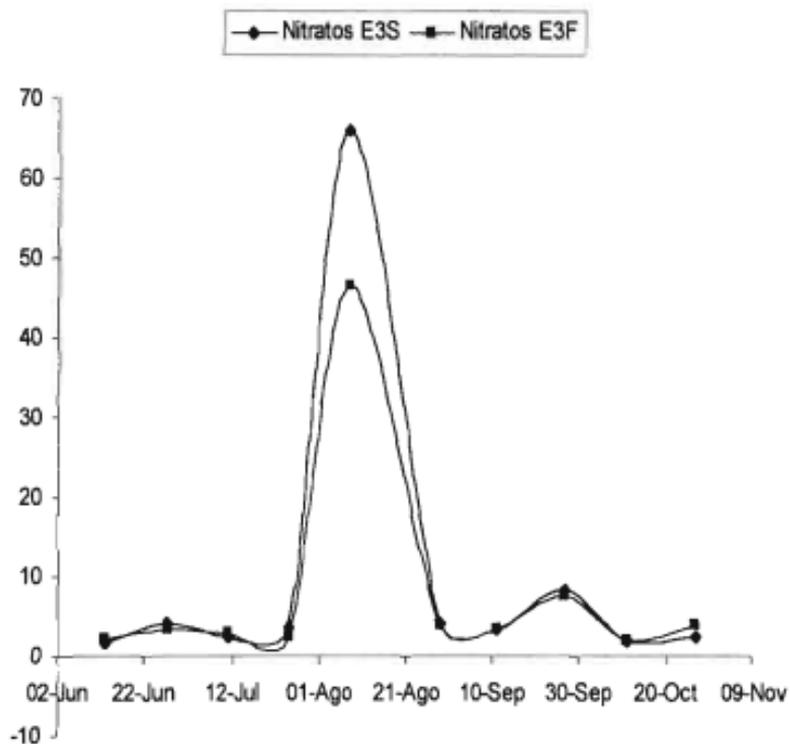


Figura 13. Variación temporal de la concentración de nitratos en al agua de la estación 3 del sistema de cultivo.

La misma variación de valores se presenta en esta estación de muestreo en el mes de agosto para regresar a valores uniformes al término del mismo.

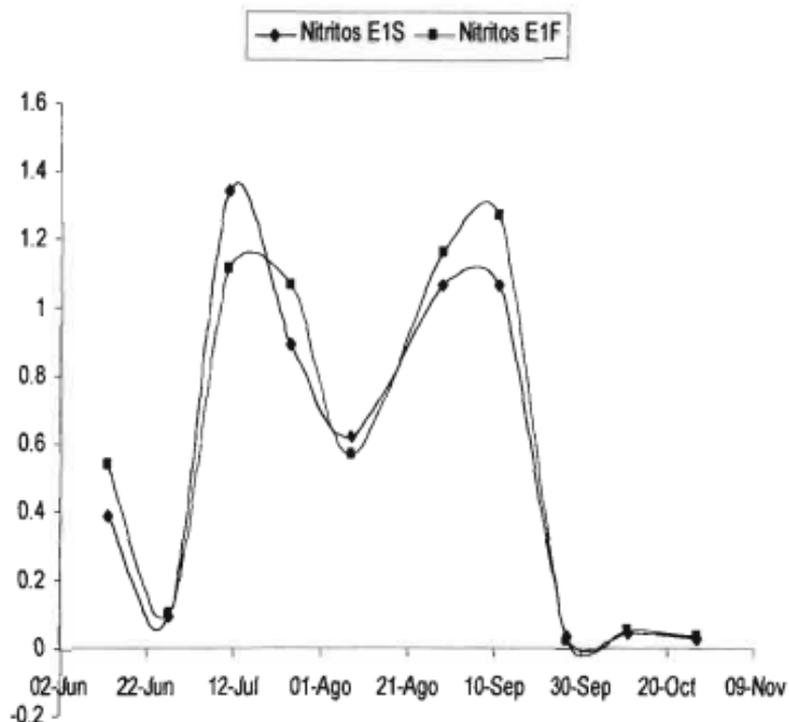


Figura 14. Variación temporal de la concentración de nitritos en al agua de la estación 1 del sistema de cultivo.

La variabilidad en este parámetro es grande en cualquier fecha de muestreo teniendo los valores más altos entre julio y septiembre, con una uniformidad en el final del ciclo.

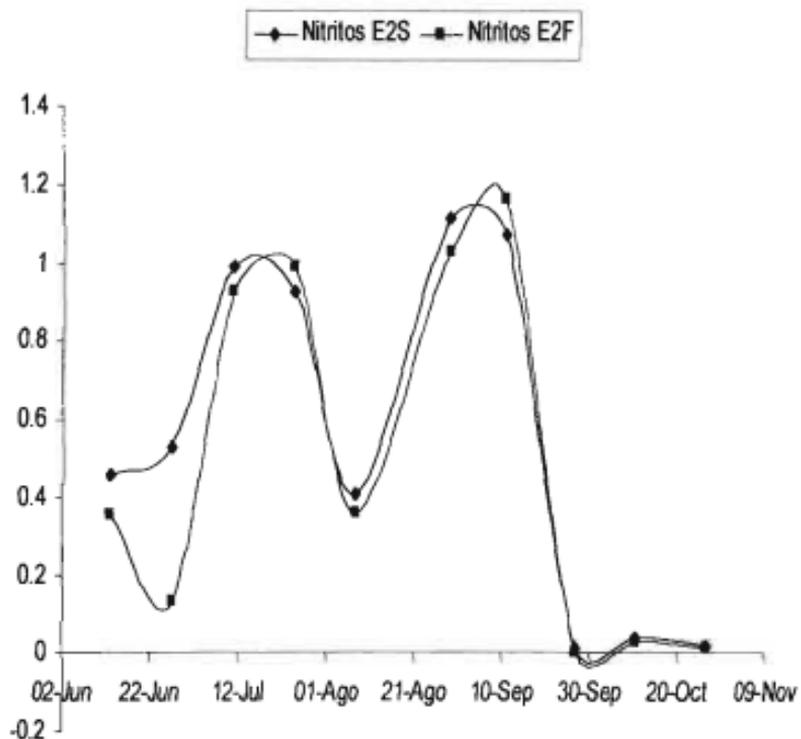


Figura 15. Variación temporal de la concentración de nitritos en al agua de la estación 2 del sistema de cultivo.

El comportamiento es similar al de la estación 1, con valores altos entre los meses de julio a septiembre y datos menos variables en valores para el final.

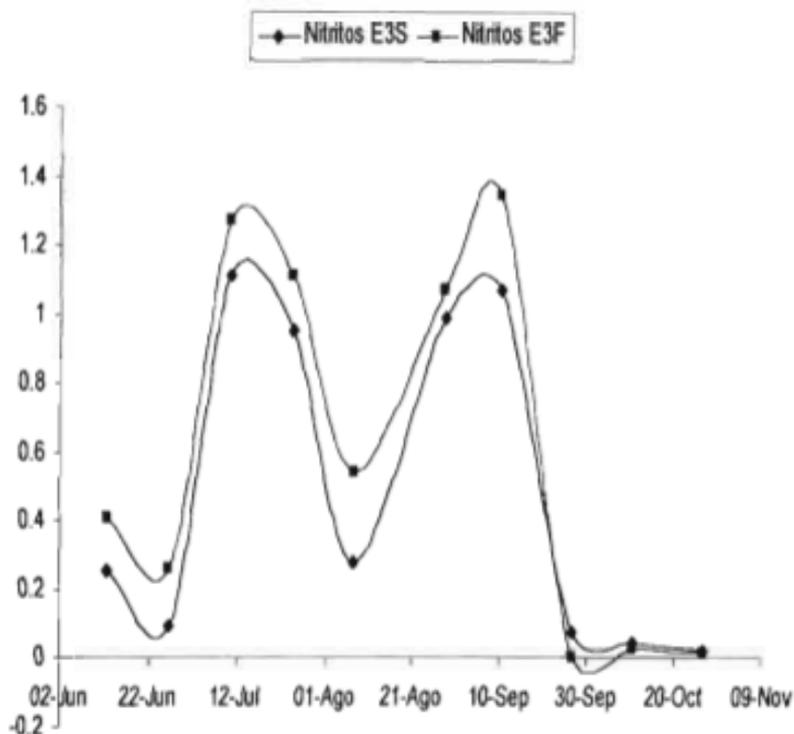


Figura 16. Variación temporal de la concentración de nitritos en al agua de la estación 3 del sistema de cultivo.

La estación 3 tuvo un comportamiento similar a la estación 1 y 2, con variabilidad alta entre los meses de julio y septiembre y con una uniformidad al final del ciclo.

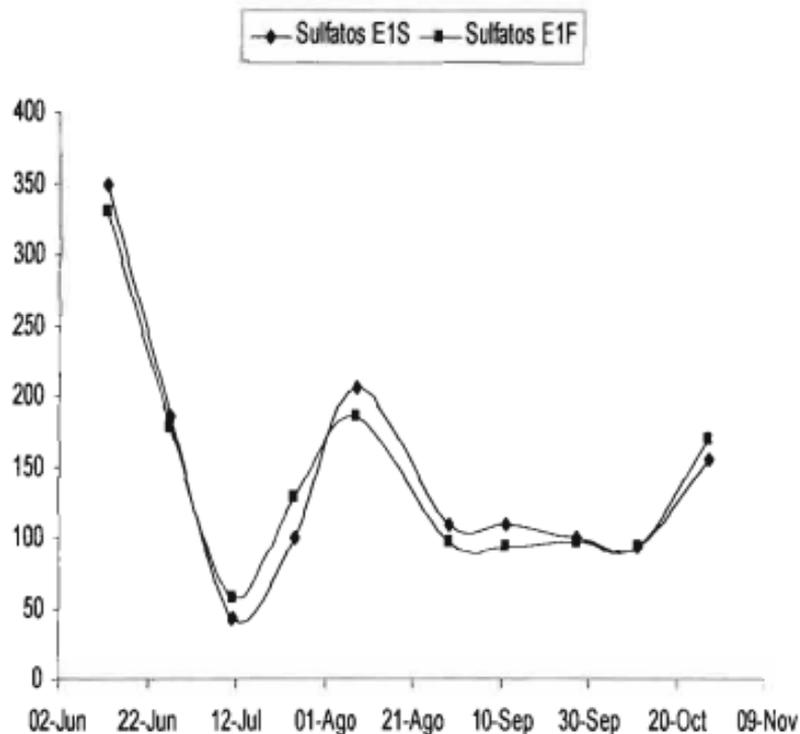


Figura 17. Variación temporal de la concentración de sulfatos en al agua de la estación 1 del sistema de cultivo.

Los primeros valores de esta estación son muy altos, con disminución en julio y pequeña variabilidad en los siguientes meses.

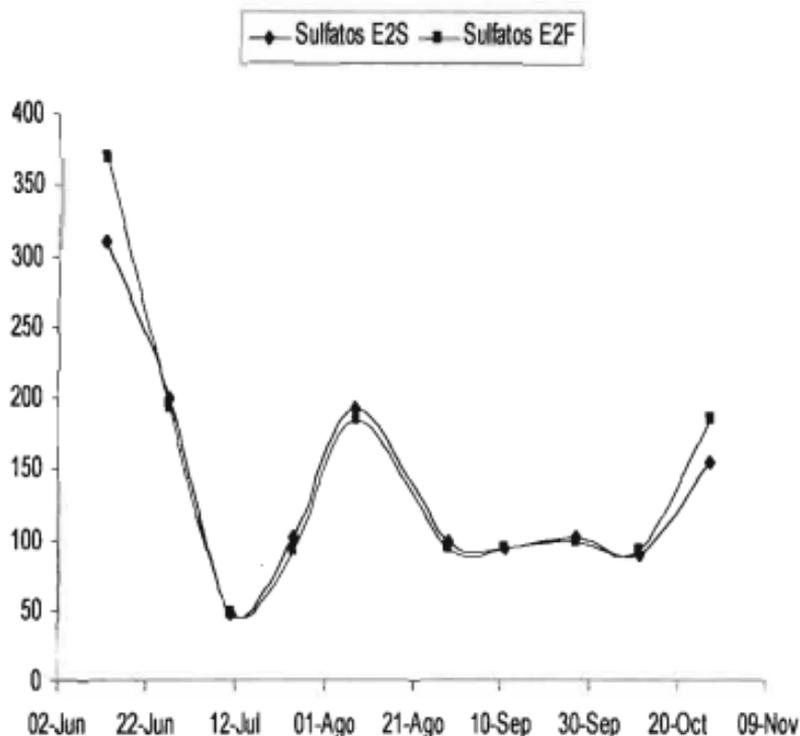


Figura 18. Variación temporal de la concentración de sulfatos en al agua de la estación 2 del sistema de cultivo.

La estación 2 se comporta al igual que la 1, comenzando con valores altos y al final con una menos variabilidad en los valores.

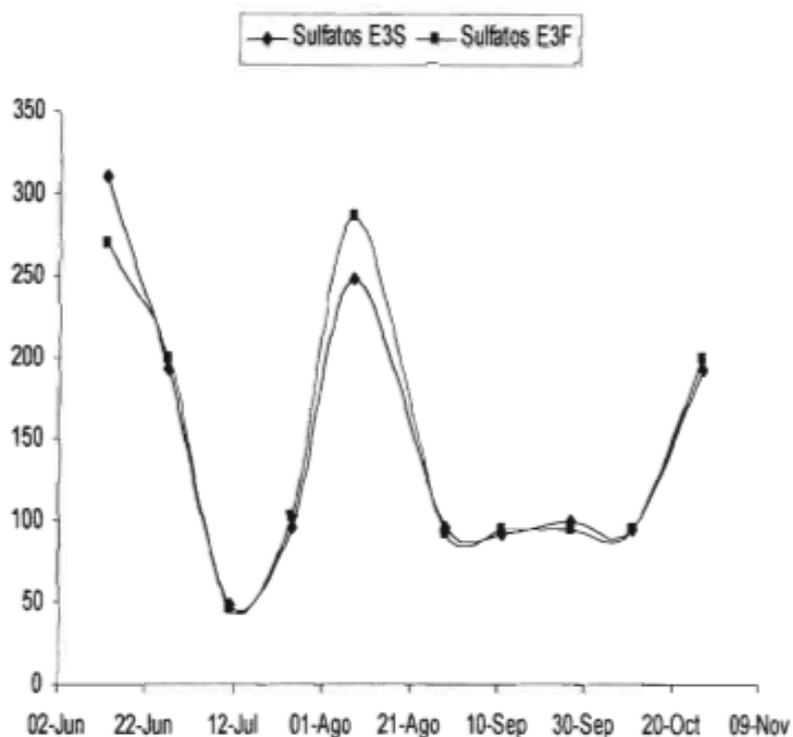


Figura 19. Variación temporal de la concentración de sulfatos en al agua de la estación 3 del sistema de cultivo.

La estación 3 en las concentraciones iniciales presento el mismo comportamiento que la estación 1 y 2; con una disminución, sin embargo en el mes de agosto, hay un incremento para al finalizar el mes disminuir y estar con más uniformidad a lo largo del resto del ciclo.

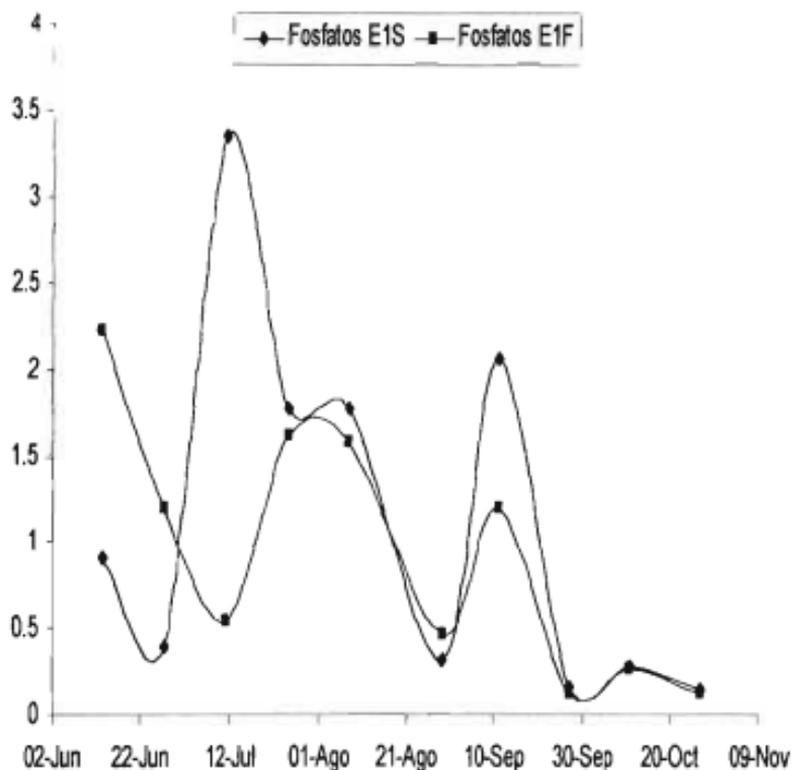


Figura 20. Variación temporal de la concentración de fosfatos en al agua de la estación 1 del sistema de cultivo.

Los valores de fosfatos en esta estación son variables al principio del ciclo, con un comportamiento similar en superficie y fondo al final del ciclo, presentando variabilidad en los datos pero al final del ciclo con una tendencia uniforme

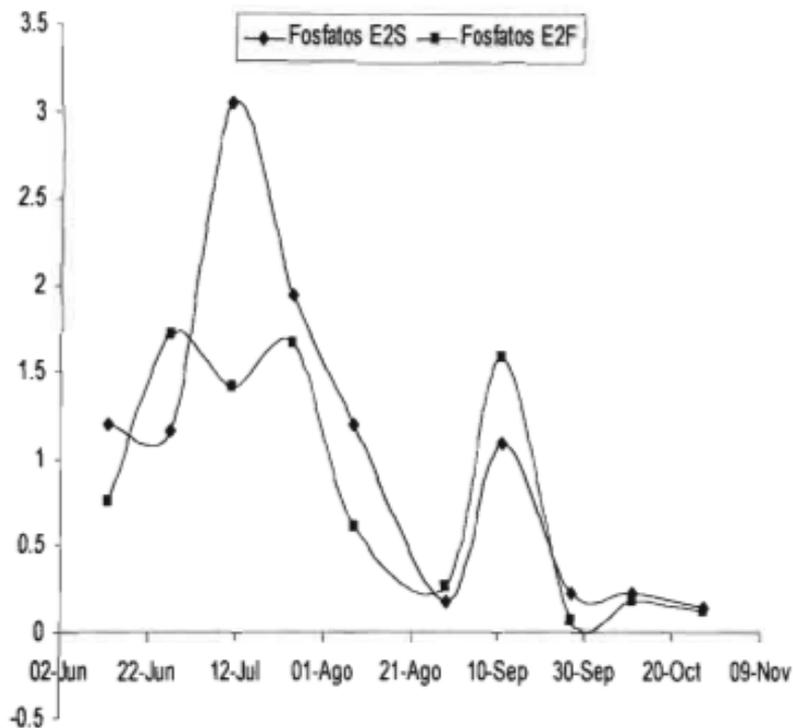


Figura 21. Variación temporal de la concentración de fosfatos en al agua de la estación 2 del sistema de cultivo.

En los primeros muestreos los datos son dispares al principio pero tomando un comportamiento similar a partir del mes de agosto, y con uniformidad en los últimos resultados de los muestreos.

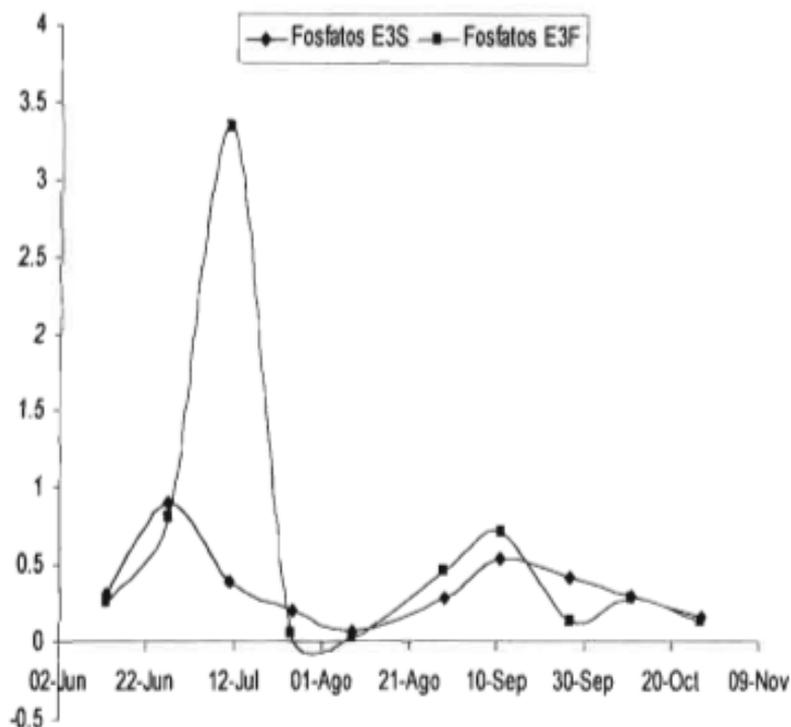
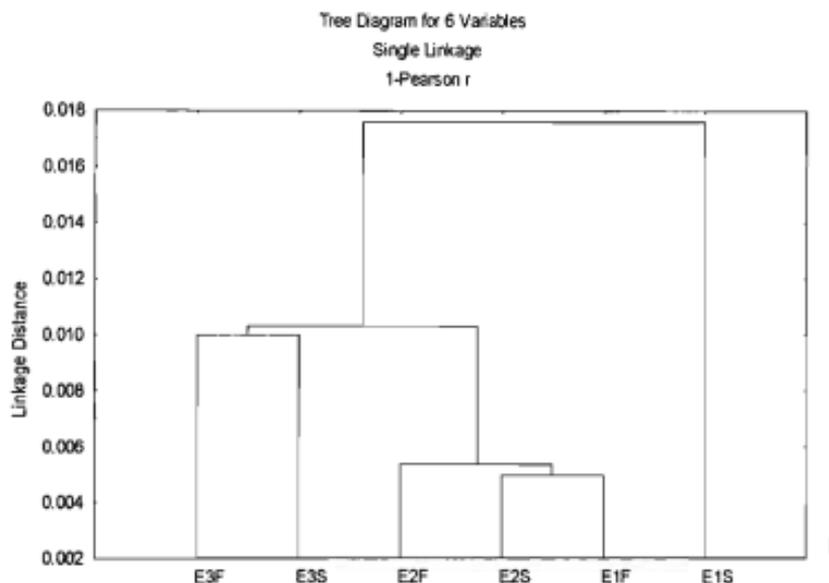


Figura 22. Variación temporal de la concentración de fosfatos en al agua de la estación 3 del sistema de cultivo.

En esta graficas se observa que el parámetro de la estación E3F se dispara muy por encima de los demás en el mes de julio tornándose uniformes en el resto del ciclo y con poca variabilidad a lo largo de todo el ciclo.

Relación de la calidad del agua del sistema de cultivo de jaulas flotantes y su entorno



Las estaciones E3S y E3F son muy parecidas entre si, estas estaciones son las control, estando fuera del sistema, mientras las estaciones E2F, E2S y E1F, son más parecidas entre si, la más diferente entre ellas es la E1S, cuyo comportamiento fue distinto a las otras.

Tabla. 3. Media de valores \pm SE de los parámetros fisicoquímicos del sistema de cultivo en jaulas.

Parámetros	Estación 1 (centro)	Estación 2 Jaulas norte	Estación 3 Control
Temperatura	30.8 \pm 0.49 ^a (29.4-31.7)	30.7 \pm 0.50 ^a (29.5-31.8)	30.7 \pm 0.54 ^a (28.9-32.1)
Salinidad (ups)	34 ^a	34 ^a	34 ^a
pH	9.5 \pm 0.68 ^a (8.5-10.69)	9.3 \pm 0.59 ^a 8.76-10.	9.2 \pm 0.32 ^a (8.5-10.21)
Oxígeno disuelto(mg/l)	5.0 \pm 0.38 ^a (3.7-5.6)	5.1 \pm 0.37 ^a (3.9-5.8)	5.7 \pm 0.69 ^a (4.2-6.7)
Disco de Secchi (m)	5.4 \pm 1.48 ^a (1.5-8.0)	5.4 \pm 2.00 ^a (1.5-8.0)	5.3 \pm 1.12 ^a (3.5-8.5)
Amonia total-N (μ g/l)	449.0 \pm 302.8 ^a (20-960)	442.5 \pm 318.3 ^a (10-1000)	521.0 \pm 289.7 ^a (20-960)
Nitritos-N (μ g/l)	175.0 \pm 152.4 ^a (6.0-408.0)	160.3 \pm 136.0 ^a (1.0-408.0)	166.3 \pm 152.3 ^a (1.0-408.0)
Nitratos-N (μ g /l)	609.0 \pm 245.7 ^a (170-950)	676.0 \pm 257.0 ^a (333-1350)	768 \pm 319.9 ^a (400-1500)
Ortofosfatos (μ g/l)	335.8 \pm 180.3 ^a (5-1105)	309.9 \pm 166.6 ^a (23-1006)	162.5 \pm 136.3 ^b (10-905)
Sulfatos (μ g/l)	144.05 \pm 80.36 ^a (43.00-350.00)	142.80 \pm 83.09 ^a (48.00-370.00)	147.90 \pm 81.64 ^a (46.00-310.00)

^aEstación 3 = control; . Los rangos están entre paréntesis . No hay diferencias significantes entre rangos (P >0.05) (en la misma fila)

Relaciones en un ciclo de cultivo entre los parámetros de la calidad del agua de las jaulas flotantes.

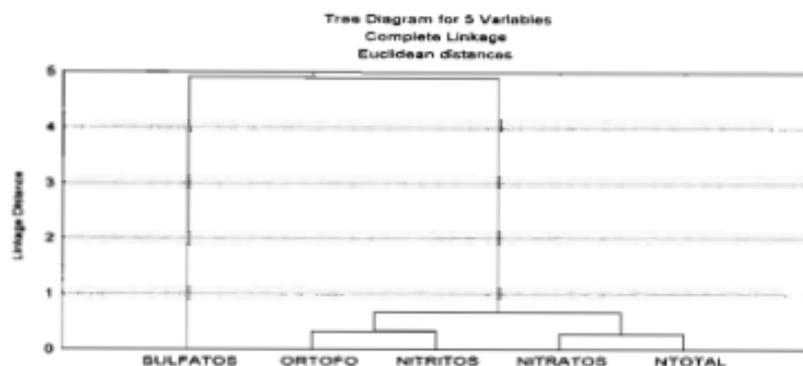


Figura 24. Diagrama de cluster para las variables de nutrientes.

El comportamiento de nitratos y amonía total (NTOTAL) es similar, y ortofosfatos y nitritos también son similares y ambas correlaciones son similares entre ellas, siendo diferente el comportamiento de los sulfatos.

Tabla 3. Valores de los parámetros fisicoquímicos en las componentes principales.

Factor Loadings (Varimax normalized)		
(variables.sta)		
Extraction: Principal components		
(Marked loadings are > .700000)		
	Factor	Factor
	1	2
NTOTAL	-0.03480753	-0.55213566
NITRATOS	0.98529931	0.02718702
NITRITOS	0.99160761	0.11689207
SULFATOS	0.10473177	-0.92726639
ORTOFO	0.351566	0.82073246
Expl.Var	2.08987935	1.8526814
Prp.Totl	0.41797587	0.37053628

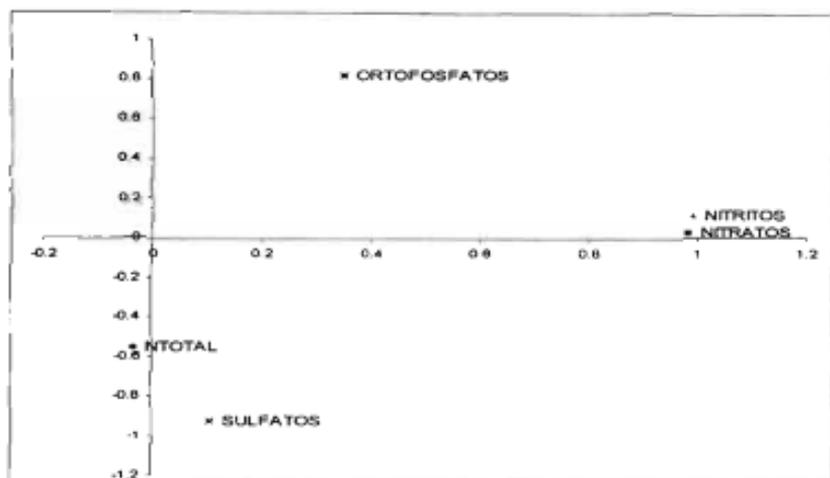


Figura 25. Gráfica de componentes principales de las variables.

Se encontró una relación directamente proporcional en la primer componente de los nitratos y nitritos mostrando la importancia del ciclo del nitrógeno en estos sistemas. En el segundo componente se relacionaron los ortofosfatos y sulfatos.

Relación entre las variaciones de la calidad del agua en el sistema y la bahía y el aporte pluvial.

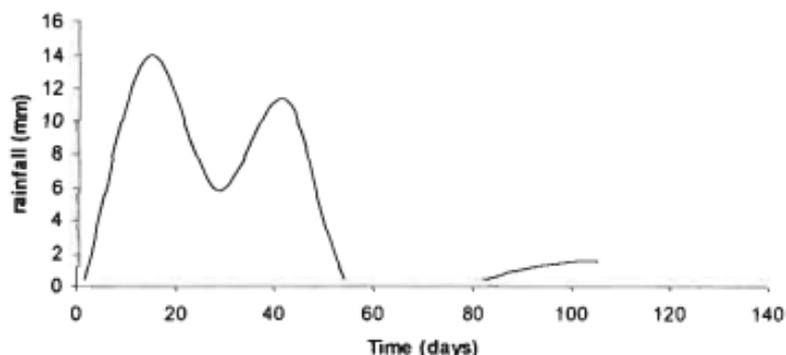


Figura 26. Gráfica de precipitación en el área, por días de cultivo

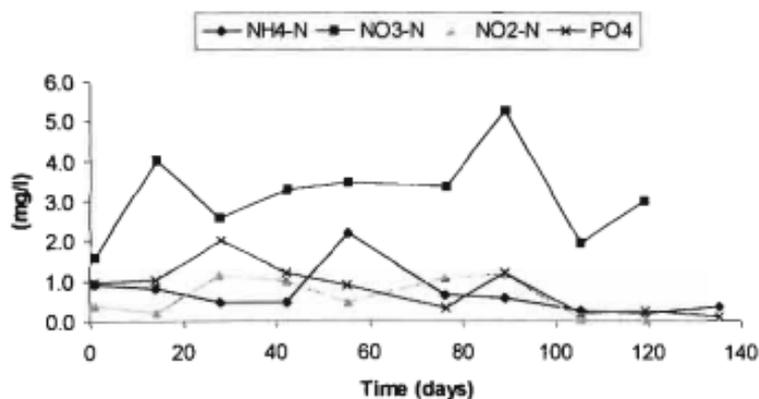


Figura 27. Gráfica de variables de nutrientes durante los días de cultivo

La relación entre las variables y la precipitación se da de manera distinta para cada una de ellas; la media de la amonia comparada con la de precipitaciones se da de manera inversa, mientras la precipitación es alta en dos temporadas, las concentraciones de amonia (NH_4) disminuyen y de manera inversa en los días de no precipitación. Para nitratos (NO_3) las concentraciones bajas al principio nos demuestran que el aumento de los mismos se da a la par de las épocas de mayor precipitación, teniendo sus concentraciones máximas en la segunda temporada de precipitación con la disminución al final del ciclo de cultivo donde no existe precipitaciones en el área. Por el contrario a los nitratos; los nitritos (NO_2) tienen un comportamiento contrario a los nitratos, mientras los primeros aumentan, los segundos disminuyen y de manera inversa cuando los nitratos disminuyen los nitritos aumentan. Para los fosfatos la tabla nos demuestra un comportamiento similar al de las precipitaciones y en relación de manera directa con ella.

Todos los parámetros presentan una estabilidad al final del experimento con valores estables durante los últimos días de cultivo. De esta manera se puede determinar que el factor pluvial afecto de manera importante a los valores de los distintos parámetros estudiados, unos de manera directa y otros de manera inversa.

Así mismo en relación con temperatura, pH transparencia y oxígeno disuelto, la precipitación y el aporte pluvial influyeron de manera determinante en los valores que se muestran, denotando que este factor altera de manera importante la calidad del agua del sistema de cultivo.

VI. Discusión.

Los estudios de Leong (1989) indican que la calidad del agua es uno de los factores que determinan la salud de los peces bajo cultivo comercial. Además, el monitoreo y manejo de la calidad del agua son importantes para asegurar la salud de los peces. La concentración de oxígeno en las jaulas de cultivo fue relativamente baja comparada con otras granjas de peces marinos. Arulampalam et al. (1998) reportan que las concentraciones de oxígeno disuelto en jaulas flotantes ubicadas en canales superficiales localizados entre la Isla de Tengah y Kelang en la Costa Oeste de la Península de Malasia fueron de 5.54 a 7.98 mg/l. En la parte Norte del Golfo de Tailandia, las concentraciones de oxígeno disuelto determinadas en los sistemas de jaulas flotantes en el mar fueron de 0.5 a 8.7 mg/l (Sutanaruk et al., 1995). La parte Norte del Golfo de Tailandia es alta en la concentración de nutrientes desde que este recibe desechos domésticos, industriales y la descarga de granjas de camarón, no obstante se desarrolla una industria de cultivo de peces marinos en jaulas flotantes con gran éxito. En nuestro estudio también el área donde se lleva a cabo el cultivo en jaulas flotantes recibe desechos domésticos y el efluente de áreas deforestadas. Los altos niveles de nutrientes en las áreas de muestreo se deben a la alta carga orgánica que tiene el río "El Naranja". Los nutrientes en la columna de agua incrementan el crecimiento bacteriano (Arulampalam et al., 1998). Baross and Liston (1977) también han reportado que los nutrientes son uno de los factores más importantes que influyen la distribución de *vibrio*. Al aumentar exponencialmente el crecimiento de estas bacterias y otras presentes en el agua de las jaulas puede conducir a una dispersión de la infección y esto traer como consecuencia altas mortalidades.

El estudio de la dinámica de los nutrientes también puede ser de utilidad para determinar si la estrategia de manejo no está impactando el ambiente y en caso de hacerlo buscar y seleccionar el alimento que produzca menos nutrientes disueltos para asegurar un crecimiento en la industria con sostenibilidad en el trópico.

La liberación de nutrientes en las granjas de peces marinos en jaulas flotantes en ecosistemas pobres puede tener un efecto positivo sobre las pesquerías locales sin ocasionar un efecto negativo en la composición y/o biodiversidad de las especies (Machias et al., 2004). En el presente estudio se encontró que el impacto que pueda ser ocasionado por un sistema de jaulas flotantes puede ser minimizado en aguas costeras con suficiente flujo y circulación de mareas.

Los resultados del estudio también son importantes para el desarrollo de programas de monitoreo en sistemas acuícolas en aguas costeras porque suministran información básica para el manejo de las jaulas flotantes (Grizzle et al., 2003).

Se requiere generar nuevas tecnologías con bajo impacto ambiental que puedan ser utilizadas por los pescadores ribereños. Lo cual también depende de la intensidad de producción de peces, magnitud del proyecto, dispersión de los desechos por las corrientes y la capacidad de carga del ambiente para asimilar la carga orgánica, principalmente nitrógeno y fósforo.

Se han llevado a cabo pruebas para determinar el efecto de la acumulación de los nutrientes en el sedimento de sistemas de jaulas en el mar y se ha observado que los sedimentos han sido contaminados hasta 1,000 m de distancia del sistema de jaulas (Sara et al., 2004). En nuestro caso se presentó una diferencia en variación y concentración de nutrientes entre la estación de muestreo de las jaulas y la estación de control. Encontrando que la estación control fue más estable y presentó en términos generales mayor concentración de amonio y fósforo. Finalmente la dispersión de los nutrientes por procesos hidrodinámicos, consumo y defecación de peces y la resuspensión de sedimentos del fondo por corriente costeras y pluviales explican el efecto encontrado en el presente estudio, lo cual ha sido reportado para otros proyectos acuícolas.

VII. Conclusiones.

- Existen relaciones entre los parámetros de la calidad del agua analizados durante un ciclo de cultivo, determinando sulfatos como el parámetro que se comporta de manera distinta en base a los métodos estadísticos utilizados (Cluster de las variables y el análisis de componentes principales) para el sistema de engorda en jaulas flotantes para la especie de *L. guttatus*.
- La calidad de agua del sistema es muy similar al entorno en las variables de temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto, visibilidad, amonio total, nitritos, nitratos y sulfatos. Pero se presentó una diferencia en la concentración de ortofosfatos en comparación con la estación 3 (control).
- El aporte pluvial tiene un efecto de manera significativa en la calidad de agua del sistema y el entorno, alterando de manera directa las concentraciones de nitritos y fosfatos; e inversa en las concentraciones de pH, visibilidad, oxígeno disuelto, amonio total y nitritos determinados en el presente trabajo. La temperatura fue independiente del efecto pluvial.

VIII. Bibliografía

- Ackefors, H., Enell, M., 1990. Discharge of nutrients from Swedish fish farming to adjacent sea areas. *Ambio*. 19 1, 28–35, Feb.
- Aguado, F., 2001. Impacto ambiental de los sistemas piscícolas marinos: la acuicultura en jaulas flotantes. *Serie de Química Oceanográfica. Serie I, Monografías 1*, 35– 83.
- Aguado-Gimenez F., Garcia-Garcia B., Assessment of some chemical parameters in marine sediments exposed to offshore cage fish farming influence: a pilot study. *Aquaculture 2004*
- Alongi, D., M., Chong, V., C., Dixon P., Sasekumar A., Tirendi F., The influence of fish cage aquaculture on pelagic carbon flow and water chemistry in tidally dominated mangrove estuaries of peninsular Malaysia. *Marine Environmental Research 55 (2003) 313 – 333.*
- Angel, L., Verghese, S., Lee, J.J., Saleh, A.M., Zuber, D., Lindell, D., Symons, A., 2000. Impact of a net cage fish farm on the distribution of benthic foraminifera in the Northern Gulf of Eilat (Aqaba, Red Sea). *Journal of Foraminiferal Research 30 (1)*, 54– 65.
- Asian Development Bank and Network of Aquaculture Centres in Asia-Pacific (ADB/NACA), 1998. *Aquaculture sustainability and the environment. Report on a regional study and workshop on aquaculture sustainability and the environment.* Bangkok, Thailand. 492 pp. Asian Development Bank and Network of Aquaculture Centers in Asia-Pacific.
- Arumiampalam, P., Yusoff, F.M., Shariff, M., Law, A.T. and Srinivasa-Rao, P.S. 1998. Water quality and bacterial populations in a tropical marine cage culture farm. *Aquaculture Research*, 29:617-624.
- Aure, J., Ervik, A., Johannessen, P., Ordemann, T., 1988. The environmental effects of sea water fish farms, _ *Fisken og Havet 1*. Institute of Marine Research, Bergen, Norway, 94 pp. in Norwegian, abstract and legends to figures in English .

- Barg, U.C., Bartley, D.M., Tacon, A.G.J., Welcomme, R.L., 1997. Aquaculture and its environment: a case for collaboration. In: Hancock, D.A., Smith, D.C., Grant, A., Beumer, J.P. (Eds.), *Developing and Sustaining World Fisheries Resources*. CSIRO Publishing, Australia, pp. 462–470.
- Baross, J. And Liston, J. 1970. Occurrence of *Vibrio parahaemolyticus* and related haemolytic vibrio in marine environments of Washington State. *Applied Microbiology*, 20:179-186
- Beveridge, M. C. M. 1996 *Cage Aquaculture* (2nd edition) Fishing News Books, Oxford, 346 pp.
- Beveridge, M.C.M., Phillips, M.J., Clarke, R.M., 1991. A quantitative and qualitative assessment of wastes from aquatic animal production. In: Burne, D.E., Tomasso, J.R. (Eds.), *Aquaculture and Water Quality*. The World Aquaculture Society, pp. 506– 533.
- Beveridge, M.C.M., Phillips, M.J., MacIntosh, D.J., 1998. Aquaculture and the environment: the study of an demand for environmental goods and services by Asian aquaculture and the implications for sustainability. In: Beveridge, M., Fuchs, R., Furberg, J., Kautsky, N., Reilly, A., Sorgeloos, P. (Eds.), *Aquaculture Research and Sustainability Development in Inland and Coastal Regions in Southeast Asia*. Proceedings of an IFS/EU Workshop, 18 – 22 March 1996, Can Tho, Viet Nam. International Foundation for Science, Stockholm, Sweden, pp. 27– 41.
- Black, K.D. (Ed.), 2001. *Environmental Impacts of Aquaculture*. Sheffield Academic Press, Sheffield, England, UK. 228 pp.
- Boaventura, R., Pedro, A.M., Coimbra, J., Lencastre, E., 1997. Trout farm effluents: characterization and impact on the receiving streams. *Environmental Pollution* 95 (3), 379–387.
- Brown, J.R., Gowen, R.J., McLusky, D.S., 1987. The effects of salmon farming on the benthos of a Scottish sea loch. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 109, 39e51.
- Cho, C.Y., Bureau, D.P., 2001. A review of diet formulation strategies and feeding systems to reduce excretory and feed wastes in aquaculture. *Aquaculture Research* 32 (1), 349–360.

- Cho, C.Y. (Eds.), *Nutritional Strategies and Aquaculture Waste Proceedings of the First International Symposium on Nutritional Strategies in Management of Aquaculture Waste (NSMAW)*. University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada. 275 pp.
- Chua Thia E., Elsie T., 2002. *Introducción and history of cage culture. Partnerships in environmental management for the seas of east Asia. PEMSEA*. 39 pp.
- Clark, R.B., 1998. *Marine Pollution*. Clarendon Press, Oxford. 161 pp.
- Costa-Pierce, B.A., 1996. Environmental impact of nutrients from aquaculture: towards the evolution of sustainable aquaculture systems. In: Baird, D.J., Beveridge, M.C.M., Kelly, L.A., Muir, J.F. (Eds.), *Aquaculture and Water Resource Management*. Blackwell Scientific. 219 pp.
- Crawford C., Environmental management of marine aquaculture in Tasmania, Australia. *Aquaculture* 226 (2003) 129 – 138.
- Davies, Ian M., Slaski, Richard, J., Waste production by farmed Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) *Aquaculture* 219 (2003) 495 – 502.
- Delgado, O., Ruiz, J., Perez, M., Romero, J., Ballestreros, E., 1999. Effects of fish farming on seagrass (*Posidonia oceanica*) in a Mediterranean bay: seagrass decline after loading cessation. *Oceanologica Acta* 22, 109e117.
- Dosdat, A., 2001. Environmental impact of aquaculture in the Mediterranean: nutritional and feeding aspects. *Environmental Impact Assessment of Mediterranean Aquaculture Farms. Cahiers Options Méditerranéennes Vol. 55. CIHEAM-FAO*, pp. 23–36.
- Eng*as, A., Foster D. Thwe response of red snapper (*Lutjanus campechanus*) and pinfish (*Lagodon rhomboids*) to inclined water flow. *Fisheries Research* 58 (2002) 315 – 321.
- Ervik, A., Hansen, P.K., Aure, J., Stigebrandt, A., Johannessen, P., Jahnsen, T., 1997. Regulating the local environmental impact of intensive marine fish farming. The concept of the MOM system (Modelling_On growing fish farm_Monitoring). *Aquaculture* 158, 85– 94.

- European Commission (EC), 1995. *Aquaculture and the Environment in the European Community*. Directorate General of Fisheries. Office for Official Publications of the European Community. Luxembourg. 89 pp.
- FAO, 2002. FAO Fisheries Department, Fishery Information, Data and Statistics Unit. FISHSTAT Plus: Universal software for fishery statistical time series. Version 2.30. Data set series: Aquaculture production (quantities, tons) 1970– 2000 and (values, thousand US\$) 1984– 2000, Capture fish production 1970– 2000, Commodities trade and production 1976–2000.
- FAO/Network of Aquaculture Centres in Asia-Pacific (NACA)/World Health Organization (WHO), 1999. Report of the FAO/NACA/WHO Study Group on Food Safety Issues Associated with Products from Aquaculture. WHO Technical Report Series 883, WHO-HQ, Geneva, Switzerland. 55 pp. [online]. Available: <http://www.who.int/fsf/trs883.pdf>.
- Findlay, R. H. & Watling, L. 1994 Toward a process level model to predict the effect of salmon net-pen aquaculture on benthos. In *Modelling Benthic Impacts of Organic Enrichment from Marine Aquaculture* (Hargrave, B. T., ed.). Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences, Canada, pp. 47–48.
- Findlay, R.H., Watling, L., Mayer, L.M., 1995. Environmental impact of salmon net-pen culture on marine benthic communities in Maine: a case study. *Estuaries* 18 (1A), 145–179.
- Food and Agriculture Organisation (FAO), M., 2002. FAOSTAT, Aquaculture Production Quantities 1970– 1999 FAO, Rome, Italy.
- GESAMP (IMO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Expert on the Scientific Aspects of Marine Pollution). 1991a Reducing Environmental Impacts of Coastal Aquaculture. *GESAMP Reports and Studies* 47, 39.
- GESAMP (IMO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Marine Pollution). 1991b Reducing Environmental Impacts of Coastal Aquaculture. *GESAMP Reports and Studies No. 49*, 39 pp.
- GESAMP (IMO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Expert on the Scientific Aspects of Marine Pollution). 1996 Monitoring the

Ecological effects of Coastal aquaculture Wastes. *GESAMP Reports and Studies* No. 57, 38 pp.

- GESAMP, 1996. Monitoring the ecological effects of coastal aquaculture wastes. Reports and studies No. 57, FAO, Rome, 38 pp.
- Goudey C., A., Loverich G., Kite-Powell H., Costa-Pierce B., A., Mitigating the environmental effects of mariculture through single – point moorings (SPMs) and drifting cages. *ICES Journal of Marine Science*, 58: 497 – 503. 2001.
- Gowen, R.J., Bradbury, N.B., 1987. The ecological impact of salmonid farming in coastal waters: a review. *Ocean. Mar. Biol. Annu. Rev.* 25, 563– 575.
- Gowen, R.J., Brown, J.R., Bradbury, N.B., McLusky, D.S., 1988. Investigation into benthic enrichment, hypereutrophication and eutrophication associated with mariculture in Scottish coastal waters (1984–1988). Dept. Biological Science, University of Stirling, p. 289.
- Gowen, R.J., Weston, D.P., Ervik, A., 1991. Aquaculture and the benthic environment: a review. In: Cowey, C.B.,
- Hall, P.O.J., Holby, O., Kollberg, S., Samuelsson, M.O., 1992. Chemical fluxes and mass balances in a marinefish cage farm: IV. Nitrogen. *Marine Ecology. Progress Series* 89, 81– 91.
- Hargrave, B. T. 1994 A benthic enrichment index. In *Modelling Benthic Impacts of Organic Enrichment from Marine Aquaculture* (Hargrave, B. T., ed.). Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences, Canada, pp. 79–91.
- Henderson, R.J., Forrest, D.A.M., Black, K.D., Park, M.T., 1997. The lipid composition of sealoch sediments underlying salmon cages. *Aquaculture* 158, 69–83.
- Hensey, M.P., 1992. Environmental monitoring for fish farms in Ireland. In: De Pauw, N., Joyce, J. Eds, *Aquaculture and the Environment*. European Aquaculture Society, Ghent, Belgium, pp. 145–153, Special Publications No. 16.
- Hirata, H., Kadowaki, S., Ishida, S., 1994. Evaluation of water quality by observation of dissolved oxygen content in mariculture farms. *Bull. Natl. Res. Inst. Aquacult. (Suppl. 1)*, 61– 65.

- Holby, O., Hall, P.O.J., 1991. Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm: II. Phosphorous. *Marine Ecology. Progress Series* 70, 263–272.
- Holmer, M., Kristensen, E., 1992. Impact of fish cage farming on metabolism and sulfate reduction of underlying sediments. *Marine Ecology Progress Series* 80, 191e201.
- Iwama, G.K., 1991. Interactions between aquaculture and the environment. *Critical Reviews in Environmental Control* 21 (2), 177–216.
- Johnsen, R.I., Grahl-Nielsen, O., Lunestad, D.B., 1993. Environmental distribution of organic waste from marine fish farm. *Aquaculture* 118, 229–244.
- Karakassis, I., Hatziyanni, E., 2000. Benthic disturbance due to fish farming analyzed under different levels of taxonomic resolution. *Marine Ecology Progress Series* 203, 247e253.
- Karakassis, I., Hatziyanni, E., Tsapakis, M., Plaiti, W., 1999. Benthic recovery following cessation of fish farming: a series of successes and catastrophes. *Marine Ecology Progress Series* 184, 205e218.
- Karakassis, I., Tsapakis, M., Hatziyanni, E., 1998. Seasonal variability in sediment profiles beneath fish farm cages in the Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series* 162, 243e252.
- Karakassis, I., Tsapakis, M., Hatziyanni, E., Papadopoulou, K.N., Plaiti, W., 2000. Impact of cage farming of fish on the seabed in three Mediterranean coastal areas. *ICES Journal of Marine Science* 57, 1462e1471.
- Karakassis, I., Tsapakis, M., Hatziyanni, E., Pitta, P., 2001. Diel variation of nutrients and chlorophyll in sea bream and sea bass cages in the Mediterranean. *Fresenius Environmental Bulletin* 10, 278e283.
- Karakassis, I., Tsapakis, M., Smith, C.J., Rumohr, H., 2002. Fish farming impacts in the Mediterranean studied through sediment profiling imagery (SPI). *Marine Ecology Progress Series* 227, 125e133.
- Hansen, P.K., Ervik, A., Schaanning, M., Johannessen, P., Aure, J., Jahnsen, T., Stigebrandt, A., Regulating the local environmental impact of

intensive, marine fish farming. II. The monitoring programme of the MOM system (Modelling – Ongrowing fish farms – Monitoring) *Aquaculture* 194 (2001) 75- 92.

- La Rosa, T., Mirto, S., Mazzola, A., Danovaro, R., 2001. Differential responses of benthic microbes and meiofauna to fish-farm disturbance in coastal sediments. *Environmental Pollution* 112, 427e434.
- Lawrence, A., Castille, F., Samochoa, T., Velasco, M., 2001. Environmental friendly or least polluting feed and feed management for aquaculture. In: Browdy, C.L., Jory, D.E. (Eds.), *The New Wave, Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Culture, Aquaculture 2001*. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, pp. 84– 96.
- Leong, T.S. 1989. Marine fish diseases. Malaysian experience. In: *New Technologies in Aquaculture* (ed. by Cheah, S.H. and Saidin, T.H.) pp 91-101. Occasional Publication No. 6. Malaysian Fisheries Society, Serdang.
- Lopez Alvarado, J., 1997. Aquafeeds and the environment. In: Tacon, A., Basurco, B. (Eds.), *Feeding Tomorrow's Fish. Cah. Options Mediterr.*, vol. 22. Institut Agronomique Mediterranéen de Zaragoza (CIHEAM), Zaragoza, Spain, pp. 275– 289.
- Loya Y., Lubinevsky H., Rosenfeld M., Kramarsky – Winter E., Nutrient enrichment caused by in situ fish farm at Eliat, Red Sea is detrimental to coral reproduction. *Marine Pollution Bulletin* 49 (2004) 344 – 353.
- Lu, L., Wu, R.S.S., 1998. Recolonization and succession of marine macro benthos in organic-enriched sediment deposited from fish farms. *Environmental Pollution* 101, 241e251.
- Machias, A., Karakassisa, I., Labropoulou, M., Somarakisa S., Papadopoulou, K.N. and Papaconstantinou, C. 2004. Changes in wild fish assemblages after the establishment of a fish farming zone in an oligotrophic marine ecosystem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 60:771-779
- MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación), 2002. *La Gestión Medioambiental en la Acuicultura Española*. Ediciones Mundi-Prensa. 270 pp.
- Margalef, R., 1968. *Perspectives in Ecological Theory*. University of Chicago Press, Chicago.

- Mazzola, A., Mirto, S., Danovaro, R., 1999. Initial fish-farm impact on meiofaunal assemblages in coastal sediments of the Western Mediterranean. *Marine Pollution Bulletin* 38, 1126e1133.
- Mazzola, A., Mirto, S., La Rosa, T., Fabiano, M., Danovaro, R., 2000. Fish farming effects on benthic community structure in coastal sediments: analysis of the meiofaunal resilience. *ICES J. Mar. Sci.* 57, 1454– 1461.
- McDougall, N., Black, K.D., 1999. Determining sediment properties around a marine cage farm using acoustic ground discrimination: RoxAnn™. *Aquacultural Research* 30, 451e458.
- McGhie, T.K., Crawford, C.M., Mitchell, I.M., O'Brien, D.O., 2000. The degradation of fish-cage waste in sediments during fallowing. *Aquaculture* 187, 351– 366.
- Merican, Z.O., Phillips, M.J., 1985. Solid waste production from rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson, cage culture. *Aquacult. Fish. Manage.* 1, 55–69.
- Mirto, S., La Rosa, T., Gambi, C., Danovaro, R., Mazzola, A., 2002. Nematode community response to fish-farm impact in the western Mediterranean. *Environmental Pollution* 116, 203e214.
- Molina Dominguez, L., Lopez Calero, G., Vergara Martin, J.M., Robaina Robaina, L., Fdez.-Palacios, H., 1997. Retention and discharge of nutrients in a marine cage farm at Canary Islands. Preliminary results. Proceedings of the workshop of the CIHEAM Network on Technology of Aquaculture in the Mediterranean TECAM , Cahiers Options mediterraneennes. *Feeding Tomorrow Fish*, vol. 22, pp. 291–300.
- Molina, L., López, G., Vergara, J.M., Robaina, L., 2001. A comparative study of sediments under a marine cage farm at Canary Island (Spain). Preliminary results. *Aquaculture* 192, 225– 231.
- Morrissey, D.J., Gibbs, M.M., Pickmere, S.E., Cole, R.G., 2000. Predicting impact and recovery of marine-farm sites in Stewart Island, New Zealand, from the Findlay–Watling model. *Aquaculture* 185, 257– 271.
- Moss, S.M., Arce, S.M., Argue, B.J., Otoshi, C.A., Calderon, F.R.O., Tacon, A.G.J., 2001. Greening of the blue revolution: efforts toward environmentally

responsible shrimp culture. In: Browdy, C.L., Jory, D.E. (Eds.), *The New Wave, Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Culture, Aquaculture 2001*. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, pp. 1–19.

- Neori, A., Krom, M.D., 1991. Nitrogen and phosphorus budgets in an intensive marine fishpond: the importance of microplankton. In: Cowey, C.B., Cho, C.Y. Eds. , *Proceedings of the first International Symposium on Nutritional Strategies in management of Aquaculture waste NSMAW* ,University of Guelp, Guelp, Ontario, pp. 223–230.

- Nishimura, A., 1982. Effects of organic matters produced in fish farms on the growth of red tide algae *Gymnodinium* type-'65 and *Chattonella antiqua*. *Bull. Plankton Soc. Jpn.* 29, 1 – 7 (in Japanese with English abstract).

- Papoutsoglou, S., Costello, M.J., Stamou, E., Tziha, G., 1996. Environmental conditions at sea-cages and ectoparasites on farmed European sea-bass, *Dicentrarchus labrax* (L.) and gilt-head sea-bream, *Sparus aurata* L., at two farms in Greece. *Aquacultural Research* 27, 25e34.

- Pérez, O. M., Telfer, T. C., Ross L. G., On the calculation of wave climate for offshore cage culture site selection : a case study in Tenerife (Canary Islands), *Aquacultural Engineering* 29 (2003) 1-21.

- Pergent, G., Mendez, S., Pergent-Martini, C., Pasqualini, V., 1999. Preliminary data on the impact of .fish farming facilities on *Posidonia oceanica* meadows in the Mediterranean. *Oceanologica Acta* 22, 95e107.

- Phillips, M.J., 1997. Tropical mariculture and coastal environmental integrity. In: De Silva, S.S. (Ed.), *Tropical Mariculture*. Academic Press, New York, pp. 17–70.

- Pitta, P., Karakassis, I., Tsapakis, M., Zivanovic, S., 1999. Natural versus mariculture induced variability in nutrients and plankton in the Eastern Mediterranean. *Hydrobiologia* 391, 181e194.

- Pohle, G., Frost, B., Findlay, R., 2001. Assessment of regional benthic impact of salmon mariculture within the Letang Inlet, Bay of Fundy. *ICES Journal of Marine Science* 58, 417e426.

- Ponce-Palaofox, J.T. and J.L. Arredondo. 1998. An analysis of factors governing metabolism of temporary tropical freshwater pond ecosystems. *Verh. International. Verein. Limnol.* 26:1571-1574
- Preston, N., Rothlisberg, P., 2000. Aquaculture. Environmental impacts. Outlook 2000. Proceedings of the National OUTLOOK Conference, Canberra, Natural Resources, vol. 1, pp. 255– 260.
- Read, P.A., Fernandes, T.F., Management of environmental impacts of marine aquaculture in Europe. *Aquaculture* 226 (2003) 139 – 163.
- Read, P.A., Fernandes, T.F., Miller, K.L., 2001a. The derivation of scientific guidelines for best environmental practice for the monitoring and regulation of marine aquaculture in Europe. *J. Appl. Ichthyol.* 17 (4), 146– 152.
- Read, P.A., Fernandes, T.F., Miller, K.L., Eleftheriou, A., Eleftheriou, M., Davies, I.M., Rodger, G.K. (Eds.), 2001b. The Implications of Directives, Conventions and Codes of Practice on the Monitoring and Regulation of Marine Aquaculture in Europe. Proceedings of the Second MARAQUA Workshop, 20– 22 March 2000, Institute of Marine Biology, Crete. Scottish Executive, Aberdeen, UK. 114 pp.
- Read, S., Elliott, M., Fernandes, T.F., 2001c. The possible implications of the Water Framework Directive and the Species and Habitats Directive on the management of marine aquaculture. In: Read, P.A., Fernandes, T.F., Miller, K.L., Eleftheriou, A., Eleftheriou, M., Davies, I.M., Rodger, G.K. (Eds.), The Implications of Directives, Conventions and Codes of Practice on the Monitoring and Regulation of Marine Aquaculture in Europe. Proceedings of the Second MARAQUA Workshop, 20– 22 March 2000, Institute of Marine Biology, Crete. Scottish Executive, Aberdeen, UK, pp. 58– 74.
- Ruiz, J.M., Perez, M., Romero, J., 2001. Effects of fish farm loadings on seagrass (*Posidonia oceanica*) distribution, growth and photosynthesis. *Marine Pollution Bulletin* 42, 749e760.
- Sara, G., Scilipoti, D., Mazzola, A., Modica A.2004. Effects of fish farming waste to sedimentary and particulate organic matter in a southern Mediterranean

area (Gulf of Castellammare, Sicily): a multiple stable isotope study (d13C and d15N) *Aquaculture* 234 (2004) 199–213.

- Schwartz, M.F., Boyd, C.E., 1994. Channel catfish pond effluents. *Prog. Fish-Cult.* 56, 273–281.
- Silvert, W., 1992. Assessing environmental impacts of finfish aquaculture in marine waters. *Aquaculture* 107, 69e79.
- Smith, C., Machias, A., Giannoulaki, M., Somarakis, S., Papadopoulou, K.N., Karakassis, I., 2003. Diversity study of wild fish fauna aggregating around fish farm cages by means of remotely operated vehicle (ROV). Abstracts 7th Hellenic Symposium Oceanography
- Strickland, J., Parsons, T., 1972. A practical handbook of sea water analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.*, 167, 312 pp.
- Sugiura, S.H., Hardy, R.W., 2000. Environmentally friendly feeds. In: Stickney, R.R. (Ed.), *Encyclopedia of Aquaculture*. Wiley, New York, pp. 299–310.
- Tacon Albert G.J.; Forster Ian P. "Aquafeeds and the environment: policy implications" *Aquaculture* 2003.
- Tacon, A.G.J., 2001. Minimizing environmental impacts of shrimp feeds. *Global Aquaculture Advocate* 4 (6), 34–35.
- Tacon, A.G.J., Phillips, M.J., Barg, U.C., 1995. Aquaculture feeds and the environment. *Water Science Technology* 31 (10), 41–50.
- Tacon, A.G.J., Barg, U.C., 2001. Responsible aquaculture for the next millennium. In: Garcia, L.M.B. (Ed.), *Proceedings of the Seminar-Workshop on Responsible Aquaculture Development in Southeast Asia* organized by the SEAFDEC Aquaculture Department, 12–14 October 1999, Iloilo City, Philippines. Southeast Asian Fisheries Development Center, Iloilo City, Philippines, pp. 1–26.
- Takasima, F., Arimoto, T., 2000. Cage culture in Japan toward the new millennium. In: Liao I.C. and Lin C.K. (ed.) *Cage aquaculture in Asia: Proceedings of the first international symposium on cage aquaculture in Asia*. Asian fisheries society and world aquaculture society – southeast Asian chapter, Bangkok, pp 53 - 58.

- Tsutsumi, H., 1995. Impact of fish net pen culture on the benthic environment of a cove in south Japan. *Estuaries* 18, 108–115.
- Weston, D.P., 1990. Quantitative examination of macrobenthic community changes along an organic enrichment gradient. *Marine Ecology. Progress Series* 61, 233–244.
- Wildish, D.J., Keizer, P.D., Wilson, A.J., Martin, J.L., 1993. Seasonal changes of dissolved oxygen and plant nutrients in seawater near net pens in the macrotidal Bay of Fundy. *Can. J. Aquat. Sci.* 50, 303–311.
- Wu, R.S.S., 1995. The environmental impact of marine fish culture towards a sustainable future. *Marine Pollution Bulletin* 31, 159–166.
- Wu, R.S.S., 2001. Environmental impacts of marine fish farming and their mitigation. In: Garcia, L.M.B. (Ed.), *Proceedings of the Seminar-Workshop on Responsible Aquaculture Development in Southeast Asia* organized by the SEAFDEC Aquaculture Department, 12– 14 October 1999, Iloilo City, Philippines. Southeast Asian Fisheries Development Center, Iloilo City, Philippines, pp. 157–172.
- Yokoyama H., Environmental quality criteria for fish farms in Japan. *Aquaculture* 226 (2003) 45 – 56.