

## Código adaptativo de *Oreochromis niloticus* variedades Stirling y Chitralada usando gammas de frecuencias potenciales y radiales.

Mariano Norzagaray-Campos, Cipriano García Gutiérrez, Patricia Muñoz Sevilla, Apolinar Santamaría-Miranda, María Ladrón de Guevara Torres, Leticia Espinoza Carreón

CIIDIR Sinaloa (México)

Carretera a Las Glorias, km. 1, Apdo. postal 280, Guasave, Sinaloa 81100 (México)

e-mail: mnorzacam@yahoo.com.mx

### Resumen

Se obtuvo el código adaptativo de dos variedades de Tilapias: *Oreochromis niloticus* variedad Stirling y variedad Chitralada cultivadas en cautiverio analizando dos funciones derivadas de su desarrollo y usando un algoritmo numérico de forma armónica (Dirichlet). Se determinó la Transformada Rápida de Fourier para obtener los códigos o espectros de potencias y radiales con señal y ruido, a partir de una integración "azimutal" de la forma del espectro radial. La forma espectral resultante en ambos casos fue atribuida a los impulsos de frecuencias fundamentales ( $F_{bs}$ ) y al impulso ponderante (I). La banda espectral de las  $F_{bs}$  del desarrollo de los cultivos se obtuvo empleando un filtro matemático ideal "pasabajas". Los resultados mostraron, con respecto al porcentaje de ocurrencias de las  $F_{bs}$ , la continuidad, resolución e impulso ponderante del espectro radial y las respuestas de adaptación de las especies a un nuevo escenario ambiental, las cuales fueron confirmadas estadísticamente. Finalmente se concluye que la variedad Stirling tuvo menor peso (W) y crecimiento diario ( $T_c$ ); sin embargo, presentó mayor resistencia ambiental y mayor productividad ( $P_{ha}$ ) (14 619 kg) que la variedad Chitralada. Los resultados numéricos de los códigos y el algoritmo pueden ser empleados en bancos de información de códigos adaptativos de otras especies, como fuente de inspiración en simulaciones numéricas útiles para la reproducción masiva de Tilapias.

Palabras clave: código de desarrollo, relación adaptativa, espectro, tilapia.

### Abstract

#### Adaptative code for *Oreochromis niloticus* varieties Stirling and Chitralada using potentials and radial gammas frequencies

The Adaptative codes for Tilapias: *Oreochromis niloticus* var. Stirling and var. chitralada were obtained analyzing two functions derived from growth and using a numeric, harmonic type algorithm (Dirichlet). The Fourier Fast Transformer was obtained to calculate the potential and radial spectra (noise signals and codes), using an azimuthal integration of the radial spectrum form. The resulting spectral form signal in both cases was attributed to the fundamental frequencies ( $F_{bs}$ ) and to the principal impulse (I). The spectral bands of the  $F_{bs}$  was calculated using a mathematical ideal "across low frequencies" filter. The results indicate, with respect to the percentage of  $F_{bs}$ , the continuation, resolution and principal impulse of the radial spectrum, as well as the adaptative responses of the fish to the new environmental scenario. All results were statistically significant. Finally we conclude that the var. Stirling has a lower weight (W) and daily growth ( $T_c$ ) but a higher environmental resistance and greater productivity ( $P_{ha}$ ) (14 619 kg). The adaptative code and numerical algorithmic obtained, could be used in databanks on adaptative codes for other species as well as to stimulate numeric simulation models that can be used in the massive reproduction of tilapia.

*Keywords:* adaptation code, adaptative relations, spectra, tilapia

## Introducción

Los cambios espaciales y temporales se pueden determinar con técnicas numéricas que introducen aleatoriedad a los sistemas de estudio y permiten (en los sistemas no estacionarios) un análisis que mantiene la interdependencia entre sus variables (Payo, 2004). Los códigos espectrales de potencia ( $/H(r,\theta)/$ ) y radiales ( $/H(r)/$ ) de una señal matemática producida por diversos factores influyen en la funcionalidad de un organismo y definen su comportamiento.

Se puede considerar la respuesta ambiental como la firma espectral de una señal con gammas de frecuencias potenciales ( $F_{bs}$ ) y radiales ( $F_r$ ) que contiene la información sobre su adaptación (AA) y defensa ambiental (DA). Las  $F_{bs}$  dan forma al código y sirven para calcular la existencia o supervivencia de un sistema especie-ambiente (SEA) y al productor le interesan para obtener un buen cultivo. Escobar y cols. (2006) especifican dos factores para definir estos códigos: los mutables-inmutables-innatos codificados en los genes ( $F_I$ ) y los inalterables impuestos por el ambiente ( $F_E$ ); y que conforman al SEA. Los dos son de naturaleza no estacionaria, estocástica, interdependiente y de múltiples reacciones con otros factores ambientales (Mardones, 2006). Los  $F_I$  son un conjunto de variables interdependientes y estocásticas que conforman las leyes naturales y absolutas de cada especie, tal como las leyes de la Física, definen las directrices y códigos de conducta que son transferidos genéticamente de especie a especie; rigen el comportamiento, cambian y se adaptan con la evolución. Además cuentan con una programación interna u orden típico en cada especie que no permite comportamiento distinto del resto del grupo o la manada; o sea, son absolutos (de la Cuetara, 2004). Los  $F_E$  se definen como el conjunto de normas del hábitat o ambiente donde la especie se desarrolla. Imponen un comportamiento predeterminado y compatible a su DA que se puede identificar a través de leyes, directrices y códigos de conducta. Al igual pero menos absolutos que los  $F_I$ , no permiten comportamientos distintos en el resto del grupo o la manada.

Para determinar los códigos se introduce una aleatoriedad a un SEA con técnicas numéricas (TN) y se conoce una potencia que brinda la energía en una especie para la DA y AA (Payo, 2004); y la forma numérica que representa los  $F_I$  y  $F_E$  de la misma fuente son los impulsos de una señal armónica que debe cumplir con las condiciones de Dirichlet (Lasaosa, 2006); la cual se puede caracterizar en el dominio del número de onda ( $\lambda$ ) con la serie de Fourier adjunta a la transformada rápida de Fourier (FFT) para obtenerle sus espectros de potencia  $/H(r,\theta)/$  y radial  $/H(r)/$  (Chavéz y cols., 1995; Norzagaray, 2003). Así, se representa al SEA en otro dominio constituido por bajas ( $F_{bs}$ ), medias ( $F_m$ ) y altas ( $F_h$ ) frecuencias, conocidas éstas dos últimas como armónicos de primer y segundo orden (Gupta y Ramani, 1978). Una vez definidas las variables de los  $F_I$  y  $F_E$  y determinada la aleatoriedad de una función numérica de ciclo completo en cultivos de peces (siembra-desarrollo-cosecha) ésta da información de la DA y AA; (Payo, 2004); y define las leyes del comportamiento de una especie (CPB, 2005).

Lo anterior es útil en la reglamentación de las especies de cultivo y sirve para preservar la diversidad genética acuática. Estas funciones numéricas inherentes a procesos físicos, químicos y biológicos han contribuido en representaciones a entender la naturaleza de forma lineal, logarítmica, parabólica, semilogarítmica, exponencial y armónica. Las funciones armónicas, al ser acotadas, derivables y convergentes con las series de Fourier (Suárez, 1998), al aplicárseles la transformada rápida de Fourier (FFT) en el dominio del número de  $\lambda$  o de  $L$  se les puede determinar su aleatoriedad que se representa a través de los espectros de potencia  $/H(r,\theta)/$  y radial  $/H(r)/$  (Claerbout, 1976).

La separación frecuencial de  $/H(r,\theta)/$  y  $/H(r)/$  brinda información sobre las condiciones de la existencia del SEA y de las características de sus eventos fuentes asociadas a las

componentes de  $F_{bs}$  o a los períodos largos; y para conocerlas se aplica la técnica del filtrado a la forma de  $/H(r)/$  (Carel, 1969).

Para separar los armónicos existen diversos filtros óptimos en el dominio del número de onda ( $\lambda$ ) y del espacio ( $L$ ); diseñados al igual de la forma de  $/H(r)/$ . Los filtros con sentido Geofísico son elaborados con una herramienta matemática llamada convolución usando series de coeficientes para la simulación del filtraje; también se les denominan filtros de prolongación ascendente del campo (Darvy, 1967; Fuller, 1967) y operan como un filtro "pasabajas" equivalente al efecto producido de cuando un observador se aleja de la fuente productora de la señal.

Para obtener el mismo efecto "pasabajas" con filtros sin sentido geofísico el filtro más apropiado es el de Peters (1949) que es simétrico y de 10 coeficientes radiales y asocia en su elaboración distintas variables: número del coeficiente, distancia radial del filtro y peso entre el filtro y la distancia radial. La técnica anterior en distintas disciplinas tiene múltiples aplicaciones: conoce la profundidad de las rocas del basamento geológico (Bhattacharyya, 1964; Spector y Grant, 1970; Blakely, 1995), detecta fuentes paleomagnéticas asociadas al calentamiento de hornos de antiguas civilizaciones (Chavéz y cols., 1995), determina el flujo regional subterráneo en acuíferos y la dimensión del factor de dispersión hidrodinámica en fluidos porosos (Norzagaray, 2003), mide la variabilidad de la frecuencia cardiaca (HRV) indicador de la condición aeróbica de las personas (Ortiz y Mendoza, 2008; Molgaard y cols., 1991).

Los resultados numéricos de los códigos y algoritmo presente pueden ser empleados en bancos de información de códigos adaptativos de otras especies, para identificar enfermedades procedentes del ambiente llamadas rarezas genéticas (Nesse y Williams, 2000) y como fuente de inspiración en simulaciones numéricas útiles para la reproducción masiva de Tilapias. Por lo que el objetivo de esta investigación fue generar los códigos adaptativos de las variedades de Tilapias: *O. niloticus* variedades Stirling y Chitralada cultivadas en cautiverio, utilizando dos funciones adaptativas que contienen información numérica sobre sus adaptaciones (AA) y defensas ambientales (DA).

## **Materiales y métodos**

---

### **Origen y condiciones de cultivo de Tilapias**

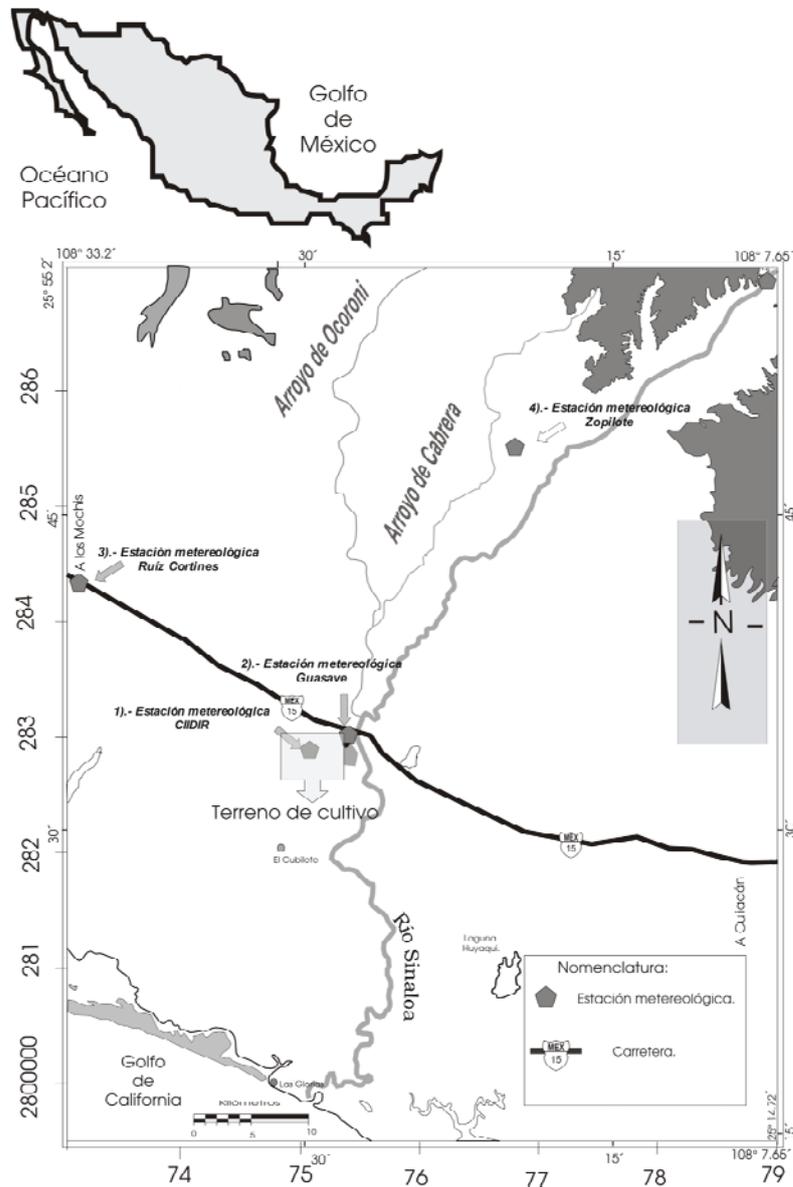
El cultivo de Tilapias se realizó en las instalaciones del CIIDIR-IPN Sinaloa en el Municipio de Guasave Sinaloa (México), a 2 km en la ciudad de Guasave, 40 km de la costa del Mar de Cortés y a 5 km del Río Sinaloa (Figura 1). En la zona se manifiestan dos tipos de climas: húmedo (Ar) y húmedo seco (Ar-Aw), con un régimen bien marcado de lluvias y estiaje, tiene una precipitación pluvial promedio anual (P) con máximas de 577,9 mm/año y mínimas de hasta 314,8 mm/año, una evapotranspiración promedio anual (ETP) para el estiaje de 404,1 mm/año y de lluvia de 439,20 mm/año (Norzagaray y cols., 2005). La temperatura promedio anual es de 25°C, con máximas de 42°C y mínimas de 13°C, que es el producto de un índice de calor variable durante el estiaje con máximas de 8,9°C y en lluvias de 14,3°C.

### **Diseño experimental**

Las variedades cultivadas fueron: *O. niloticus* variedad Chitralada (variedad 1) proveniente de un laboratorio productor del Sureste de México (Campeche) y *O. niloticus* variedad Stirling (variedad 2) del centro del mismo país (San Luís Potosí).

Para el cultivo se usó un sistema hermético ubicado en una zona libre de riesgo ambiental aislada, cerrada y lejos de la costa, así como de la ciudad, y de cualquier cuerpo hidrológico propicio para su reproducción (a 2 km de Guasave, 3 km del río Sinaloa, y 40 km del Golfo de California o Mar de Cortés). Se implementó un dispositivo de contención mecánica en los estanques para impedir o reducir la salida de animales del cultivo, consistente en rejillas a una separación de 0,5 m en tuberías, y otro de diámetro más pequeño en la salida, que contenía un mecanismo cambiante de las características físicas del agua, para mantenerla caliente a una temperatura letal y fría antes de su descarga (Egna y cols., 1997).

**Figura 1.** Localización del área de estudio



Cuatro de los estanques se usaron para depositar 100 alevines de una variedad y otros cuatro para la otra variedad. La distribución de los estanques con su dimensiones de 5 x 5 x 1 m fue tal que permitió representar en forma bidimensional el cultivo mediante una malla regular de 4 x 100 con una separación entre estanques en la horizontal de 1 m y en la vertical de 2 m, o sea  $\Delta x = 1$ , y  $\Delta y = 2$ ; lo que garantizó evitar discontinuidades en las funciones numéricas y reducirlas solo a 4 en las esquinas de la malla; facilitando así su proceso numérico final. La temperatura en los

estanques durante la siembra de los alevines se reguló entre los 17 y 25°C, el oxígeno disuelto arriba de los 5 mg/l, el pH entre los 7,5 a 8,5, y salinidad de 0 a 5 ppm. Estas condiciones ideales se fueron retirando paulatinamente para exponer a las especies al ambiente local. Posterior al día de la siembra, diariamente la temperatura de los estanques ( $T_e$ ) se midió con un termómetro de inmersión Brannan de columna de separación líquida de 76 mm, y sus lecturas fueron validadas con un termómetro de cubeta. Para medir el oxígeno disuelto (OD) y el pH primeramente se calibró un potenciómetro de campo HANNA Mod. HI9813 y un oxímetro multifunción YSI 85 de rango de 0 a 45 mg/l con las respectivas referencias. En el comparativo final del promedio de estos factores las referencias consideradas como aceptables fueron las siguientes:  $T_e$  de 25 a 33°C (Alamilla, 2002), OD de 3 a 5 mg/l (Alamilla, 2002) y pH entre 7,5 y 8,5.

### **Análisis estadístico**

Para la validación de cada parámetro medido en el cultivo se optó por utilizar el error cuadrático medio (RMSE), el error absoluto medio (MAE), el error absoluto medio normalizado (NMAE) y el sesgo (BIAS) definidos por Pielke (1984) y Stauffer y Seaman (1990). Estos estadísticos permitieron medir la precisión entre los datos del experimento y los estándares reportados en la bibliografía.

### **Justificación de la especie para el cultivo**

La selección de las variedades 1 y 2 fue con base a las condiciones favorables que tienen éstas ante diversos cultivos en cautiverio, y a que es una de las especies muy tratadas en la literatura con amplio conocimiento y con bastante éxito ante cultivo intensivos y extensivos en estanques (Stoskof, 1993). Puede soportar altas densidades de siembra, resistencia a enfermedades oportunistas bajo estado de estrés en cultivos intensivos (Fouz y cols., 2002) y también tolera niveles altos de amonio. Este tipo de cultivo por su rápido crecimiento y aceptación del alimento balanceado de proteínas (35%), el cual simuló la dieta normal a los alimentos existentes en el ambiente, permitió observar procesos estocásticos bajo los dos regímenes de la región (lluvia y estiaje). Acepta con facilidad el alimento balanceado que es el reflejo de los alimentos disponibles en el ambiente (Wootton, 1990). Por su cautiverio evita el contacto con las especies silvestres locales; y al tener un alto potencial productivo se puede pensar en aportaciones a la mejora de la seguridad y subsistencia alimenticia que mitiga la pobreza local en un país en vías de desarrollo como el nuestro.

### **Análisis fisicoquímico y microbiológico**

Se realizaron semanalmente con métodos colorimétricos de filtración y espectrofotometría ultravioleta (Strickland y Parsons, 1972), con la norma SA1-113-1994 el seguimiento de nitratos ( $\text{NO}_2^-$ ), nitritos ( $\text{NO}_3^-$ ) fósforo (P) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). En el comparativo del promedio final de estos nutrientes se utilizaron las siguientes referencias:  $\text{NO}_2^- < 4,0$  mg/l (Limón y Lind, 1989),  $\text{NO}_3^-$  de 0,5 a 5,0 mg/l (Cortés y Arredondo, 1976),  $\text{NH}_4^+$  de 1,5 a 1,7 mg/l (Egna y cols., 1997) y P < 1 mg/l (Martínez-Córdova, 1995). Cada semana se midieron los coliformes fecales totales (CFT) por el método de fermentación de tubos múltiples de la norma mexicana (NOM-AA-042, 1981). Para definir los indicadores de contaminación, en cuanto al probable desarrollo de bacterias en el ambiente de siembra, se realizaron cultivos con biometrías mensuales según la norma oficial de cada patógeno para la detección de: *Sterptococcus*, *Enterococcus*, *Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Vibrio*, *Columnaris*, *Flexibacter* y *Edwarsiella*. La fibra se determinó por hidrólisis sucesiva utilizando ácido

sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) al 1,25% y NaOH al 1,25% con posterior calcinación, las cenizas se elaboraron con los métodos descritos por AOAC (1984). El alimento que representó la fuente alimenticia existente en el ambiente fue la Purina-Agribrand<sup>®</sup> y MaltaCleyton<sup>®</sup> (2002). El oxígeno se midió en forma directa empleando un oxímetro, y la humedad con la metodología descrita por la AOAC (1984) por diferencia de peso en la estufa a 70°C por 24 h.

### Parámetros de desarrollo

Se determinó durante el período de cultivo, el peso vivo (w) y la tasa de crecimiento diaria (T<sub>c</sub>).

### Factores ambientales

Se determinaron la precipitación pluvial diaria (Ps) (mm/día), la temperatura ambiental (Ta) (°C) y tipo de clima usando los datos de cuatro estaciones meteorológicas ubicadas cerca del cultivo. Para definir el clima de la zona se usó la clasificación de García (1973). El índice de humedad (H0) se obtuvo directamente de los resultados de Norzagaray (2005). Se determinó la evapotranspiración potencial (ETP) según los criterios de Lorente (1961). La Ps, Ta, H0 y ETP se procesaron con técnicas expuestas por Campos (2007); y todos los datos ambientales se conjuntaron para conformar un impulso único y ponderado representativo de las funciones armónicas a procesar.

### Funciones logarítmicas

Se elaboraron las funciones logarítmicas con la suma de los promedios ponderados de las variables afectando a toda la población durante los 186 días que duró el cultivo. El proceso con el cual se obtuvieron las señales de cada especie se puede ver en la Figura 2 y la expresión que define a estas funciones en cada especie es la siguiente:

$$h_1(x) = \left[ \sum_{i=1}^n \left[ \sum_{-\infty}^{\infty} u_1 / I + \sum_{-\infty}^{\infty} u_2 / I, \right] \right] / I_t = u_{1p}$$

para n = 4 (ecuación 1)

$$h_2(x) = \left[ \sum_{i=1}^n \left[ \sum_{-\infty}^{\infty} u'_1 / I + \sum_{-\infty}^{\infty} u'_2 / I, \right] \right] / I_t = u_{2p}$$

donde:

- $h_1(x)$  y  $h_2(x)$  : funciones que forman el armónico
- $u_1, u_2, u'_1$  y  $u'_2$  : variables internas y externas de una de las especies
- $I$  y  $I_t$  : individuos por estanque y total respectivamente
- $u_{1p}$  y  $u_{2p}$  : variación ponderada de la suma de las variables

Los gráficos logarítmicos que resultan de  $h_1(x,y)$  y  $h_2(x,y)$  de la ecuación 1, son armónicos y cumplen con las condiciones de Dirichlet (Suárez, 1998) de ser: continuos, con períodos acotados, pocos máximos y mínimos, dos límites laterales, número finito de discontinuidades que convergen en la zona continua y el promedio de su zona discontinua con sus respectivas series de Fourier. Por lo que se les pudo obtener sus respectivos par de transformadas. Para reducir las zonas discontinuas a sólo 4 (esquinas), se representaron  $h_1(x,y)$  y  $h_2(x,y)$  a 2-D manteniendo constante la dirección j:

$$h_1(x, y) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (u_{1pi}, v_j),$$

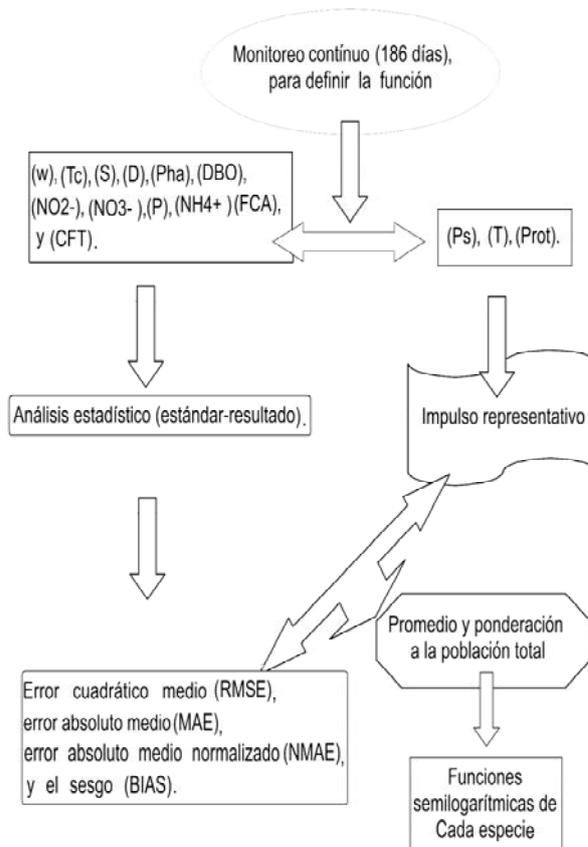
para  $n = 4$  y  $m = 100$  (ecuación 2)

$$h_2(x, y) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (u_{2pi}, v'_j)$$

donde:

- $h_1(x,y)$  y  $h_2(x,y)$  : funciones bidimensionales de la población total
- $u_{1p}$  y  $u_{2p}$  : variables ponderadas en los 4 estanques (n)
- $v_1$  y  $v_2$  : población por estanque igual a 100 individuos (m)

**Figura 2.** Diagrama de flujo para la señal de cada especie.



La serie de armónicos de las series de Fourier que establecieron el par de transformadas de  $(h_1(x,y)$  y  $h_2(x,y))$ , del dominio del tiempo al número de onda y viceversa, es la siguiente expresión (Suárez, 1998):

$$h_2(x, y) = \Delta u \Delta v \sum \sum H(k\Delta u, l\Delta v) e^{i2\pi(k\Delta u + l\Delta v y)} \Leftrightarrow H_2(u, v) = \sum \sum h_2(n\Delta x, m\Delta y) e^{i2\pi(un\Delta x + vm\Delta y)} \quad \text{(ecuación 3)}$$

$$h_1(x, y) = \Delta u \Delta v \sum \sum H_1(k\Delta u, l\Delta v) e^{i2\pi(k\Delta u + l\Delta v y)} \Leftrightarrow H_1(u, v) = \sum \sum h_1(n\Delta x, m\Delta y) e^{i2\pi(un\Delta x + vm\Delta y)} \quad \text{(ecuación 4)}$$

donde:

$$r = \sqrt{u^2 + v^2}$$

- $u$  y  $v$  : números de onda  $u = 2\pi/L$ ,  $v = 2\pi/T$ , (m-1)
- $L$  y  $T$  : longitud de la señal para  $x$  e  $y$  respectivamente (m)
- $|H(u,v)|$  : transformada de Fourier para  $h_1(x,y)$  y  $h_2(x,y)$  respectivamente

El espectro de amplitud de  $|H(u,v)|$  o de Fourier, fue definido con el algoritmo logarítmico de la FFT bajo los principios de Bath (1974) auxiliándose de la subrutina de Claerbout (1976) bajo un programa elaborado y compilando en FORTRAN y que se llamó "*copotrad.for*" y operó de la siguiente manera:

$$|H(u, v)| \xleftrightarrow[\text{copotrad}]{\text{FFT}} |H(r, \theta)| \quad (\text{ecuación 4})$$

Al establecer la equivalencia de la ecuación 4 con 3 se obtuvo:

$$H(u, v) = \sum \sum h(n\Delta x, m\Delta y) e^{i2\pi(u\Delta x + v\Delta y)} \xleftrightarrow[\text{copotrad}]{\text{FFT}} H(r, \theta) = \sum \sum h(n\Delta r, m\Delta \theta) e^{i2\pi(m\Delta r + \theta m\Delta \theta)} \quad (\text{ecuación 5})$$

La ecuación 5 representó al código del cultivo de cada especie, con todos sus armónicos y todas sus gamma de frecuencias ( $F_{bs}$ ,  $F_{m}$ , y  $F_h$ ), las cuales éstas últimas, para visualizarlas se obtuvo  $|H(r)|$  mediante la integración "radial" o "azimutal" grado a grado ( $\Delta\theta=1^\circ$ ) con respecto a la dirección radial  $\Delta r = 1/2R$  y límites 0 a  $2\pi$  en la dirección  $\theta$  y de  $|H(r,\theta)|$ :

$$|H(r)| = 1/2\pi \int_0^{2\pi} H(r, \theta) d\theta, \quad \text{para } r = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (\text{ecuación 6})$$

No obstante de visualizar las gammas de frecuencias con la ecuación 6, la representación de  $|H(r)|$  aún seguía conservando la información real mas el ruido generado durante el proceso. Por lo que se diseñó de la forma de cada  $|H(r)|$  un filtro que independizó  $F_{bs}$ ,  $F_{m}$ , y  $F_h$  que se elaboró debido a que principalmente la magnitud de las  $F_{bs}$  no es visible por el ruido del proceso que enmascara la información. Para diseñar el filtro que liberó a la  $F_{bs}$  del ruido se recurrió a la herramienta del filtrado sin sentido geofísico llamada "*pasabajas*".

### Filtro "*pasabajas*"

De los filtros existentes en la literatura, se seleccionó el más sencillo en el diseño de un filtro óptimo al cual se le denominó "*pasabajas*" en el dominio  $\lambda$  y considera una  $F_c$  y un  $r_1$ . Este filtro se determinó la siguiente relación (Gupta y Ramani, 1980):

$$H(r) = \begin{cases} 0 & E \leq r \leq F_N \\ 1 & 0 \leq r < S \\ 1 - \frac{3(r-S)^2}{2r_1^2} + \frac{3(r-S)^3}{4r_1^3} & S \leq r < F_c \quad \text{para } \sqrt{u^2 + v^2}, S = F_c - r, \text{ y } E = F_c + r_1 \\ 2 \left[ 1 - \frac{(r-S)}{2r_1} \right]^3 & F_c \leq r < E \end{cases}$$

(ecuación 7)

El filtro "*pasabajas*" se cumplió cuando:

$$H(F_c) = \frac{H(0)}{4} \quad F_c > 0 \quad (\text{ecuación 8})$$

donde:

- $F_c$  : frecuencia de corte, en la cual la amplitud del filtro según ecuación 8 debe de ser equivalente a 0,25 (c/s)
- $F_N$  : frecuencia de Nyquist ( $F_N=1/2\Delta t$ ) (c/s)
- $r_1$  : "roll-off" define la caída del filtro (c/s)
- $u$  y  $v$  : frecuencias espaciales (c/s)
- $S$  : banda de frecuencia "pasatodo"

E : caída del filtro

### Funcionamiento de "copotrad.for"

El algoritmo generado por las anteriores ecuaciones se concentra en el programa "copotrad.for" a 2-D: realiza el conjunto el cálculo de  $/H(r,\theta)/$  y  $/H(r)/$  originales con la FFT, y a la vez da la pauta conforme la forma de  $/H(r)/$  de elaborar manualmente el filtro "pasabajas" que se aplicó a los datos que conforman a  $/H(r,\theta)/$  original y que deja pasar en el filtrado sólo las Fbs. Con  $/H(r,\theta)/$  ya filtrado aplica de nuevo la FFT y obtiene  $/H(r)/$  ya filtrado con la mayoría  $F_{bs}$ .

El algoritmo "copotrad.for" también consideró un filtro tipo "Hanning" (Walker y Tufillaro, 1999) el cual exclusivamente en el proceso de datos disminuye la discontinuidad en las esquinas de la malla discreta dadas por el fenómeno de "Gibbs". Por otra parte para obtener a  $/H(r,\theta)/$  y  $/H(r)/$  en forma suave, mejor resolución, previo al proceso de la FFT, el algoritmo "copotrad.for" eliminó de los datos la media y la tendencia lineal .

Para el graficado de  $/H(r,\theta)/$  y  $/H(r)/$ , que es la forma visual final de los códigos de cada especie se utilizó para  $/H(r,\theta)/$  el programa Surfer 8.0, y para  $/H(r)/$  Grapher 7.0. En el acabado final de las figuras se empleó el paquete Corell Draw 11.

## Resultados y Discusión

### Análisis fisicoquímico y microbiológico

En las Tablas 1 y 2 aparecen los resultados de las variables fisicoquímicas y microbiológicas de cada variedad. La Tabla 1 se elaboró bajo la comparación del resultado real de  $P_{ha}$  y el hipotético  $P_{ha}$  ideal mínimo de 15 482 kg que la línea 1 adquiriría considerando el mínimo estándar de crecimiento diario de 2 g/día (Morales, 1974).

**Tabla 1.** Calificación de las variables internas de las variedades, comparadas con estándares y resultados de los errores RMSE, MAE, NMAE y bias

<b>W (g)</b>	<b>Chilatrada</b>	<b>Stirling</b>
x / E(x)	1,9 / 2	1,67 / 2
RMSE / MAE / NMAE / bias	7% / 5% / 2,5% / 5%	20% / 15% / 7,7% / 15%
$\bar{e}$	< 5%	< 14,42%
Observaciones	Alcanza el 94% del valor esperado, y sus errores comparativos son menores del 10%	Alcanza el 85% del valor esperado
Diagnóstico	(+)	(-)
<b>Ts (g/día)</b>	<b>Chilatrada</b>	<b>Stirling</b>
x / E(x)	1,9 / 2	1,69 / 2
RMSE / MAE / NMAE / bias	7% / 5% / 2,5% / 5%	20% / 15% / 7,7% / 15%
$\bar{e}$	< 5%	<14,42%
Observaciones	Alcanza el 94% del valor esperado, y sus errores comparativos son menores del 10%	Alcanza el 85% del valor esperado
Diagnóstico	(+)	(+)
<b>S (%)</b>	<b>Chilatrada</b>	<b>Stirling</b>
x / E(x)	82,8 / 87	89 / 87
RMSE / MAE / NMAE / bias	2,9% / 2,1% / 2,4% / 2,1%	14% / 10% / 11% / 10%
$\bar{e}$	< 2,3%	> 11,5%
Observaciones	Mueren más del valor esperado, y le falta el 3% para adquirir el valor mínimo esperado	El 85% del valor esperado contribuye al alcanzado en el cultivo. Este lo rebasa en un 14,5%



W: peso; Ts: tasa de crecimiento; S: sobrevivencia; D: mortalidad; Pha: productividad por hectárea; O<sub>2</sub>: oxígeno en agua; NO<sub>2</sub><sup>-</sup>: nitritos; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: nitratos; NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: amonio; Te: temperatura en estanques; CFT: coliformes fecales totales; FCA: factor de conversión alimenticia; Prot: proteínas

El mejor desarrollo fue para la línea 1, y fue fuerte a los embates de las bajas temperaturas que prevalecen durante los primeros días del mes de marzo en la región (Valle, 2002); por lo que sus F<sub>1</sub> no fueron aceptables. Los resultados indican que la línea 1 aún con su buen desarrollo en los meses distintos al mes de marzo, le faltó el 3% de sobrevivencia al inicio del cultivo y obtuvo una D real (17,4%) que rebaso con 4,4 p al valor esperado de D (13%) que se necesitaba para una P<sub>ha</sub> ideal. No obstante, debido a que alcanzó el 95% de su producción real (14 708 kg) con respecto al valor esperado. Los resultados de los errores RMSE, MAE, NMAE, y BIAS de la Tabla 1 definen en promedio al buen desarrollo de esta especie. Estos mismos análisis para la línea 2 la definen con una Tc regular y aceptable que alcanza el 94% de la P<sub>ha</sub> (14 619 kg) de la referencia, y el 99,3% de la real en la línea 1 (14 708 kg), características que la definen fortalezas ante las bajas temperaturas (13°C) del mes de marzo de la zona SEPESCA (1982 a y b), define al óptimo rango en éstos cultivos entre los 20 y 35°C).

La Tabla 2 muestra los resultados de las variables fisicoquímicas, microbiológicas, y el análisis proximal del alimento comercial, y la Tabla 3 presenta el comparativo entre los mismos y los estándares de la literatura, todos los análisis en la comparación en su mayoría son aceptables. La variación promedio mensual de los resultados de los NO<sub>3</sub><sup>-</sup> fue de 0 mg/l a 0,021 mg/l, y el comparativo con 0,5 y 5,0 mg/l (Cortés y Arredondo, 1976) los define como óptimos. La concentración de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> osciló en un rango de 0,001 a 0,01 mg/l en los ocho estanques, y se consideran inofensivos ya que estuvieron por debajo de 3,0 mg/l de la referencia Cebrián y cols. (1987). El promedio mínimo mensual del NH<sub>4</sub><sup>+</sup> fue de 0,0025 mg/l y el máximo de 1,08 mg/l, al comparar con el estándar de 0,6 a 2,0 mg/l (Vamos y Tasnadi, 1967) son favorables. El P mínimo, el más importante de los nutrientes, fue de 0,054 mg/l y máximo de 1,048 mg/l. En general se mantuvo dentro del rango 0,08 a 0,34 mg/l y al comparar el promedio de 0,21 mg/l con la referencia de 1 mg/l (Lannan y cols., 1986; Martínez-Córdova, 1995), los resultados son normales.

**Tabla 3.** Calificación de los factores internos del cultivo de tilapia en estanquería rustica, comparada con estándares en un clima húmedo-húmedo seco (Ar - ArAw)

Variables	Chilatrada		Stirling		E[X] esperado	Fuente
	X	Calif.*	X	Calif.*		
O <sub>2</sub> (mg/l)	1,0-5,0	NA	4,0-5,0	A	0,5-5,0	SEPESCA (1982)
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0-0,1	A	0-0,1	A	<4,0	Arredondo y cols. (1997) Limon y Lind (1987)
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0,0-0,021	A	0,021	A	0,5-5,0	Solvap (1998)
P (mg/l)	0,08-0,34	A	0,08-0,34	A	<1	Lanna y cols (1986)
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	0,025-1,08	A	0,025-1,08	A	<0,2	Vamos y Tasnadi (1967)
T (°C)	13-25	NA	13-25	NA	20-35	SEPESCA (1982)
FCA (adim)	1,4-1,5	A	1,4-1,5	A	-	MaltaCleyton®
CFT (Npml/100 cm <sup>3</sup> )	3,0-2 400	NA3	40-24 000	NA2	<230	La Gaceta Ecológica (1990)
Prot (%)	35	A	35	A	35	MaltaCleyton® (2002)

X: rango de variación obtenido en el cultivo/variedad; E[X]: rango del valor esperado para un cultivo de alta productividad

\* Calificativo: A: aceptable; NA: No aceptable; NA3: No aceptable en 3 estanques; NA2: No aceptable en 2 estanques

En la Tabla 2 también aparecen los valores del análisis microbiológicos de los CFT (3 a 24 000 Npml/100 cm<sup>3</sup>), que fueron considerados elevados al compararse con

estándares de cultivo para moluscos bivalvos en donde el 10% de las muestras analizadas deben ser menores a 230 Npml/100 cm<sup>3</sup> (Gaceta Ecológica, 1990). El disparo promedio de este indicador se atribuye a la posible existencia de contaminación ambiental en algunos estanques, y la causante principal fue *Vibrio metschnikovii*, que se localizó en 5 estanques y en el frotis de la piel de un individuo de la línea 2. Existen excepciones en los resultados, específicamente en los estanques que utilizaron agua subterránea para el cultivo, ya que no rebasan los estándares: estanque 4 de la línea 1 con 3 Npml/100cm<sup>3</sup>, y estanque 2 de la línea 2 con 40 Npml/100 cm<sup>3</sup>. En general estos estanques fueron los de mejor respuesta a los embates de factores externos durante el cultivo, y los individuos presentaron pocos disturbios de daño en las variables fisicoquímicas, morfológicas y microbiológicas, y por lo que fueron los de mayor adaptación ambiental.

El análisis bromatológico del alimento comercial tuvo la siguiente composición: (proteínas de 25 a 30%, grasa de 3 a 5%, fibra cruda de 5 a 6%, humedad de 12%, cenizas de 11 a 12%) por lo que se considera el adecuado para el cultivo de Tilapias en este estudio.

Esta proporción es importante para mantener el vigor de las especies, por lo que se deben de realizar este tipo de experimentaciones periódicamente para detectar los momentos en que exista una disminución de la fuente nutricional, lo cual tiene que ver a su vez con la preservación de la especie en el tiempo y su soporte ante los embates ambientales.

Por otra parte este trabajo sirve como la base para la aplicación de los códigos adaptativos y como un índice que puede ser comparado cuando se aplique en otros lugares en donde se realice un cultivos intensivos y extensivos comercial de Tilapias a nivel regional, fortaleciendo con esto la preservación de las especies y el manejo de las especies de importancia económica. En lo que se refiere para el caso en particular de las especies estudiadas se permite conocer el efecto de los factores ambientales que más influyen en el desarrollo de estas especie cuando se trasladan de un lugar a otro y poder determinar de manera inmediata al nuevo sitio de cultivo, como ocurrió en este estudio en que la especie fue trasladada de distintos lugares del país.

En general el oxígeno promedio mensual fue aceptable, excepto en dos ocasiones para uno de los estanques de la línea 1, en el que fue menor a 1 mg/l. Los siete estanques restantes, manifestaron un rango de 4 a 5 mg/l, que al compararlo con la referencia de 3 a 5 mg/l (SEPESCA, 1982; Solvap, 1998) fue aceptable. Según la metodología de la diferencia de peso en la estufa a 70°C por 24 h (AOAC, 1984), la humedad de las especies presentó un rango aceptable. No considerando el evento único de 13°C al inicio del cultivo, la temperatura en general con un promedio de 25°C al compararla con los valores de referencia (20 a 35°C) fue aceptable.

### **Factores ambientales**

El resultado de las estaciones meteorológicas en conjunto con la integración de la información de la Comisión Nacional de Agua (CNA) en México desde 1968 definen a la zona según García (1973) y Norzagaray y cols. (2006), como tipo húmedo (Ar) y húmedo seco (Ar-Aw) con dos regímenes de lluvias y estiaje, que fueron cubiertos durante los 186 días de cultivo, y que según la metodología de Campos (2007) tiene como resultado: precipitación pluvial promedio máximo anual de 577,9 mm/año, e mínimas hasta de 314,8 mm/año, evapotranspiración promedio anual (ETP) durante el estiaje de 404,1 mm/año y durante la de lluvias de 439.20 mm/año, índice de humedad (Ho) promedio anual del suelo variante de 0,97 a 2,018, temperatura promedio anual de 35°C, inherente a un índice de calor durante la temporada de

estiaje con máximas de 8,94°C, y de lluvias con máximas de 14,25°C. Todos los datos ambientales fueron conjuntados para conformar un impulso único y ponderado representativo de éstas según fuese el caso externo o interno y retroalimentar las funciones armónicas a procesar.

### Funciones logarítmicas

En la Tabla 4 se muestran los valores de la sumatoria promedio ponderada a 400 individuos de todas las variables, y al aplicar la ecuación 1 y graficar en forma semilogarítmica se definen las funciones armónicas de la Figura 3. El resultado del par de transformadas de Fourier (ecuación 3), se obtuvo de los datos de una malla regular (4 x 100) definida por la ecuación 2, resultados a los que se les aplicó el programa de cómputo "copotrad.for" y obtener la FFT que define a los resultados de los espectros radiales y de potencia de las Figuras 4, 5, y 6, mismos que internamente a través del programa mencionado se les aplicó a cada una de las funciones en forma constante y única tres impulsos anómalos y disturbadores representativos de las variables CFT, análisis proximal del alimento y ambientales. En la parte A de las Figuras 4 y 5 se observan el espectro de potencia o código  $/H(r,\theta)/$  para la línea 1, y la línea 2 respectivamente. Estos contienen todos los armónicos del cultivo: bajos, medios y altos.

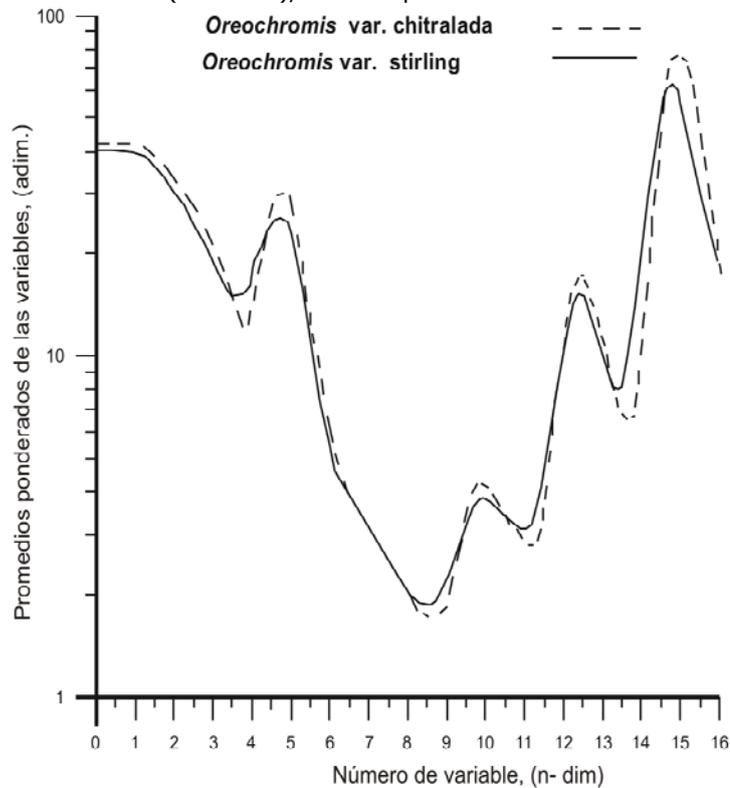
**Tabla 4.** Resultados ponderados a toda la población cultivada de los factores internos y externos para las dos especies de Tilapias

Variedad Estanque	Chilatrada				Stirling			
	1	2	3	4	1	2	3	4
<b>W</b> (g)	4,12	3,31	3,37	3,47	2,35	3,49	3,7	3,21
<b>Ts</b> (g/día)	4,05	3,25	3,31	3,4	2,3	3,44	3,6	3,4
<b>S</b> (%)	0,726	0,72	0,88	0,976	1	1	0,68	0,88
<b>D</b> (%)	0,272	0,28	0,112	0,024	0	0	0,31	0,12
<b>Pha</b> (kg/ha)	1,49	1,19	1,49	1,69	12,7	18,88	12,5	14,38
<b>O<sub>2</sub></b> (mg/l)	0,005	0,004	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b> (mg/l)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b> (mg/l)	0,00021	0,00021	0,00021	0,00021	0,00021	0,00021	0,00021	0,00021
<b>P</b> (mg/l)	0,0034	0,0034	0,0034	0,0034	0,0034	0,0034	0,0034	0,0034
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b> (mg/l)	0,00108	0,00108	0,00108	0,00108	0,00108	0,00108	0,00108	0,00108
<b>Te</b> (°C)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
<b>FCA</b> (adim)	0,015	0,015	0,015	0,014	0,015	0,015	0,014	0,014
<b>CFT</b> (Npml/100 cm <sup>3</sup> )	24	39	9,3	0,003	40	0,4	24	21
<b>Prot</b> (%)	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35

W: peso; Ts: tasa de crecimiento; S: sobrevivencia; D: mortalidad; Pha: productividad por hectárea; O<sub>2</sub>: oxígeno en agua; NO<sub>2</sub><sup>-</sup>: nitratos; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: nitritos; NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: amonio; Te: temperatura en estanques; CFT: coliformes fecales totales; FCA: factor de conversión alimenticia; Prot: proteínas

Con fines de presentación y obtener limpios los espectros de potencia  $/H(r,\theta)/$  de la parte A de las Figuras 4 y 5, se realizaron varias pruebas a la malla bidimensional 4 x 100 con un filtro "Hanning" para eliminar el fenómeno de Gibbs que se observó en los primeros  $/H(r,\theta)/$  con distorsiones en las esquinas debido a la discontinuidad existente en esta zona, por lo que los resultados presentes de  $/H(r,\theta)/$  exclusivamente para estos puntos deben considerarse con cierta reserva. La forma principal que adquieren los  $/H(r,\theta)/$  de la parte A en las Figuras 4 y 5, se deben a las magnitudes y cantidades de las  $F_{bs}$  situado en la banda espectral del armónico de bajos tonos. El resultado en forma independiente de los medios y altos tonos espectrales de estas  $F_{bs}$  de cada  $/H(r,\theta)/$ , después de aplicar un filtro matemático "pasabajas" se observa en las Figuras 4 (parte B y C) y 5 (parte B).

**Figura 3.** Señales de las variedades 1 y 2, en un ambiente húmedo-húmedo seco (Ar - ArAw), en estanques rústicos



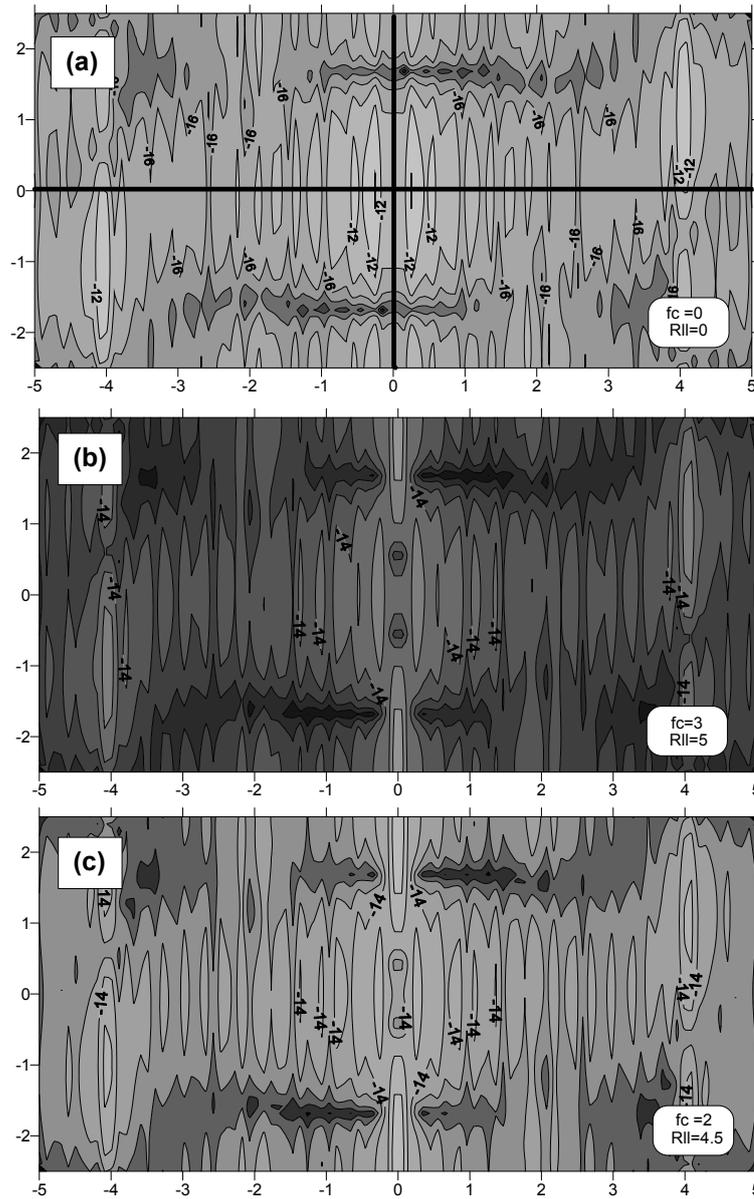
Para obtener los resultados de la parte C de la Figura 4 se diseñó un filtro óptimo con una  $F_c$  para 3 rad/m y un  $r_f$  u caída hacia la  $F_r$  de 5 rad/m (Figura 6, parte B) que se aplicó a la malla 4 x 100 de la línea 1. Aplicado tal filtro, el resultado no manifestó una buena continuidad ni resolución, por lo que se considero la incertidumbre en eficiencia filtral diseñada (Figura 4 parte B). Para localizar un proceso filtral adecuado, y definir al óptimo  $/H(r,\theta)/$  con la posible resolución y continuidad que permitiese visualizar las  $F_{bs}$  se procedió a las pruebas tipo "disparo" con filtros de pasos abruptos de los bajos tonos. El resultado óptimo fue para una  $F_c$  de 2 rad/m y un  $r_f$  de 4,5 rad/m (Figura 4, parte C). Sin embargo en los resultados aunque menores aún se siguen presentando distorsiones y discontinuidades para todos los  $/H(r,\theta)/$  analizados con distintos filtros de prueba.

El filtro "pasabajas" de la línea 2 fue de una  $F_c$  de 3.4 rad/m y  $r_f$  de 4.7 rad/m (Figura 6, parte E), y la forma del  $/H(r,\theta)/$  fue muy continua desde sus inicios, y de alta resolución. Se realizaron pruebas de disparo con filtros de "alto rigor", siendo todos los resultados iguales (Figura 5, parte B).

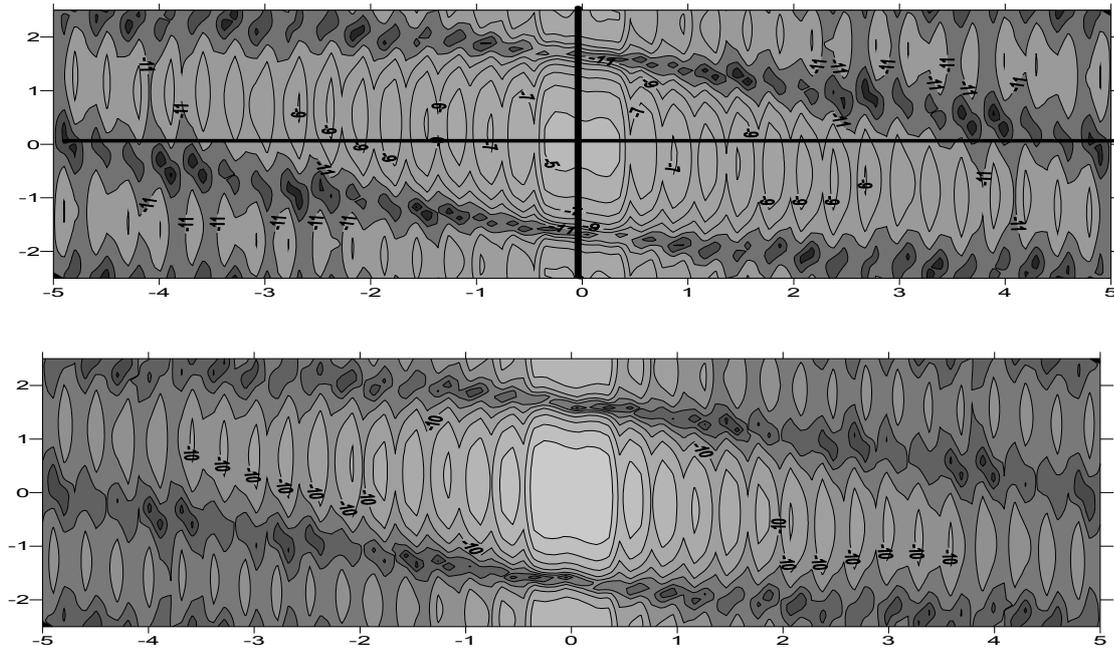
Los resultados de los espectros radiales sin tratamiento alguno de ambas especies se presentan en la Figura 6 (A y D) y se ilustra también a los espectros radiales filtrados en las partes C y F de la misma Figura, y corresponden a espectros libres del ruido procedente de la influencia de los altos y medios tonos del código inicial, de fuente distinta originados durante el período de cultivo, y estaban enmascaradas. Por ejemplo los errores atribuidos a múltiples operaciones de campo, laboratorio y el proceso de datos. Obsérvese en esta Figura la diferencia que existe en los filtros radiales de cada especie, de tal forma que el porcentaje de la gamma de  $F_{bs}$  que las constituyen, y están constituidas por distintas áreas bajo las curvas. El área de la línea

2 es menor que el de la línea 1. La diferencia de la línea 2 se puede atribuir a que no requiere de muchas variables para lograr la adaptación ambiental y fundamentar la forma para lograr una continuidad en su  $/H(r,\theta)/$ , así como una alta resolución, que lo pone de manifiesto en su baja D y alta S durante las observaciones realizadas directamente al cultivo. Caso contrario para la línea 1, ésta requiere de un buen número de variables para lograr definir en forma potente y coherente a sus  $F_{bsr}$ , por tal presenta una baja resolución y una pobre continuidad, aspectos que hacen pensar que se deben a la baja adaptación ambiental que manifiesto durante el cultivo, en el cual no pudo evitar la vulnerabilidad ante los embates ambientales, es por ello que existe la distorsión y discontinuidad en de los resultados de  $/H(r,\theta)/$  ya filtrado, aún empleando métodos de "disparo" con filtros de "alto rigor", (Figura 4 parte C , y Figura 5 parte B). Lo anterior lo denotó con una alta D, por lo que no contó con individuos suficientes al final del cultivo, para obtener la  $P_{ha}$  esperada y estimada a partir de los estándares mínimos en este tipo de cultivos (15 482 kg), le faltó el 3% de la población desaparecida.

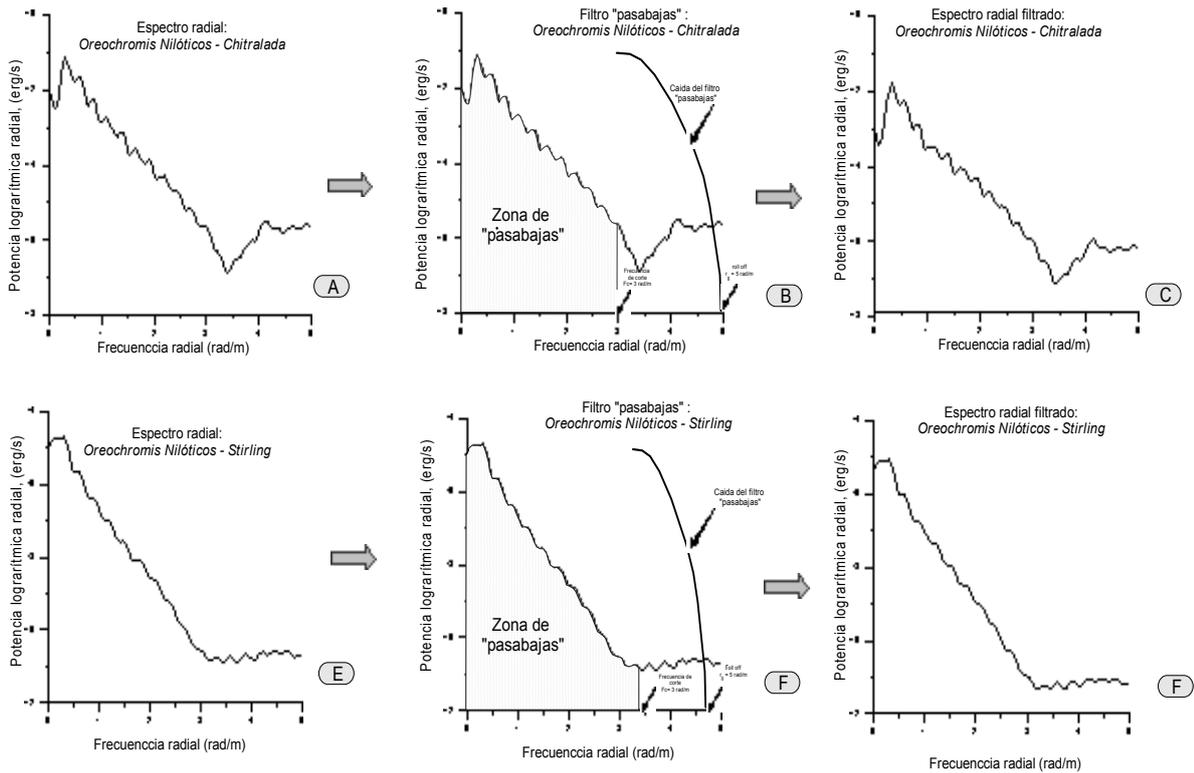
**Figura 4.** Espectros de potencia ( $\lambda$ ): (a) sin filtrar, (b) empleando un filtro "pasabajas" con  $F_c = 3$  rad/m y  $r_l$  de 5 rad/m, y (C) empleando un filtro "pasabajas" de  $F_c = 2$  rad/m y  $r_l = 4,5$  rad/m para la línea 1, en un clima ambiental húmedo (Ar)-húmedo seco (Ar - Aw), en estanquería rústica



**Figura 5.** Espectros de potencia ( $\lambda$ ): (A: arriba) sin filtrar y (B: abajo) filtrado para la variedad 2 (rad/m)



**Figura 6.** Espectros radiales (A) y (D), filtros "pasabajas" (B) y (E), y espectros radiales filtrados (C) y (F), para las especies cultivadas



En la Figura 6, se determinó la potencia del impulso mayor que define a las variedades. En el caso de la variedad 1 éste fue de 4,5 ciclos/s y para la variedad 2 de 3,5 ciclos/s. Al igual se calculo el porcentaje de la zona de  $F_{bs}$ , que para la variedad 1 fue del 70% y para la var.2 tan sólo del 50% del total de toda su gamma de frecuencias del armónico ya procesado ( $F_h$ ,  $F_m$ ,  $F_b$ ), lo cual también puede ser correlacionado con las condiciones ambientales existentes para la adaptación de la especie, determinando que la variedad 2 logró adquirir la mejor adaptación a las

condiciones ambientales impuestas; en otras palabras son menos las variables que deben ser controladas para lograr su adaptación, y caso contrario para la variedad 1.

## Conclusiones

Los cambios que definen la diferencia genética entre las variedades de Tilapias estudiadas se puede definir mediante la visualización, comparación e interpretación de los códigos presentes ( $/H(r,\theta)/$  y  $/H(r)/$ ). Los mismos que denotan las características de cada organismo referente a la resistencia ambiental, mediante los siguientes parámetros espectrales: área bajo la curva de las  $F_{bs}$ , porcentaje existente de la gamma de  $F_{bs}$ , la magnitud del impulso mayor, la distorsión y continuidad del espectro de potencia.

Los parámetros espectrales que definieron a los códigos y que denotan la adaptación de la variedad 2 fueron los siguientes: alta resolución, suave, continuo, pocas  $F_{bs}$ , y bajo impulso en la banda de  $F_{bs}$ , indicando así que no existen riesgos altos en su adaptación. Para la variedad 1: discontinuidad, pobre resolución, buen número de  $F_{bs}$  e impulso mayor, lo que se atribuye a su vulnerabilidad y baja adaptación ambiental.

La variedad 2, proveniente del SO de México fue tolerante a las nuevas condiciones ambientales estudiadas durante el cultivo. Además en la cosecha, y ajeno al control del experimento, existió la reproducción de alevines, no obstante haber empleado en el cultivo solo machos.

El filtro "pasabajas" en la señal de la variedad 1 utilizó una  $F_c$  de 3 rad/m y un  $r_l$  de 5 rad/m, y de las pruebas de "disparo" realizadas con filtros de "alto rigor" para obtener pasos abruptos de más  $F_{bs}$  el de mejores resultados fue de 2 rad/m para la  $F_c$ , y 4,5 rad/m para  $r_l$ . No obstante, la distorsión fue mayor a la observada con la del primer filtro, y las discontinuidades existentes continuaron.

Para la variedad 2, el filtro "pasabajas" fue de una  $F_c$  de 3,4 rad/m un  $r_l$  de 4,7 rad/m. la respuesta del  $/H(r,\theta)/$  inmediatamente fue continua y de alta resolución. No obstante se procedió a realizar pruebas de disparo con filtros de "alto rigor", y el resultado fue muy similar.

Como indicadores de la resistencia ambiental de las variedades 1 y 2 se obtuvieron las resoluciones y continuidades de los  $/H(r,\theta)/$  y el porcentaje de la gamma de  $F_{bs}$  áreas bajo las curvas e impulso mayor en los códigos radiales; estos fueron distintos, por lo que la variedad 2, al compararse con la variedad 1, el  $/H(r,\theta)/$  tuvo una alta resolución, fue suave, continuo, potente y coherente. En el radial tuvo menores  $F_{bs}$  y porcentaje (70% del total de frecuencias), al igual que el área bajo la curva y magnitud del impulso mayor (3,5 ciclos/s) manifestando todo lo contrario estas características fueron de espectros discontinuos, poca resolución, coherencia y potencia, presencia de mayores  $F_{bs}$  (50% del total de de frecuencias) e impulso mayor (4,5 ciclos/s), todo ello atribuido a su vulnerabilidad y baja adaptación ambiental.

La variedad 2 no requirió control de menos variables que su compañera de cultivo para lograr la adaptación ambiental ya que presento un  $/H(r,\theta)/$  potente continuo, coherente y de buena resolución. Con ello garantiza la continuidad de la especie dentro del clima estudiado. Al igual lo manifiesto en los datos del cultivo con su baja D y alta S. La variedad 1 requiere de un buen número de variables para lograr definir su forma, potencia, continuidad y coherencia del  $/H(r,\theta)/$ , y del radial son pocas sus  $F_{bs}$  y área bajo la curva no obstante presento un mayor impulso que denota su impacto alto al ser introducida al ambiente, lo hace pensar que se deben a la baja adaptación ambiental que manifiesto y los embates ambientales.

Se concluye que la variedad Stirling tuvo de menor peso ( $W$ ) y crecimiento diario ( $T_c$ ), sin embargo presentó mayor resistencia ambiental productividad ( $P_{ha}$ ) de 14 619 kg que la variedad Chitralada. Los resultados de los códigos y el algoritmo pueden ser empleados en bancos de información de códigos adaptativos de distintas especies, como fuente de inspiración en simulaciones numéricas útiles para la reproducción masiva de Tilapias.

Este análisis es importante para mantener el vigor de las especies, se deben de realizar experimentaciones periódicamente para detectar los momentos de una disminución de la fuente nutricional lo cual tiene que ver a su vez con la preservación de la especie y su soporte ante los embates ambientales.

Por otra parte este trabajo sirve como la base para la aplicación de los códigos adaptativos y como un índice que puede ser comparado cuando se aplique en otros lugares en donde se realicen cultivos intensivos y extensivos con fines comerciales de Tilapias a nivel regional, fortaleciendo la preservación de las especies y su manejo económico.

En lo que se refiere en particular a las especies estudiadas se permite conocer el efecto de los factores ambientales que más influyen en su desarrollo cuando se trasladan de un lugar a otro con lo que se puede determinar de manera inmediata mediante un cultivo experimental su posible adaptación al nuevo sitio de cultivo, tal y como ocurrió en este caso de estudio en que la especie fue trasladada de distintos lugares del país.

## Bibliografía

1. Alamilla, H. (2002). *Cultivo de Tilapias*. México. ZOE Tecno Campo. 16 pp.
2. Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (1984). *Official Methods of Analysis*. 14th ed. Arlington, VA. 1, 141 pp.
3. Arredondo, J.L., Figueroa., G. Tenorio Colín y G. García González. (1997). Análisis electroforético de 3 diferentes líneas de *Oreochromis Niloticus*. Mazatlán, Sin. Mex. *V Congreso Nacional de Ictiología*.
4. Bath, M. (1974). Spectral Analysis in Geophysics. *Developments in solid Earth*. Amsterdam. *Geophysics*, Vol. 7. Elsevier, Sc. Pu. Co.
5. Bhattacharyya, B.K. (1964). Magnetic anomalies due to prism-shaped bodies with arbitrary polarization. *Geophysics*, 29:517-53
6. Blakely, R.J. (1995). *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge University Press
7. Campos, A.F. (2007). Estimación y aprovechamiento del escurrimiento. 440 p. Sasn Luis Potosí, México.
8. Carel, W. y V. Der Merve, (1969). *Física General*. USA. McGraw-Hill Inc.
9. Cebrian, M.; M. J. Muñoz; M. Carballo y J. V. Tarazona (1987). Análisis de la calidad del agua en nueve piscifactorías españolas con elevada mortalidad. *Cuad. Marisq. Publ. Tec.*, 12: 729-34
10. Chavéz, R.E., C. Hernández., J. Herrera y E. Cámara. (1995). A magnetic survey over La Maja, an archaeological site in northern Spain. Great Britain. *Archaeometry*, 37: 171-84
11. Claerbout, J.F. (1976). *Fundamentals of Geophysical Data Processing with Applications to Petroleum Prospecting*. USA. McGraw-Hill.
12. Cortés, A.R. y J.L. Arredondo. (1976). Contribución al estudio limnobiológico de la presa "El Infiernillo" Michoacán-Guerrero. Fideicomiso para el desarrollo de la fauna acuática. México. *Serie Técnica*, 2:1-29
13. *Cuadernos de porque biotecnología* (CPB). (2005). Edición 86. Argentina. Consejo Argentino para la información y desarrollo de la biotecnología.
14. Darvy, E.K. y E.B. Davis. (1967). The analysis and design of two-dimensional filters for two dimensional data. *Geophysics Prospection*, 15: 383-406.
15. de la Cuetara J.A. (2004). Bio jurídica. *Revista de Derecho Ambiental*, 10(1): 12-32
16. Egna, H. S. y C.E. Boyd. (1997). *Dynamics of Pond Aquaculture*. CRC Press. LLC, New York, USA, 437 pp.
17. Egna, H.S. y C.E. Boyd. (1997). *Estanques en Acuicultura*. Dirección de acuicultura. México.

18. Escobar, B.L., N.M. Olvera y C.C. Puerto. (2006). Avances sobre la ecología microbiana del tracto digestivo de la Tilapia y sus potenciales implicaciones. *VIII Simposium Internacional de Nutrición acuícola*. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México.
19. Fouz, B., E. Alcaide, R. Barrera y C. Amara. (2002). Susceptibility of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) to vibriosis due to *Vibrio vulnificus* biotype 2. (serovar E). *Aquaculture*, 212: 21-30
20. Fuller, D.B. (1967). Two dimensional frequency analysis and design of grid operation. *Mining Geophysics*, Vol. II. SEG. Tulsa. 658-708
21. *Gaceta Ecológica*. (1990). Instituto Nacional de Ecología, (INE- SEMARNAT. Asociación), México. D.F (ISSN 1405-2849).
22. García, E. (1973). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köeppen*. Instituto de Geografía Univ. Nal. Autón. México. 246 pp.
23. Gupta, V.K. and N. Ramani. (1978). A note on convolution and padding for two-dimensional data. *Geophysics Prosp.*, 26: 214-7
24. Gupta, V.K. y N. Ramani. (1980). Some aspect of regional-residual separation of gravity anomalies in the precambrian terrain. *Society of Exploration Geophysics*, Toronto Canadá, 1415-26
25. Lannan, J.E., R.O. Smitherman y G. Tchobanoglous. (1986). *Principles and practices of pond aquaculture*. Corvallis, OR (USA), Oregon State Univ. Press. 252 pp.
26. Lasasa, M.D. (2006). Calculo de sumas infinitas de potenciales pares negativas de enteros utilizando series de Fourier. Tesis Doctoral. *Revista de la Olimpiada Iberoamericana de Matemáticas*, Madrid, España.
27. Lorente J.M. (1961). *Meteorología* (4ª. Ed). Editorial Labor . Barcelona, España. 28-59
28. Limón, J.G. y O.T. Lind. (1989). Long and variation in the physical and chemical limnology of a large shallow, turbid tropical lake (Lake Chapala México). *Archib/hidrobiol.Suppl.* México 83(1):57-81
29. Mardones, G. (2006). Clasificación jerárquica y cartografía de ecosistemas en la zona andina de la Región del Biobío, Chile. *Revista Geográfica* 35(1): 59-75
30. Malta Cleyton. (2002). URL: <http://www.Maltatexto.com.mx>
31. Martínez-Córdoba, L. H. Villareal y M. Porchas. (1995). Culture of whitw shrimp *Penaus vannamei* in redused water Exchange pons in Sonora Mexico. *World Aquaculture* 26(1):47-8
32. Molgaard H, Sorensen K.E y Bjerregaard P. (1991). Attenuated 24-h heart rate variability in apparently healthy subjects, subsequently suffering sudden cardiac death. *Clin Auton Res.* 11(3) : 233-7
33. Morales, A. (1974). *El cultivo de la tilapia en México. Datos Biológicos*. Instituto Nacional de la Pesca, México. 124-5.
34. Nesse, R.M. and G.C. Williams. (2000). *Why we get Sick*. Vintage Book Random House, New Cork USA. 344 pp.
35. NOM-AA-42-1981. (1981). *Análisis de agua. Determinación del Número más probable de Coliformes totales y fecales*. México.
36. Norzagaray, C.M, S.P Muñoz y T.M. Ladrón de Guevara. (2005). Determinación de la Evapotranspiración en el acuífero costero del Valle de Guasave, Sinaloa. México D.F. *Revista Tláloc, Asociación Mexicana de Hidráulica*. 35:1-48
37. Norzagaray, C.M. (2003). *Flujo regional en acuíferos, sus causas y efectos en la dispersividad hidrodinámica: un caso de estudio*. Tesis doctoral. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Mérida, México. 114 pp.
38. Norzagaray, C.M., F.L Capurro, S.P Muñoz y D.Y. Maya. (2006). El clima y el índice de humedad del suelo: zona costera del valle de Guasave, Sinaloa, México. Oaxaca, México. *Naturaleza y desarrollo*, 55 pp.
39. Ortiz, J. y Mendoza D. (2008) Variabilidad de la FrecuenciaCardiaca, una herramienta útil. *Revista Digital EF y Deportes*, 121(13):14-8. <http://www.efdeportes.com>
40. Payo, G.A. (2004). *Predicción de la evolución de sistemas costeros a gran escala, basada en soluciones analíticas del modelo de una línea*. Centro Andaluz del Medio Ambiente (CEAMA). Andalucía, España. Tesis doctoral.
41. Peters, L.J. (1949). The direct approach to magnetic interpretation and its practical application: *Geophysics*, 14, 290-319
42. Pielke, A.A. (1984). *Mesoscale Meteorological Modeling*. Academic Press, 612 pp.
43. Secretaría de Pesca. (1982a). *Manual Técnico para el Cultivo de la Tilapia*. Dirección General de Acuicultura. México.
44. Secretaría de Pesca. (1982b). *Manual de Piscicultura*. Dirección General de Acuicultura. México.
45. Solvap, E. (1998). Cultivo de la langosta de agua dulce C. *Quadricarinatus*. *Alternativas de cultivos acuícolas*. 9(3): 387-90.
46. Spector, A. y F.S. Grant. (1970). Statical model for interpreting aeromagnetic data. *Geophysics*, 35(1):293-302

47. Stauffer, D.R. y N.L. Seaman. (1990). Use of four-dimensional data assimilation in a limited-area mesoscale model. Part I: Experiments with synoptic-scale data. *Mon. Wea. Rev.*, 118(1):1250-77
48. Stoskopf, M.P. (1993). *Fish Medicine*. W.B. Saunders Company. USA. 882 pp.
49. Strickland, J.D. y T.R. Parsons. (1972). A practical handbook of seawater analysis. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada* (2 second edition), Canada, 310 pp.
50. Suárez, B.V. (1998). *Análisis de Fourier*. Instituto Politécnico Nacional (1ª ed.). México D.F. Tampico. México. 101 pp.
51. Valle, M.O. (2002). *Planeación regional bidimensional del agua subterránea en el Valle de Guasave, Sinaloa, México*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Sinaloa. Guamuchil, Sinaloa. 189 pp.
52. Vamos, R. y R. Tasnadi. (1967). Ammonia poisoning in carp. 3. The oxygen content as a factor influencing the toxic limit of ammonia. *Acta Biol. (Szeged)* 13(3-4): 99-105
53. Walker D.M. y N.B. Tuffillaro. (1999). Phase space reconstruction using input –output time series data. *Physical Review E*. 60(4): 4008-13
54. Wootton, R.J. (1990). *Ecology of Teleost Fishes*. Chapman and Hall. Londres. Fish and Fisheries Series 1. 404 pp.