

## Análisis numérico para la determinación de efectos geográficos en dos variedades de tilapias *Oreochromis niloticus* (Stirling y Chitralada)

Norzagaray-Campos M.\*<sup>1</sup>, Espinosa-Carreón L.\*<sup>1</sup>, Apún-Molina J.\*<sup>1</sup> y Muñoz-Sevilla P<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CIIDIR- Sinaloa. Blv.

Juan de Dios Batíz Paredes No. 250. Guasave Sinaloa, C.P 8101.

Email: [mnorzaga@ipn.mx](mailto:mnorzaga@ipn.mx)

\* Becarios cofaa y EDI del IPN

### Resumen

Las tilapias fuera de su ambiente geográfico son sensibles y no se encuentran en el mercado todo el año. Antes de tomar decisiones y realizar costosas inversiones, se recomienda identificar los momentos más convenientes. El objetivo de este trabajo fue diseñar y aplicar una herramienta numérica (*HN*) que defina los momentos de mayor sensibilidad ante el ambiente local. Para lograrlo se usaron datos de 196 días de un cultivo bajo control de dos variedades de tilapias *Oreochromis niloticus* (Stirling y Chitralada) para definir la curva de peso  $w(t)$ . En el cultivo se usaron cuatro pares de estanques rústicos a una densidad de siembra de 5 alevines/m<sup>3</sup> y 4 tipos de aguas: subterránea, río, canal agrícola y laguna. Los indicadores de los efectos anómalos, benéficos y del equilibrio ambiental durante la temporada de frío y calor fueron: la zona de transición principal ( $Z_{tp}$ ), los puntos primarios ( $P_p$ ), las zonas de transición secundarias ( $Z_{ts}$ ) y puntos secundarios ( $P_p$ ) identificados con un filtro numérico que se aplicó a la transformada de  $w(t)$  ( $TW(t)$ ). La *HN* se validó con los registros del porcentaje (%) de sobrevivencia ( $S(t)$ ), mortalidad ( $D(t)$ ) y los estándares de la sensibilidad de las tilapias ante el gradiente de temperatura en los estanques ( $\nabla T_e$ ). El comportamiento de  $w(t)$  en ambas variedades para su simulación numérica se ajustó a un modelo cuadrático ( $at^2+bt+c$ ), y la  $TW(t)$  a un modelo semiexponencial ( $TW(t)=d(f-e^{-gt})=K-e^{-ht}$ ). Los puntos primarios (indicadores del momento en que las especies enfrentan el mayor riesgo) se presentaron al mismo tiempo (75 días) en ambas variedades. Los puntos secundarios indicadores de efectos de menor riesgo se presentaron en diferentes intervalos de tiempo: en la var.1 (Stirling) a los 19, 45, 112 y 151 días y en la var.2 (Chitralada) a los 21, 46, 114, 155, 151 días. El análisis concluyó que las intensidades de los efectos dañinos y benéficos son directamente proporcionales al tamaño de sus respectivas zonas de transición secundarias ( $Z_{ts}$ ). Se recomienda realizar los cultivos de tilapia con agua subterránea por estar libre de contaminación. Este análisis numérico que considera la dinámica de  $\nabla T_a$ , y que identifica en los cultivos las amenazas y bondades de los efectos geográficos es una herramienta práctica y útil para la crianza y la toma de decisiones en los cultivos intensivos en diferentes lugares del mundo.

*Palabras clave:* cultivo de tilapia, herramienta numérica, comportamiento, efectos ambientales.

### Summary

#### Numerical analysis to determination of geographical effects in two varieties of *Oreochromis niloticus* tilapias (Stirling and Chitralada).

Tilapia outside their geographic environment are sensitive and are not always available on the market. Before taking decisions and making expensive investments, it is recommended to identify the most recommendable moments. The objective of this work was to design and apply a numerical tool (*HN*) that defines the moments of greatest sensitivity in a local environment. To achieve that we used data of 196 days of a growth with two varieties of tilapias *Oreochromis niloticus* (Stirling and Chitralada) to define the weight curve  $w(t)$ . Fish were grown in four pairs of rustic pools with 5 fry/m<sup>3</sup> and four kinds of water: underground, river, agricultural channel and lagoon. The indicators of the anomalous, beneficial effects and the environmental balance during

the cold and heat seasons were: the main zone of transition (Ztp), the primary points (Pp), the secondary zones of transition (Zts) and secondary points (Pp) identified with a numerical filter that was applied using a transformation of  $w(t)$  (TW (t)). The HN was validated with the registries of the percentage (%) of survival (S (t)), mortality (D (t)) and the standards of the sensitivity of the tilapias before the gradient of temperature in the pools ( $\nabla T_e$ ). The behavior of  $w(t)$  in both varieties for its numerical simulation was adjusted to a quadratic model ( $at^2+bt+c$ ), and the TW (t) to an semiexponential model ( $TW(t)=d(f-e^{-gt})=K-e^{-ht}$ ). The primary points (which indicate the moment at which the species presented the greatest risk) occurred at the same time (75 days) in both varieties. The secondary points indicated effects of smaller risk at different intervals times: in var.1 (Stirling) at 19, 45, 112 and 151 days, and in var.2 (Chitralada) at 21, 46, 114, 155, 151 days. The analysis concluded that the intensities of the harmful and beneficial effects were directly proportional to the size of their respective secondary zones of transition (Zts). It is recommended to grow tilapia using underground water because it is free of contamination. This numerical analysis considers the dynamics of  $\nabla T_a$ , and identifies in the cultures the threats and kind of geographic effects with a practical and useful tool for production and for decision making in intensive cultures in different parts of the world.

*Key words:* tilapia culture, numerical tool, behavior, environmental effects.

## Introducción

Avances recientes permiten que el cultivo de tilapias se intensifique (Avault, 1995) y proporcione alimentos, recursos económicos y empleos (Arce, 1989). Esto es el caso sobre todo para la *O. niloticus* que actualmente representa al 70% de las especies cultivadas (Fitzsimons, 2004). Uno de los avances más significativos es lograr el control de los sistemas intensivos de producción de tilapias (SIPT) en distintas modalidades: geomembrana, tanques, estanques, jaulas, contenedores, entre otros (Diana y cols., 2004; Cruz & Ridha, 1991; Yi y cols., 1996). Sin embargo se requieren de nuevas herramientas para despuntar a los SIPT hacia el control y la compatibilidad con el medio ambiente (Moore, 1985). La tilapia que mejora la dieta alimenticia del hombre y que permite obtener ingresos por su comercio en cuanto a su consumo, cultivo e importaciones en el mundo ha crecido. Un ejemplo es el incremento en el consumo per cápita de USA que de 1.2 ton/año en 2006 creció para el 2009 a 1.7 tons/año (de 360,000 a 536,500 ton/año) (Helga 2010); considerando que la especie en 1996 era completamente desconocida en este país, en tan solo 13 años el crecimiento fue significativo. En México el producto per cápita es variable, en 2001 fue de 1.73, en 2007 de 1.32 y en 2009 de 1.8 ton/año; lo cual indica que los productores locales no abastecen el mercado nacional con sus 90,000 toneladas de producción interna. El alto consumo ha propiciado que el mercado mexicano actual este inundado con tilapia barata y de buena calidad proveniente de China (39.3 en el 2007, 36.5 en 2008 y 36.2 ton/año en 2009) (Helga, 2010). Ante la situación, los mexicanos en un plazo inmediato deben de incrementar su producción anual y ofertar un mercado propio todo el año. Cabe considerar que existen aún muchas regiones en las que se puede abrir el comercio de éste producto un ejemplo de esta apertura podría ser la Unión Económica Europea, donde la tilapia en algunos lugares continua siendo desconocida y las importaciones totales se encuentran estancadas en casi las 10, 000 toneladas desde el 2008 (Chavaría, 2010).

Un crecimiento de esta naturaleza en la producción permitiría mitigar los diferentes niveles de pobreza en México, al igual el de otros países en desarrollo; pero existen inconvenientes para lograrlo: las condiciones frías de invierno que hacen difícil y poco remunerable cultivar tilapias con óptimos resultados (Morales, 1974; Castillo, 1994; Alamilla, 2002; Philippart & Ruwet, 1982). Esta certeza del riesgo durante la temporada de invierno frena las inversiones para el cultivo, no solo en México, sino en el mundo entero, y es una de las causas más importantes que perjudica a los

productores para competir con los países de alta producción donde se han fabricado dispositivos para controlar la sensibilidad de las tilapias ante los cambios ambientales (Chervinski, 1982; Alamilla, 2002). La preferencia de esta especie a las aguas cálidas y su resistencia a adaptarse a las distintas geografías hace que se impongan en ésta efectos inadecuados para su crecimiento  $c(t)$  lo cual repercute en su peso ( $w(t)$ ) y la alta producción (Philippart & Ruwet, 1982).

Es conocido que por debajo de 20°C la especie altera su actividad, a los 16 °C no se desarrolla y deja de alimentarse (Chervinski, 1982). Algunos autores, en función del lugar, este rango lo definen por debajo de los 25° y 3 °C (Alamilla, 2002), y otros lo marcan por debajo de 25 y 26°C (Castillo, 1994, Wicki & Gromenida, 1997). Aún existen controversias para definir el rango ideal en el gradiente de temperatura que el ambiente impone en los estanques ( $\nabla \overline{T_e}$ ) principalmente para que un cultivo este fuera de riesgo y no presente probabilidades de amenazas y éstas a su vez se conviertan en un desastre.

La prevención demanda identificar antes de iniciar un cultivo, el momento en el cual la especie está en riesgo ante las temperaturas ambientales, cuánto dura éste y cuando es el momento oportuno para iniciar la siembra. La mejor manera de lograrlo es usando los datos que arrojan los cultivos previamente realizados en una región. Ante la situación este trabajo presenta una herramienta que logra a través de la curva de peso de dos variedades de tilapias identificar los tiempos en que arriban los efectos dañinos, benéficos y el equilibrio ambiental atribuidos al gradiente de temperatura ambiental de una región del Noroeste de México.

## Materiales y métodos

**Área de estudio:** Se realizó un cultivo controlado de dos variedades de tilapias en la zona central del Municipio de Guasave Sinaloa, México, a 15 km de la ciudad de Guasave, a 40 km de la costa del Mar de Cortes, en el ejido de La Entrada (25°35'42.80" N y 108°34'36.36"). Datos de cinco estaciones meteorológicas definen el área de estudio con un clima húmedo seco (*Ar -Aw*) (García 1964, Norzagaray y cols. 2005) y con una temperatura ambiente representada por una temporada fría (noviembre-febrero) y cálida (marzo-octubre), con un promedio de 25 °C con máximas de 42°C y mínimas de 13°C (Norzagaray y cols. 2005), con un periodo de lluvia ( $R_L$ ) y otro de estiaje ( $R_E$ ).

**Diseño experimental:** Se seleccionó el tipo de suelo mediante la técnica de Bouyocus (León-Arteta, 1995), y se elaboraron los estanques rústicos de 5 m de largo x 5m de ancho x 1.2 m de profundidad. En cada estanque se colocó un dispositivo mecánico que regulaba la temperatura del agua, enfriándola antes de descargarla al medio ambiente. Para evitar la fuga de organismos se colocaron rejillas de plástico en las tuberías a una separación de 0.5 m y otras de diámetros más pequeños a la salida del agua.

**Siembra:** El tres de marzo del 2008, se inició el cultivo bajo control con una siembra de 100 machos hormonados por estanque a una densidad aproximada de cinco alevines  $m^{-3}$  en cada estanque (Dunham 1990). El peso inicial promedio ( $w(t_i)$ ) para la Tilapia *Oreochromis niloticus* var. Chitralada fue de 0.63 g y con la misma cantidad de organismos y pero un  $w(t)$  para *Oreochromis niloticus* var. Stirling de 0.29 g. El periodo del cultivo fue de 196 días sumando en total ocho estanques con dos variedades de tilapia, y cuatro diferentes tipos de agua.

**Variables y parámetros:** Diariamente se tomaron en cada estanque registros de oxígeno disuelto (OD), de temperatura del agua ( $T_a$ ), pH, transparencia; utilizando respectivamente un oxímetro Ysi Mod. 55/12, un termómetro Brannan, un potenciómetro Hanna, y disco de Secchi. Semanalmente se determinaron las concentraciones micromolares ( $\mu\text{M}$ ) de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y ortofosfatos ( $\text{PO}_4^-$ ), a partir de las técnicas colorimétricas de Strickland y Parsons (1972) y SA1-113 (1994).

**Alimento:** Los alevines se alimentaron con la Purina-Agribands® y MaltaCleyton®, el primero tenía según el reporte comercial el 25 % de proteínas, 5 % de grasa y 5 % de fibra cruda, y el segundo el 30 % de Proteínas, 3 % de grasa y 6 % de fibra cruda. La Purina-Agribands® (30% de proteína) fue suministrada durante el primer mes en forma porcentual 4 veces/día cada 6 horas y según la demanda, y el MaltaCleyton® (25% de proteína) durante el resto del ciclo 3 veces veces/día. Para corroborar la calidad reportada por el productor, se determinó la concentración de lípidos, cantidad de fibra, cenizas y humedad con las técnicas de la A.O.A.C. (1984). En la medición de  $T_a$  se consideraron los registros de cuatro estaciones meteorológicas (CNA 2000), así como de otra más, que se colocó a 20 m del cultivo.

**Recambios de agua:** Los 196 días que duro el cultivo se cubrieron con recambios de agua de acuerdo con el tamaño de los organismos y los indicadores fisicoquímicos del agua, se inició con un recambio de cero % en los primeros días y se elevó hasta un 70 % en las etapas finales.

**Factor de conversión alimenticia (FCA) y análisis microbiológico:** Se definió con la biomasa producida y el suministro del alimento.

**Gradiente de contaminación.** Semanalmente en las aguas de cada estanque se determinaron de acuerdo a la norma NMX-AA-42 1987 (Diario Oficial de la Federación 1987) la concentración de las coliformes fecales ( $\text{Nmpl}/100\text{cm}^3$ ), y de ser éstos elevados se identificaron con sus respectivos análisis los probables patógenos.

**Caracterización numérica del peso promedio ( $w(t)$ ) y la transformada logarítmica ( $TW(t)$ ):** Con el control de las principales variables físico, químicas y biológicas se obtuvieron también los registros morfológicos, incluyendo el promedio semanal del peso de los organismos  $w(t)$ . Al  $w(t)$  se le aplicó una transformada logarítmica ( $TW(t)$ ) para analizar los cambios temporales ambientales en la búsqueda de los momentos en que se manifestaban los riesgos y en los que se podría causar la muerte de los organismos. Este proceso se representó de la siguiente manera:

$$w(t) \Leftrightarrow TW(t) \quad (1)$$

$w(t)$  fue el peso promedio semanal en gramos y  $TW(t)$  su respectiva trasformada. Considerando que Velazco y cols. (2006) definió a través de aproximaciones numéricas, que el comportamiento del  $w(t)$  en la tilapia es de una forma cuadrática de la siguiente manera:

$$w(t) = a^2t + bt + c \quad (2)$$

Utilizando esta metodología se obtuvo una aproximación numérica de la variabilidad  $w(t)$  en las dos variedades de tilapia aplicando una transformada a ( $TW(t)$ ), la cual se describe:

$$TW(t) = d(f - e^{-gt}) = K - e^{-ht} \quad (3)$$

Donde  $d$ ,  $f$  y  $g$  fueron las constantes de  $TW(t)$  únicas y exclusivas para cada variedad,  $K$  el producto de  $d$  y  $f$  y  $e^{-ht}$  el de  $e^{gt}$  con  $d$ .

**Razón máxima de cambio de  $w(t)$  ( $\frac{\delta TW(t)}{\delta t}$ ):** se obtuvo en cada variedad a partir de la primera derivada parcial de  $TW(t)$ , la cual de forma general se expresó de la siguiente manera:

$$\frac{\delta TW(t)}{\delta t} = e^{lt} e^{mt} \quad (4)$$

Donde  $l$  y  $m$  son las constantes de la recta tangente a  $TW(t)$  y distintas en cada evento estacional (frío y calor).

**Filtro numérico, puntos principales (Pp) y secundarios (Ps):** Para visualizar a través de los eventos de la curva de  $TW(t)$  el punto principal y los secundarios se elaboró un filtro numérico utilizando la intersección de  $\frac{\delta TW(t)}{\delta t}$  de la siguiente manera:

$$\frac{\delta TW(t)}{\delta t} (+y) \cap \frac{\delta TW(t)}{\delta t} (-y) = [e^{lt} e^{-mt}]_{+y} \cap [e^{lt} e^{mt}]_{-y} \quad (5)$$

Dónde:  $[e^{lt} e^{-mt}]_{+y}$  representó el filtro de subida y  $[e^{lt} e^{mt}]_{-y}$  el de bajada; y se utilizó de dos maneras, una directamente sobre todo el comportamiento de la curva de  $TW(t)$  y la otra en cada evento con barridos continuos en presencia de un cambio temporal.

**Análisis de los datos:** La elaboración de tablas y estimaciones numéricas se utilizaron una hoja de cálculo Excel. Para la aproximación de las curvas de  $w(t)$  y  $TW(t)$ , el cálculo de las constantes  $a$ ,  $b$  y  $c$ , además del cálculo y el barrido de los filtros  $[e^{lt} e^{-mt}]_{+y}$  y  $[e^{lt} e^{mt}]_{-y}$ , se utilizó el paquete de cómputo SURFER 8.0. En el resto de las figuras se utilizó el software GRAPHER 10.0 y en los detalles finales CORELL DRAW 12.0.

## Resultados

**Tipo de suelo, variables fisicoquímicas y sobrevivencia ( $S(t)$ ):** El tipo de suelo seleccionado para la elaboración de los estanques fue de tipo alcalino con un contenido de 45 % de arcilla, 40 % de limo y 15 % de arenas, clasificándose como un suelo de textura arcillolimoarenosa. El proceso e interpretación de los datos de los SEVs y SEMs estimaron que a una profundidad de 1.5 m se encontraba el nivel freático, sin embargo, se realizó la perforación del pozo por debajo de los 8 m de profundidad (Akkurt y cols. 2007), para obtener un suministro constante de 36 litros  $s^{-1}$  y garantizar un óptimo recambio de agua en los dos estanques. El agua subterránea registró la temperatura esperada al promedio del  $\nabla T_a$  de la zona, equivalente a 25°C (Gallardo 2007).

Durante los 196 días que duró el cultivo de la tilapia en los ocho estanques, la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos fue considerable (datos no mostrados), en ocasiones fueron de riesgo para el cultivo, sin embargo, en promedio los organismos tuvieron una  $S(t)$  adecuada. En la tabla 1 sólo se presentan los promedios de estas variables fisicoquímicas, microbiológicas y alimenticias para el periodo del cultivo. En ésta se observa que la concentración del OD estuvo dentro de

los estándares y fue aceptable para el cultivo. La concentración de nutrientes promedio en los estanques estuvo dentro de los estándares aceptables, a excepción de los ortofosfatos para las dos variedades. Al inicio del cultivo la temperatura estuvo por debajo de los límites aceptables, sin embargo, en el transcurso del tiempo se registraron temperaturas aceptables para el cultivo.

**Tabla 1.** Resultados y estándares de las variables físicoquímicas, microbiológicas, y alimenticias de un cultivo de dos variedades de tilapia en un clima húmedo-seco (Ar-Aw).

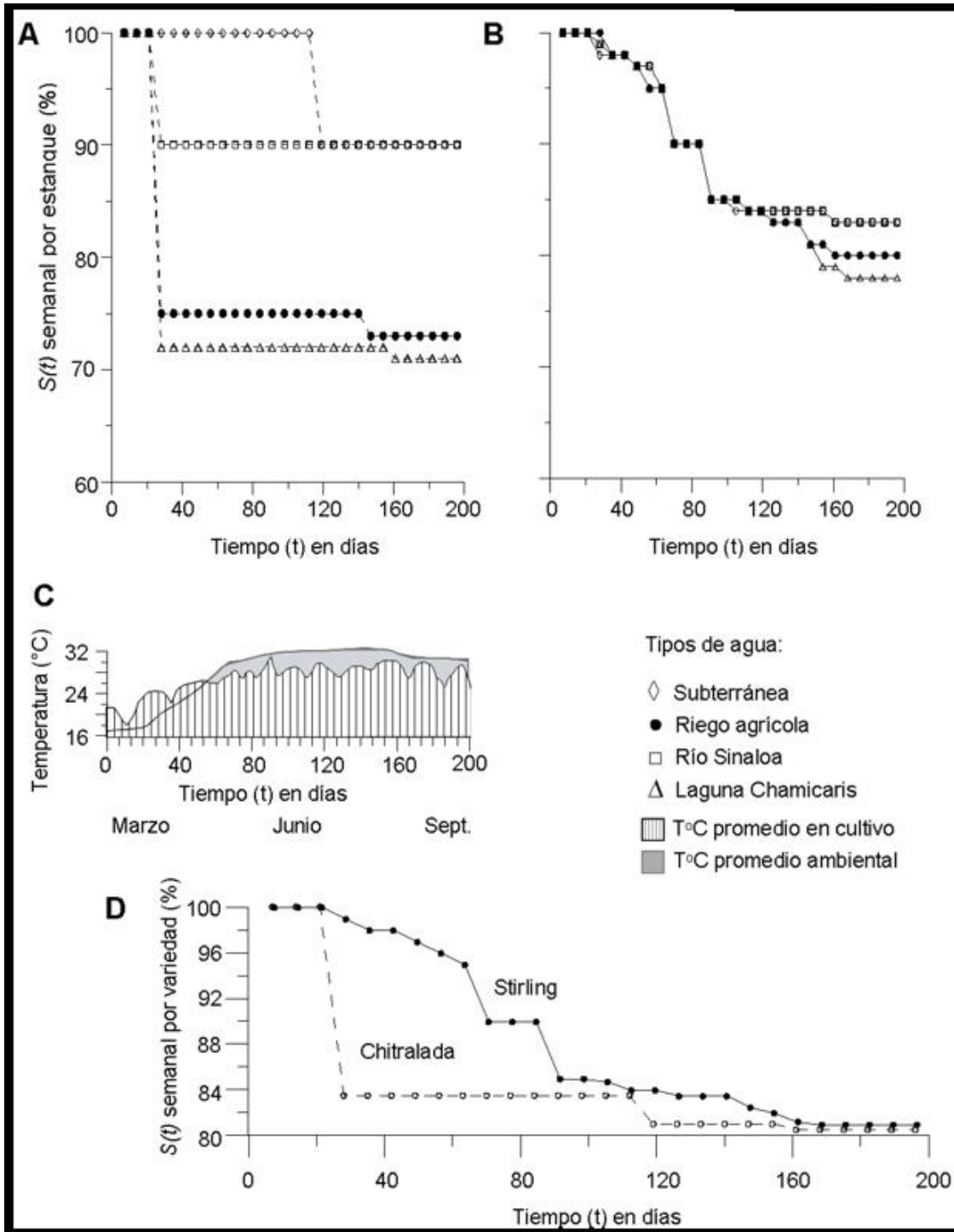
Variables	Chitralada	Stirling	Esperado	fuelle	Resultados Chitralada	Resultados Stirling
O <sub>2</sub> (mg/l)	1.0-5.0	4.0-5.0	0.5 - 5.0		Aceptable	aceptable
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (µM)	0-0.1	0-0.1	menor de 4.0	Cortés y Arredondo (1997)	Aceptable	aceptable
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (µM)	0.0-0.021	0.021 - 0.08	0.5 y 5.0	Limón y Lind (1987)	Aceptable	aceptable
PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (µM)	0.08 - 0.34	0.34 - 0.025	< 0.252	Lannan y cols. (1986)	No aceptable	No aceptable
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (µM)	1.08	1.08	3	Liao y Mayo (1974)	Aceptable	aceptable
T (°C)	13-25	13-25	20-35	SEPECSA (1982)	No aceptable	No aceptable
FCA (adim)	1.4-1.5	1.4-1.5		MaltaCleyton® y Purina-Agribrands®.	Aceptable	aceptable
CFT (Npml/100cm <sup>3</sup> ).	3.0-2400	40-24000	<230	La gaceta ecológica (1990)	No aceptable en tres estanques	No aceptable en dos estanques
Prot (%)	35.0	35.00	35	MaltaCleyton® & Purina-Agribrands®.	aceptable	aceptable

En los estanques alimentados con agua del Río Sinaloa, canal de riego y laguna Chamisaris se registraron valores de *CFT* entre 3 a 24000 Npml/100cm<sup>3</sup> en la variedad Chitralada y de 40 a 24000 Npml/100cm<sup>3</sup> en la Stirling, lo cual sugirió la presencia de una contaminación por bacterias fecales totales, se confirmó la presencia del patógeno *Vibrio metschnikovii* en el agua, y de su presencia positiva en la piel de algunos individuos de la variedad Chitralada. Fouz y cols. (2002) reporta que la tilapia es susceptible a la vibrosis, por lo que no se descarta que la mortalidad (*D(t)*) registrada a partir de la tercera semana en la variedad Chitralada se pudiera atribuir a los elevados valores de *CFT*. Las concentraciones mínimas de *CFT* se registraron en el agua subterránea.

En la figura 1 se presenta la *S(t)* para cada tipo de agua y cada variedad, así como con la variabilidad promedio de la *T<sub>a</sub>* y del agua. Llama la atención la diferencia de *S(t)* tan marcada, la variedad Chitralada (Fig. 1A) tiene descensos bruscos de *S(t)*, en el estanque con agua del canal de riego agrícola disminuyó a las tres semanas hasta el 75%, manteniéndose en este porcentaje hasta la semana 20, descendió al 73% a la 21 manteniéndose en ese comportamiento hasta la 28 (final del cultivo). Un acontecimiento similar al anterior fue observado con el agua de la laguna Chamisaris. La *S(t)* con el agua del Río Sinaloa, fue del 100% en las primeras tres semanas, a partir de la cuarta y hasta la cosecha la *S(t)* se mantuvo en el 90%. En cuanto al cultivo con agua subterránea desde el inicio y hasta la semana 16 se presentó la máxima *S(t)* con 100% , y a partir de ésta semana hasta la cosecha se mantuvo en un

90 %. La variedad Stirling (Fig. 1B) tiene disminuciones graduales a lo largo del periodo de cultivo y llega a tener una  $S(t)$  promedio del 80%, el agua subterránea y del Río Sinaloa presentaron la  $S(t)$  más elevada (87%).

**Figura 1.** Porcentaje semanal de sobrevivencia ( $S(t)$ ) por estanque de las dos variedades de tilapia considerando su tipo de agua, (A.) Variedad Chitralada, (B.) Variedad Stirling, (C.) temperatura ambiente ( $T_a$  en °C) y temperatura del agua ( $T_e$  en °C),  $D(t)$  y  $S(t)$  promedio para la variedad Chitralada (○) y Stirling (●).

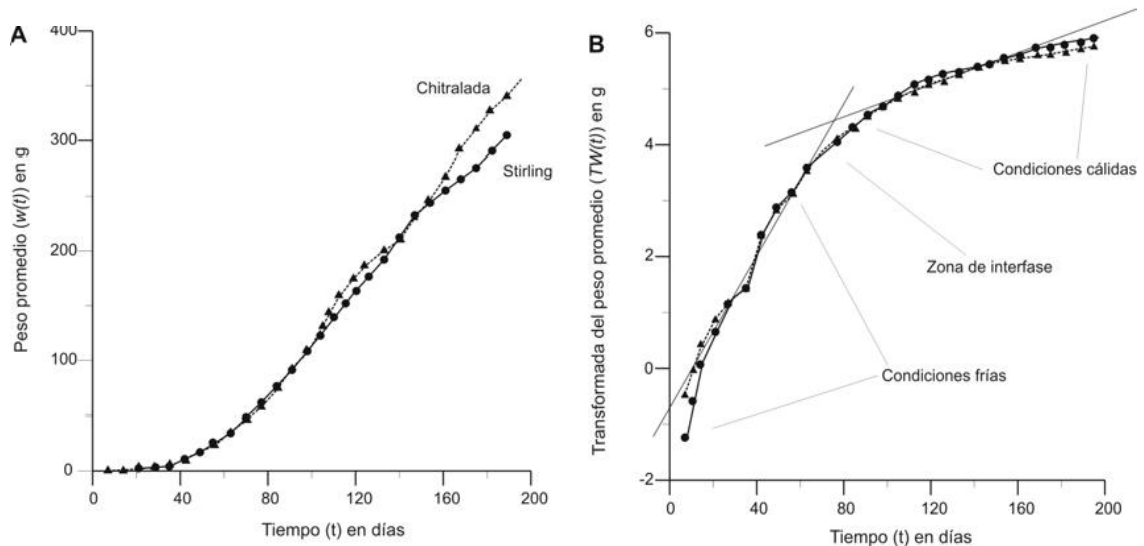


Al inicio del cultivo la  $T_a$  fue de 18°C, incrementándose con el paso del tiempo, hasta elevarse en la segunda semana del mes de mayo a los 30°. Durante los meses de

junio, julio y parte de agosto se registraron las  $T_a$  más altas ( $\sim 31^\circ\text{C}$ ). La  $T_e$  promedio del cultivo se presentó a lo largo del periodo con algunas oscilaciones, en la primera semana fue de  $22^\circ\text{C}$ , y hacia la segunda cuando la  $T_a$  más baja fue de  $13^\circ\text{C}$  descendió hasta  $18^\circ\text{C}$ , lo que coincidió con un incremento de  $D(t)$  en la variedad Chitralada para los estanques de riego agrícola y de la laguna Chamicaris. A partir de la segunda semana del cultivo la temperatura promedio en los estanques se incrementó, registrándose la temperatura más alta en agosto ( $32^\circ\text{C}$ ) (Fig. 1C). La  $S(t)$  promedio para los cuatro tipos de agua y para las dos variedades describió un descenso brusco en la Chitralada de la tercera a la cuarta semana, mientras que en la Stirling el descenso fue gradual (Fig. 1D).

**Caracterización numérica del peso promedio ( $w(t)$ ) y la transformada logarítmica ( $TW(t)$ ):** Los resultados de la ecuación 2 y 3 para  $w(t)$  y  $TW(t)$  se muestran para ambas variedades en la figura 2 en los gráficos A y B respectivamente. Obsérvese el comportamiento muy semejante de las dos variedades para  $w(t)$  y  $TW(t)$ , en el que  $w(t)$  se comporta de una forma cuadrática y  $TW(t)$  semilogarítmica. Las curvas de las dos variedades para  $TW(t)$  manifiestan dos eventos temporales, que según la variabilidad de temperatura durante el periodo de cultivo, se pueden atribuir a las influencias de una temporada de frío y otra de calor. En la parte central se registró un comportamiento similar, y nuevamente al final, se apreció un pequeño sesgo atribuido a la diferencia de peso adquirido. El primer evento atribuido al frío se situó aproximadamente entre los 0 y 80 días y el segundo al del calor de los 81 a 196 días. Estos resultados fueron muy importantes para el cultivo, ya que lo dividió prácticamente en dos partes, lo que sugiere que la ganancia de peso estuvo asociada a cada época climática (Fig. 2B).

**Figura 2. (A.)** Peso promedio estacional ( $w(t)$ ) en gramos. **(B.)** Transformada del peso promedio  $TW(t)$  de las variedades Chitralada y Stirling.



**Aproximación numérica de  $TW(t)$ :** En la tabla 2 se observa el ajuste numérico de la ecuación 3 en el que se tomó en cuenta la  $w(t)$  obtenida de la variedad de tilapia, el tipo de agua, así como los filtros de subida y bajada. En general, los valores mínimos y máximos de las constantes  $a$ ,  $b$  y  $c$ , fueron respectivamente para la variedad Chitralada de 0.02 en el agua de la laguna y la subterránea, y de 3.58 para el agua del canal. Para la variedad Stirling también fueron de 0.02 para el agua la laguna y subterránea y de 3.31 para el agua subterránea. El factor de correlación en todos los



casos fue muy alto ( $r = >0.99$ ). Las aproximaciones numéricas para  $TW(t)$  fueron muy semejantes para los 4 tipos de aguas y para las dos variedades.

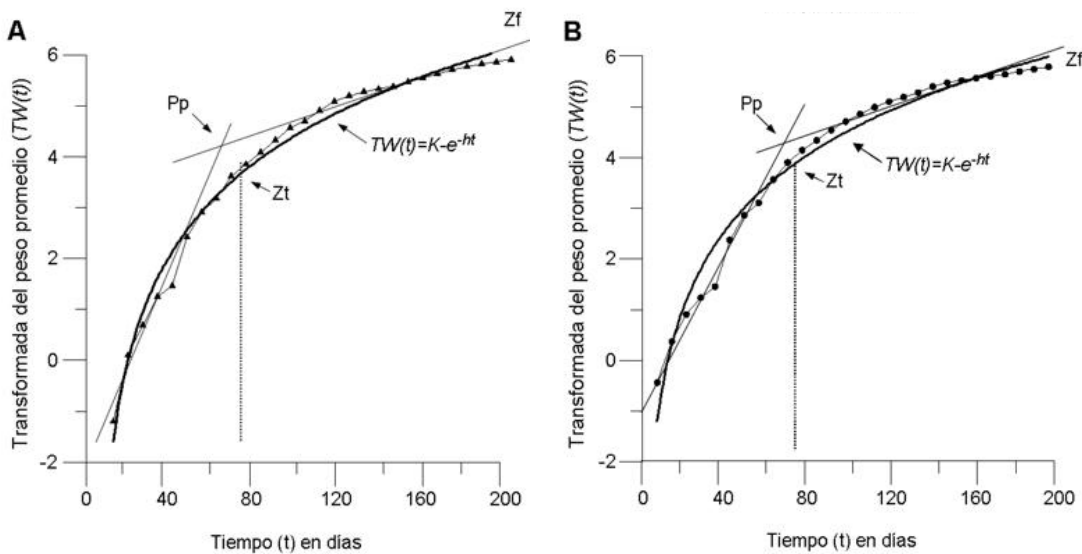
**Tabla 2.** Ecuaciones  $TW(t)$ , constantes, resultados de los filtros de subida y bajada para cada variedad y tipo de agua.

Variedad	Tipo de agua	$TW(t)=K-e^{-ht}$	a	b	c	$\sigma$	r	Evento 1 (0-80 días) $[e^{at} e^{-mt}]_{+y}$	Evento 2 (81-196 días) $[e^{at} e^{-mt}]_{-y}$
Chitralada	laguna	$TW(t)=2.61-e^{-0.016t}$	3.35	0.778	0.016	0.06	0.998	$y = e^{0.064t} e^{-0.63}$	$y = e^{0.013t} e^{3.29}$
	canal	$TW(t)=2.65-e^{-0.017t}$	3.58	3.24	3.556	0.04	0.999	$y = e^{0.066t} e^{-0.77}$	$y = e^{0.005t} e^{4.33}$
	rio	$TW(t)=2.56-e^{-0.027t}$	0.74	0.79	0.748	0.06	0.997	$y = e^{0.065t} e^{-0.65}$	$y = e^{0.006t} e^{4.55}$
	subterránea	$TW(t)=2.66-e^{-0.017t}$	0.02	0.02	0.017	0.48	0.998	$y = e^{0.064t} e^{-0.46}$	$y = e^{0.009t} e^4$
Stirling	laguna	$TW(t)=2.51-e^{-0.018t}$	3.22	0.779	0.018	0.69	0.996	$y = e^{0.069t} e^{-0.54}$	$y = e^{0.007t} e^{4.37}$
	canal	$TW(t)=2.64-e^{-0.017t}$	3.18	0.83	0.017	0.07	0.996	$y = e^{0.069t} e^{-0.95}$	$y = e^{0.011t} e^{3.89}$
	rio	$TW(t)=2.70-e^{-0.015t}$	3.26	0.829	0.015	0.05	0.998	$y = e^{0.07t} e^{-0.54}$	$y = e^{0.007t} e^{4.37}$
	subterránea	$TW(t)=2.68-e^{-0.016t}$	3.31	0.811	0.016	0.06	0.998	$y = e^{0.072t} e^{-1.24}$	$y = e^{0.019t} e^{3.89}$

a, b, c = constantes de  $TW(t)$ ,  $\sigma$  = desviación estándar de  $TW(t)$ , r = coeficiente de correlación,  $[e^{at} e^{-mt}]_{+y}$  = filtro de subida,  $[e^{at} e^{-mt}]_{-y}$  = filtro de bajada

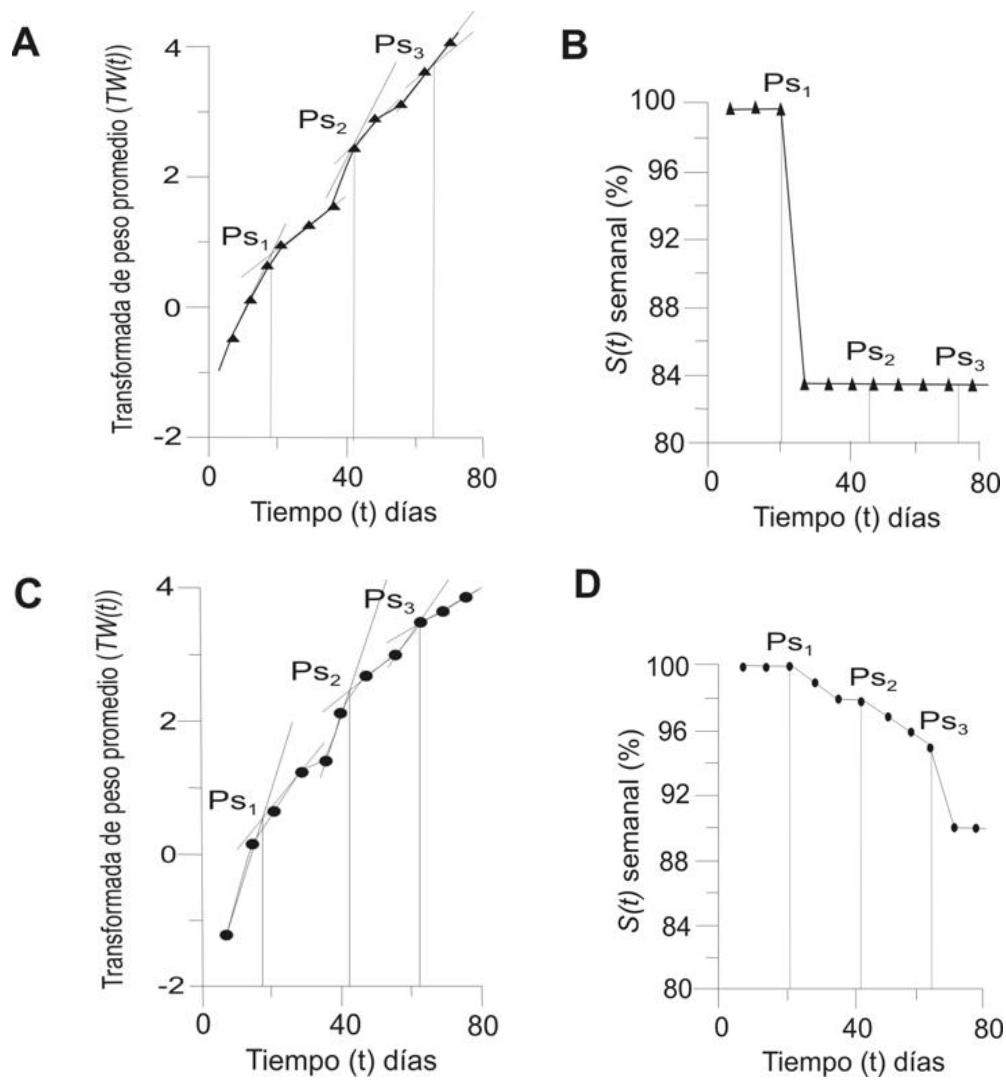
**Filtros matemáticos:** Con la aplicación del filtro de subida y de bajada se identificó la zona de transición principal ( $Zt$ ) y el punto primario ( $Pp$ ), indicadores de la adaptabilidad óptima de la especie en la región. La  $Zt$  en ambas variedades estuvo situada a los 76 días, mientras que el  $Pp$  estuvo en la variedad Chitralada a los 64 días, y en la Stirling fue a los 71 días. Se observa además la zona de peso final ( $Zf$ ), que tuvo un comportamiento casi lineal el cual representa el momento en el cual las especies adquieren su peso máximo y cuando su  $c(t)$  empieza a ser lento, momento en el cual los productores pueden iniciar la cosecha (Fig. 3).

**Figura 3.** Transformada del peso promedio ( $TW(t)$ ), (A.) variedad Chitralada, (B.) variedad Stirling.  $Pp$ =Principales componentes de los filtros numéricos,  $Zt$ =Zona de transición principal,  $Zf$ =Zona de peso final, (—) curva ajustada a la ecuación  $TW(t)=K-e^{-ht}$



Las siguientes figuras muestran el procesamiento matemático en el que separaron las dos tendencias limitadas por el  $P_p$  y en las que se utilizó el mismo diseño de filtro en cada ocasión. Se aplicó el filtro tanto a la  $TW(t)$  como a la  $S(t)$ . El filtro fue barrido en los eventos de  $TW(t)$  se corrió hasta desvanecerse y dar la presencia de los puntos secundarios ( $P_s$ ) indicadores de los momentos de arribo atribuidos a los efectos anómalos del cultivo. El barrido en los dos eventos para ambas variedades se presenta para la época fría en la figura 4, y para la cálida en la figura 5

**Figura 4.** Temporada fría: **(A.)** Momentos secundarios identificados con el filtro numérico ( $P_{Si}$ ), **(B.)** porcentaje semanal de sobrevivencia ( $S(t)$ ) para la variedad Chitralada. **(C.)** Momentos secundarios identificados con el filtro numérico ( $P_{Si}$ ), **(D(t))** porcentaje semanal de sobrevivencia ( $S(t)$ ) variedad Stirling.

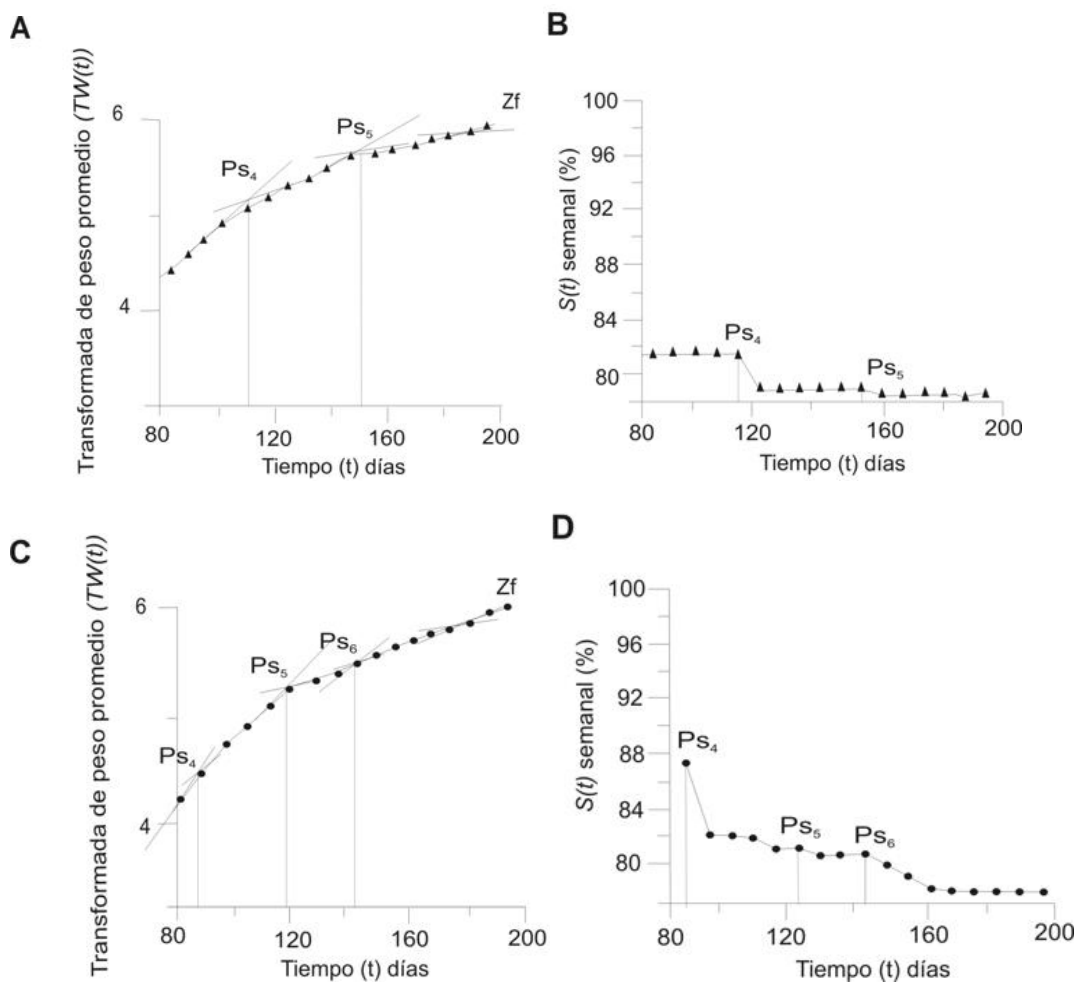


En la figura 4A se aprecia a  $TW(t)$  para la variedad Chitralada en la cual los puntos de intersección entre las rectas fue definido como el punto indicador de los efectos ambientales. Se registraron tres puntos secundarios ( $P_s$ ) a 19, 42 y 65 días, al comparar estos datos con los puntos secundarios de  $S(t)$  (Fig. 4B) se apreciaron tres  $P_s$  a los 21, 45 y 71 días de cultivo, ambos registros estuvieron muy cercanos. Lo anterior sugiere que los  $P_s$  obtenidos con el procesamiento matemático indicaron efectivamente la llegada de una variabilidad en el ambiente y que se reflejó en la  $D(t)$  de la variedad Chitralada en condiciones frías.

En la variedad Stirling, se registraron también tres  $P_S$  a los 19, 41 y 62 días (Fig. 4C), mientras que los puntos secundarios de la  $S(t)$  fueron a los 21, 42 y 64 días (Fig. 4D). De nuevo los resultados indicaron que los puntos secundarios obtenidos por la  $TW(t)$  reflejó el arribo de un cambio de las condiciones ambientales.

En condiciones cálidas, la transformada  $TW(t)$  para la variedad Chitralada (Fig. 5A) registraron dos  $P_S$  a 102 y 151 días. La zona de peso final (Zf) se registró a los 185 días. En la  $S(t)$  se registraron dos  $P_S$  a los 102 y 154 días (Fig. 5B). Los  $P_S$  registrados para la variedad Stirling fueron a los 85, 118 y 145 días, la Zf fue a los 184 días (Fig. 5C). Los  $P_S$  registrados para la  $S(t)$  fueron a los 85, 119 y 141 días (Fig. 5D).

**Figura 5.** Temporada cálida: (A.) Momentos secundarios identificados con el filtro numérico ( $P_{Si}$ ), (B.) porcentaje semanal de sobrevivencia ( $S(t)$ ) para la variedad Chitralada. (C.) Momentos secundarios identificados con el filtro numérico ( $P_{Si}$ ), (D.) porcentaje semanal de sobrevivencia ( $S(t)$ ) variedad Stirling.



## Discusión

**Tipo de suelo, variables fisicoquímicas y Sobrevivencia ( $S(t)$ ):** La adecuada  $S(t)$  se garantizó a través de los recambios de agua y del control de las variables fisicoquímicas y microbiológicas las cuales en general con respecto a los respectivos estándares fueron aceptables. Las  $D(t)$  durante el cultivo se debieron principalmente a las variaciones del  $\nabla.Ta$  y del  $\nabla.Te$  lo cual hizo que las tilapias se mantuvieran en constante tensión. Las condiciones geográficas y el tipo de abastecimiento hídrico tuvieron mucha influencia en la especie, ya que en conjunto, definieron los momentos

de riesgo que condujeron a los efectos benéficos y anómalos de distintas intensidades, y que en ocasiones éstos últimos afectaron al  $c(t)$  y  $w(t)$ .

A pesar de la gran contaminación por CFT en los estanques de la variedad Stirling, al realizar la cosecha (14,619 kg) se obtuvo casi la misma producción ( $P_{ha}$ ) que en la variedad Chitralada (14,708 kg). Lo anterior sugiere que la variedad Stirling, a pesar de que al inicio del cultivo tuvo una diferencia en peso de 0.34 g con respecto a la Chitralada y de la cantidad de CFT, lo que sugiere una mejor adaptación ambiental. La producción de ambas variedades lograron alcanzar casi el valor esperado ( $\bar{E}$ ) de una  $P_{ha} = 15,972$  kg (Morales, 1974). El peso final alcanzado durante la cosecha fue de  $412 \pm 331$  g para la variedad Chitralada y de  $368 \pm 235$  g para la Stirling. A pesar de que al inicio del cultivo la variedad Chitralada tenía un 46% de peso más que la Stirling, al final del cultivo, la diferencia fue de tan sólo el 11%.

**Caracterización numérica del peso promedio ( $w(t)$ ) y la transformada logarítmica ( $TW(t)$ ):** A pesar del peso inicial entre las dos variedades, tanto en la temporada de calor como para la de frío el comportamiento de  $w(t)$  en ambas variedades fue muy similar. Mediante el uso de  $TW(t)$ , se registró también el mismo comportamiento, aunque hubo diferencias en el mismo crecimiento, pero al final del cultivo la diferencia en pesos es reducida.

No existen trabajos que consideren los riesgos ambientales de la Tilapia considerando a  $w(t)$ , de tal forma que el presente trabajo, a partir de los Ps de la  $TW(t)$  y la  $S(t)$  es un buen comienzo para estimar a través de simulaciones numéricas, como la variabilidad ambiental afecta a cada cultivo. Por lo que también puede servir como la base para establecer los principios de predicciones en cuanto a la productividad de la especie, por supuesto dependiendo de la  $T_a$  y de la calidad del agua. Un principio de predicción en base al riesgo podría establecerse para la especie según las estaciones (frío o calor) y la aleatoriedad de los cambios de las magnitudes de las constantes a, b, y c que definieron a  $TW(t)$  en la tabla 2. A pesar de que a primera vista, se aprecia que no hubo mucha diferencia entre estas constantes, una evaluación más profunda, puede indicar que éstas sugieren que en los estanques manifiestan una continuidad y una dirección preferencial y una aleatoriedad en su comportamiento general, tal y como lo manifestó Chitralada en sus constantes, lo cual sugiere que dicha variedad tiene una baja adaptación al sistema. En caso contrario cuando no existe la aleatoriedad ni tal dirección, ni continuidad y son pocos los cambios registrados en las constantes mencionadas la especie se adapta al medio y manifiesta una defensa ambiental indistintamente al desarrollo ambiental, tal como fue el caso de Stirling.

El resultado anterior se puede validar considerando el principio de la estocasticidad animal en la cual las fluctuaciones con variaciones aleatorias son la causa del riesgo de una especie (Berger 1990). Este principio en base a las tasas de natalidad y de  $D(t)$  considera que las especies pueden estar en riesgo por fluctuaciones demográficas y ambientales. Esta aleatoriedad y no aleatoriedad se puede observar en este trabajo mediante las constantes  $d$ ,  $e$  y  $f$  conjugadas a través de  $K$  y  $g$  para cada variedad mediante la ecuación 3. Otra de las causas por la cual se presenta esta aleatoriedad es debido a la pérdida de la variabilidad genética y la endogamia, pero al igual este principio considera que el riesgo también puede deberse a las fluctuaciones originadas a las variaciones en la depredación, competencia, enfermedades, disponibilidad de alimento, entre otras (Berger 1990).

Los efectos beneficiosos que definieron estas características en las variedades fueron los siguientes: después de los 51 días por parte de la geografía se presentaron con una serie de períodos continuos libres de  $D(t)$  característicos de un  $\nabla \cdot T_e(t)$  situado entre los 26 a 32°C; otro efecto benéfico que favoreció a la  $P_{ha}$  fue el hecho de que el

cultivo con aguas subterráneas no manifestaron altas  $D(t)$  durante los instantes de riesgo y además los organismos estuvieron libres de la contaminación, lo cual influyó para que la concentración de  $CFT$  estuviese por debajo de los estándares (Diario Oficial de la Federación 1987). La variedad Stirling con agua subterránea tuvo 3 npml/100 cm<sup>3</sup> y la Chitralada 40 npml/100 cm<sup>3</sup>. Con agua del río las  $CFT$  fueron superiores, en la Chitralada se registraron 390 npml/100 cm<sup>3</sup> y en los de Stirling 210 npml/100 cm<sup>3</sup>. La atención que el agua del subsuelo tiende a mantener una temperatura sin mucha variabilidad durante todo el año ( $\nabla \cdot T_s = c$ ), la cual corresponde al promedio del  $\nabla \cdot T_a$  de la zona (Gallardo 2007). Los estanques alimentados con agua subterránea no manifestaron contaminación alguna debido a que la estratigrafía sedimentaria les pudo permitir una filtración natural (Duque, 2003).

**Filtros matemáticos:** Es importante considerar que existen efectos secundarios ( $P_s$ ) de distinta intensidad anómalos y benéficos que algunos de ellos, en el período de cultivo no se apreciaron, debido tal vez a que el cultivo duró sólo 196 días, y para tener el registro de todas la variabilidad ambiental y del cultivo, debía haberse extendido hacia el resto del año.

La geografía impuso en las aguas del cultivo efectos que no se presentaron en el agua subterránea por la facultad que tienen de almacenar la temperatura promedio ambiental que la geografía y geometría del lugar les impuso con el tiempo (Custodio y Llamas 1988). Aunque la temperatura promedio del cultivo fue de 25 °C, existió un período de bajas temperaturas ambientales al inicio del mes de marzo que llegó hasta los 13 °C, pero la temperatura en los estanques alimentados con agua subterránea no descendió de los 20°C. Ambas variedades cultivadas con aguas subterráneas si no adquirieron el mayor peso; si conservaron una alta  $S(t)$ . Por lo que la tilapia cultivada en estanques con agua subterránea representa una buena opción de garantizar una buena  $S(t)$  y por lo tanto tener una  $P_{ha}$  garantizada. El poder conocer y controlar la incidencia de los factores ambientales permitiría una  $P_{ha}$  de tilapias en la región para todo el año, claro está se debe de cuidar la especie cuando la temperatura descienda de los 16°C, ya que no se desarrolla y deja de alimentarse (Chervinski 1982), situación de riesgo para cualquier cultivo.

## Conclusiones

---

Para un cultivo de tilapia se recomienda utilizar suelos arcillolimoarenoso con más de un 60% de arcilla, y arena menor del 40%. El comportamiento de  $w(t)$  en ambas variedades se ajustó a un modelo cuadrático, y la  $TW(t)$  a un modelo semilogarítmico.  $TW(t)$  manifestó en cada variedad dos eventos numéricos, el primero se ubicó aproximadamente de la primera semana de cultivo hasta los 80 días y el segundo de los 81 a los 196 días, mismos que se atribuyeron respectivamente a la temporada fría y a la cálida. Se identificaron las zonas de transición ( $Z_t$ ) indicadoras de los puntos principales ( $P_p$ ) y en cada evento numérico a los secundarios ( $P_s$ ) indicadores de los efectos que se reflejaron en el  $w(t)$  y que a su vez coincidieron con la  $S(t)$ , lo cual reflejó la respuesta de los organismos a los diferentes momentos de sensibilidad por la condiciones impuestas por la geografía. Se recomienda realizar los cultivos de tilapia con agua subterránea por estar libre de contaminación. Con ayuda de la  $H/V$  se estimó el tiempo cuando la especie está en riesgo así como el tiempo idóneo de cosecha.

## Agradecimientos

---

Un agradecimiento al CECyT del Estado de Sinaloa por el apoyo del económico al presente proyecto, a la secundaria Técnica no.63 del ejido la Entrada Municipio de

Guasave, Sinaloa en donde con su afán de aprendizaje continuo y disciplina lograron el éxito del cultivo de la especie.

## Bibliografía

1. Akkurt, R.M., B.J. Davies, C. Del Campos, B. Hill, S. Joshi, D. Kundu, S. Kumar, M O´Keefe, M, Samir, J. Tarvin, P. Weinheber, S. Williams & M. Zeybek. (2007). Muestreo guiado y análisis de fluidos en pozos. *Oilfield Review*, 18, 4-21.
2. Alamilla, H. (2002). Cultivo de Tilapias. *ZOE Tecno Campo*. México. 26 p.
3. Association of oficial Agricultural Chemists (A.O.A.C). (1990). Oficial Methods of Analysis. Vol. I y II. Arlington, V.A (eds.).109 p.
4. Avault, J.W. (1996). Fundamentals of Aquaculture. Ava Pub. Company, USA, pp. 119-128.
5. Bailey, D.S., J.E. Rakocy, J.M. Martin & R.C. Shultz. (2000). Intensive production of tilapia fingerlings recirculating system, p. 328-333. *In: Fitzsimmons K. and J.C. Filho (eds). Proceeding of the Fifth International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Rio de Janeiro, Brazil.*
6. Berger, J. (1990). Persistence of different-sized populations: an empirical assessment of rapid extinctions in bighorn sheep. *Conservation Biology*. 4, 91-98.
7. Castillo, C.L.F. (1994). La historia genética e hibridación de la tilapia roja. Ideal, Cali (Valle) (eds.). Colombia. 330 p.
8. Chavarría, S.L. (2010). Mercado: Unión Europea.Tilapia Ficha N°46/UE. Programa Desarrollo Económico Sostenible en Centroamérica (DESCA) I era. Edición. 14 p. En: [www.hondurassiexporta.hn/download/112](http://www.hondurassiexporta.hn/download/112)
9. Chervinski, J. (1982). Environmental physiology of tilapia, p. 119-128. *In: Pullin R.S.V. and R.H. McConnell (eds.).The Biology and Culture of tilapia. ICLARM Conference Proceedings 7. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines.*
10. Comisión Nacional del Agua (CNA). (2000). La gestión del agua en México: Retos y Avances. Comisión Nacional del Agua, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. 250 p.
11. Cortés, A.R. & J.L. Arredondo. (1976). Contribución al estudio limnobiológico de la presa "El Infiernillo" Michoacán-Guerrero. Fideicomiso para el desarrollo de la fauna acuática. *Serie Técnica*. 2, 1-29.
12. Cruz, E.M. & M. Ridha. (1991). Production of the tilapia *Oreochromis spilurus* Günter stocked at different densities in sea cages. *Aquaculture*. 99, 95-103.
13. Dan, N.C. & D.C. Little. (2000). The culture performance of monosex and mixed-sex new-season and over wintered fry in three strains of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*. 184, 221-231.
14. Diana, J.S., Y. Yi & C.K. Lin. (2004). Stoking densities and fertilization regimens for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) production in ponds with supplemental feeding, p. 487-499. *In: Bolivar, R.G. Mair and K. Fitzsimmons (eds.). Sixth International Symposium on Tilapia. Aquaculture, Manila, Philippines. BFAR, Philippines.*
15. Diario Oficial de la Federación NMX-AA-42 (1987). Aguas-Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales. Método de tubos múltiples de fermentación. México D.F. Junio 22.
16. Dunham, R.A. (1990). Production and use of monosex or sterile fishes in aquaculture. *Aquatic Science*. 2, 1-17.
17. Duque, E.G. (2003). Manual de Geología para Ingenieros. Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia. 29 p.
18. Fitzsimmons, K. (2000). Tilapia: The most important aquaculture species of the 21st century, 2 p. 3-8. *In: K. Fitzsimmons and J.C. Filho (eds.). Tilapia Aquaculture in the 21st Century: Proceedings from the Fifth International Symposium on Tilapia Aquaculture. American Tilapia Association and DPA/MA. Rio de Janeiro, Brazil.*
19. Fitzsimmons, K. (2004). Development of new products and markets for the global tilapia trade, p. 624-633. *In: Bolivar, R.G. Mair and K. Fitzsimmons (eds.). Proceeding of the Sixth International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Manila, Philippines.*
20. Fouz, B.E. Alcaide, R. Barrera & C. Amara. (2002). Suceptibility of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) to vibriosis due to *Vibrio vulnificus* biotype 2. (serovar E). *Aquaculture*. 212, 21-30.
21. Gaceta Ecológica. (1990). Instituto Nacional de Ecología, (INE- SEMARNAT. Asociación), México. D.F (ISSN 1405-2849). 164 p.
22. Gallardo, S. R. (2007). Psicicultura de circulación, p. 60-71. *In: Acuaindustria. Hanna Instruments Chile (eds).*
23. García, E. (1964). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana): México, D.F., Offset Larios, S. A. 217 p.

24. González, J. Ranz, J.M. and Ruiz, A. (2002). Chromosomal elements evolve at different rates in the *Drosophila* genome. *Genetics*. 161,1137-1154.
25. Helga, j. (2010). World supply and demand of tilapia. FAO, Rome. 6 p. En: <http://www.globefish.org/world-supply-and-demand-of-tilapia.html>
26. Ingram, J.R., C.J. Cook & P.J. Harris. (2002). The effect of transport on core and peripheral body temperatures and heart rate of sheep. *Animal Welfare*. 11, 103-113.
27. Lannan, J.E. R.O. Smitherman and G Tchobanoglous. (1986). Principles and practices of pond aquaculture (English) / Corvallis, OR (USA), Oregon State Univ. Press. 252 p.
28. León-Arteta, R. (1995). Ajustes metodológicos y fórmulas empíricas para el laboratorio de suelos. p. 30. *In*: J.L. Tovar S., V. Ordaz Ch. & R. Quintero L. (eds.). La investigación edafológica en México 1992-1995. México.
29. Liao, P. B., and Mayo, R. D. (1974). Intensified fish culture combining water reconditioning with pollution abatement. *Aquaculture*. 3, 61-85.
30. Limón, J.G. and 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.
31. Llamas, M.R. (1988). Conflicts between wetland conservation and groundwater exploitation: two case histories in Spain. *Environmental Geology*. 11, 241-251.
32. Moore, R.P. (1985). Handbook of tetrazolium testing. The International Seed Testing Association, Zurich. 99 p.
33. Morales, A. (1974). El cultivo de la tilapia en México. Datos Biológicos. Instituto Nacional de la Pesca, México. 124-125 p.
34. [Morris, S.J.](#), G.E. [Price](#), J.M. [Barnett](#), S.A. [Hiscox](#), H. [Smith](#) & C. [Sweet](#). (1999). Role of neuraminidase in influenza virus-induced apoptosis. *J Gen Virol.* 80, 37-46.
35. Norma Oficial Mexicana NOM-113-SSA1-1994 Bienes y Servicios. (1994). Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa.
36. Norzagaray, C. M. (2003). Flujo regional en acuíferos sus causas y efectos en la dispersión hidrodinámica: Un caso de estudio. Centro de Investigación de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional- Unidad Mérida. Tesis Doctoral. Mérida Yucatán. 110 p.
37. Norzagaray, C.M., F.L. Capurro, S.P. Muñoz y G.T. Ladrón. (2005). La evapotranspiración potencial de una zona árida: Un caso de estudio: Valle de Guasave, Sinaloa, México. Asociación Mexicana de Hidráulica, A.C. *Revista Tláloc*. 33(1), 4-12.
38. Pérez, A.M., M. Sotelo, F. Ramírez, I. Ramírez, A. López & I. Siria. (2004). Conservación de la biodiversidad en sistemas silvopastoriles de Matiguás y Rio Blanco (Matagalpa, Nicaragua). *Ecosistemas*. 15, 125-141.
39. Philippart, J-Cl. & J-Cl. Ruwet. (1982). Ecology and distribution of tilapias. p 15-59. *In*: R.S.V. Pullin and R.H. Lowe-McConnell (eds.). The biology and culture of tilapias. ICLARM Conference Proceedings 7. International 1 Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines.
40. SEMARNAT-2006. (2006). Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-150-SEMARNAT-2006, especificaciones técnicas de protección ambiental que deben observarse en las actividades de construcción y evaluación preliminar de pozos geotérmicos para exploración, ubicados en zonas agrícolas, ganaderas y eriales, fuera de áreas naturales protegidas y terrenos.
41. Secretaría de Pesca (SEPECSA). (1982). Manual Técnico para el Cultivo de la Tilapia. Dirección General de Acuicultura. México. 105 p.
42. Solórzano, E., C.C. Marcano, A. Quijada & M. Campo. (2001). Impacto ecosistémico de las tilapias introducidas en Venezuela, p. 194-199. *In*: Ojasti J,E González-Jiménez, E. Szeplaki-Otahola y L.B. García-Román (eds.) Informe sobre las especies exóticas en Venezuela: 194-199. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, Editorial Tipodin, Caracas, Venezuela. Informe sobre las especies exóticas en Venezuela, Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Caracas, Venezuela.
43. Velazco, R.A., M.J. Arce, V.R. Tapia, J.P. García & V.H. González. (2006). Evaluación de un cultivo semi-Intensivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en tanques circulares con aguas termales. *Revista Electrónica de Veterinaria REDVET* ( ISSN 1695-7504). 7, 1-22.
44. Wicki, G.A. & N. Gromenida. (1997). Estudio de desarrollo y producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*). Secretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación, Subsecretaría de Pesca, Dirección de Acuicultura. Buenos Aires, Argentina. 29 p.

45. Witte, F., B.S. Msuku, J.H. Wanink, O. Seehausen, E.F. Katunzi, P.C. Goudswaard, T. Wu, S.K., P. Xie, G.D. Liang, S.B. Wang & X.M. Liang. 2006. Relationships between microcystins and environmental parameters in 30 subtropical shallow lakes along the Yangtze River, China. *Freshwater Biol.* 51, 2309-2319.
46. Yi Y., Lin C.K. & Diana J.S. 1996. Influence of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) stocking density in cages on their growth and yield in cages and in ponds containing the cages. *Aquaculture.* 146, 205-215.