

Research Article

Producción de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus* L.) utilizando hojas de chaya (*Cnidoscolus chayamansa* McVaugh) como sustituto parcial del alimento balanceado

Gaspar R. Poot-López¹, Eucario Gasca-Leyva² & Miguel A. Olvera-Novoa²

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán
P.O. Box 116, C.P. 97315, Mérida, Yucatán, México

²Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional
P.O. Box 73, Cordemex, C.P. 97310, Mérida, Yucatán, México

RESUMEN. La acuicultura es una alternativa para la producción de proteína de alta calidad a bajo precio, particularmente en países en desarrollo y desabasto de alimentos. En zonas rurales, la disponibilidad de insumos alternativos es clave para mejorar la producción en el cultivo de peces, sobre todo si dichos insumos se usan en forma cruda. Una opción son las hojas de chaya (*Cnidoscolus chayamansa*), arbusto que crece en México, Centroamérica y Sudamérica. En este estudio se evaluó durante dos épocas climáticas (cálida y fría) la supervivencia, tasa de crecimiento y tasa de conversión alimenticia de juveniles de tilapia (7-14,5 g), al sustituir parcialmente la ración de alimento balanceado (25 y 50%) con hojas crudas de chaya (*ad libitum*), en un diseño experimental completamente al azar, con dos tratamientos y un control (100% de la ración a base de alimento balanceado), con tres réplicas cada uno por época climática. Las densidades fueron de 36 peces m⁻³ por réplica en la época fría y de 44 peces m⁻³ por réplica en la época cálida. Los resultados indican que los tratamientos con 50 y 75% de alimento balanceado y chaya, en ambas épocas climáticas, tuvieron una ganancia de peso similar a la de los organismos que se alimentaron con la dieta control. Durante la época fría se observaron efectos adversos en la supervivencia, peso ganado y tasa de conversión alimenticia en todos los tratamientos, lo cual no ocurrió en la época cálida. Al incluir hojas de chaya en la dieta de las tilapias, la tasa de conversión alimenticia de alimento balanceado se redujo de 9,17 a 33,62% en la época fría y de 15,38 a 40,23% en la época cálida. Los resultados muestran que el uso de insumos complementarios disponibles regionalmente como la chaya, puede favorecer el desarrollo de cultivos de tilapia a pequeña escala en los trópicos.

Palabras clave: chaya, sustituto, proteína vegetal, acuicultura, rural, tilapia nilótica, México.

Nile tilapia production (*Oreochromis niloticus* L.) using tree spinach leaves (*Cnidoscolus chayamansa* McVaugh) as a partial substitute for balanced feed

ABSTRACT. Aquaculture is an alternative for the production of high-quality, low-cost protein, particularly in developing countries with a limited food supply. In rural areas, the availability of alternative inputs is key to improving fish farming production, especially if these inputs are unprocessed. The leaves of tree spinach (*Cnidoscolus chayamansa*), a bush that grows in Mexico and Central and South America, are one such option. In this work, juvenile tilapia (7-14.5 g) survival, growth rates, and food conversion rates were studied during two seasons (warm and cold), substituting 25 and 50% of the balanced feed rations with raw tree spinach leaves (*ad libitum*). The experimental design was completely random, with two treatments and one control (100% of the balanced feed ration); three replicates were done in each season. The densities were 36 fish m⁻³ per replica in the cold season and 44 fish m⁻³ per replica in the warm season. The weight gain in the treatments with 50 and 75% balanced feed and tree spinach leaves was similar to that of the control group in both seasons. The cold season adversely affected survival, weight gain, and feed conversion rates in all treatments, but the warm season did not. When tree spinach leaves were included in the tilapia diet, the feed conversion rate for the balanced feed was reduced from 9.17 to 33.62% in the cold season and from 15.38 to 40.23% in

the warm season. The results show that the use of locally available complementary inputs such as tree spinach leaves may favor the development of small-scale tilapia cultures in the tropics.

Keywords: tree spinach, substitute, vegetable protein, aquaculture, rural, Nile tilapia, Mexico.

Corresponding author: Gaspar R. Poot-López (gaspar.poot@uady.mx)

INTRODUCCIÓN

En gran parte del mundo la acuicultura se practica en áreas rurales, especialmente en países en desarrollo con escasez de alimentos ricos en contenido proteico, ya que es vista como una fuente para obtenerlo (FAO, 2008; 2010). La acuicultura es una actividad potencial para diversificar el uso del suelo, ya que el agua de desecho del cultivo de peces puede ser utilizada en el riego de áreas agrícolas, para incrementar la producción y los beneficios a través de la práctica de acuicultura integral, usando recursos locales de bajo costo con tecnologías extensivas y semi-intensivas, más apropiadas para la escasa base de recursos que poseen los productores (Asian Development Bank, 2004). La acuicultura con dicho propósito es complementada con otras actividades agropecuarias para asegurar la obtención de varios productos (peces, granos, leche, etc.), como una actividad de medio tiempo (Tacon, 1989; Pillay, 1997 & Edwards, 1998).

En México la acuicultura se promueve como una opción para incrementar los ingresos de los habitantes de zonas costeras afectadas por la sobrepesca y como innovación tecnológica en el medio rural, donde el cultivo de la tilapia ha adquirido mayor aceptación social debido a la facilidad de su cultivo (Fitzsimmons, 2000). En el sureste de México, la falta de recursos económicos y la escasez ocasional de alimento balanceado (BF), han motivado a los productores rurales a alimentar a las tilapias con diversos materiales alternativos, como las hojas crudas de yuca (*Manihot sculenta*) y de chaya (*Cnidocolus chayamansa*), entre otros. La chaya es un arbusto que se distribuye en México, Centro y Sudamérica, Cuba, así como en el sur de Texas, Florida, y otras partes del mundo (Kuti & Konoru, 2006; Obasa *et al.*, 2007). En México, de manera particular en la Península de Yucatán y Centroamérica la chaya se utiliza tradicionalmente en la alimentación humana y animal, especialmente entre los indígenas mayas, debido a su elevado valor nutricional y aplicaciones en la medicina tradicional (Booth *et al.*, 1992; Kuti & Torres, 1996; Ranhorta *et al.*, 1998; Arnaud-Vinas & Klaus, 1999). Esta arbusto ha sido estudiado por su efecto diurético e hipoglucémico en el tratamiento de la diabetes (Andrade-Cetto *et al.*, 2006; Loarca-Piña *et al.*, 2010). Además, las hojas de esta planta poseen

bajos niveles de factores anti-nutrientes, en especial glucósidos cianogénicos (Kuti & Konoru, 2006). El contenido de proteína es elevado (20-36%, base seca), además de que presenta altos niveles de todos los aminoácidos, excepto arginina y glutamina (Kuti & Kuti, 1999).

Se ha estimado que una porción 50 g de chaya puede aportar a un niño de 10-12 años de edad, alrededor de tres cuartas partes de la necesidad diaria de valina, la mitad de histidina, leucina y treonina; un tercio de isoleucina, lisina y metionina + cistina, además de aportar micronutrientes como niacina, riboflavina, potasio, calcio y magnesio (Ranhorta *et al.*, 1998). No obstante su contribución a la alimentación humana, la chaya es utilizada en la alimentación de animales no-rumiantes, principalmente en aves (Donkoh *et al.*, 1999; Aguilar *et al.*, 2002).

En la acuicultura el alimento artificial es uno de los insumos de mayor impacto económico, ya que representa del 30 al 60% de los costos de producción (El-Sayed, 1990; Goddard, 1996; Tudor *et al.*, 1996), aspecto asociado a su elevado contenido de harina de pescado. Sin embargo, las tilapias son capaces de utilizar como alimento materiales de origen vegetal incluyendo follajes, granos, algas, zooplancton, etc., que han sido estudiados por varios autores (Belal & Al-Jasser, 1997; Diana, 1997; Olvera-Novoa *et al.*, 1998). En la mayoría de los casos se ha buscado reducir el costo del alimento balanceado a través de la sustitución de la harina de pescado, por una gran variedad de sub-productos animales y vegetales (Olvera-Novoa *et al.*, 1997; El-Sayed, 1999; Richter *et al.*, 2003; El-Saidy & Gaber 2005).

En otros estudios se ha tratado de incrementar la producción acuícola mediante la combinación adecuada de fertilización, alimento balanceado y/o granos (Diana *et al.*, 1994; Green *et al.*, 2002; Liti *et al.*, 2006). Sin embargo, prácticamente no se ha evaluado el efecto productivo de reducir el uso del alimento balanceado complementado con alimentos de origen vegetal y de forma cruda, a baja escala. Los estudios disponibles exploran el uso de macrofitas acuáticas, ya sea como forraje o como ingrediente en las dietas (Appler & Jauncey, 1983; Singhal & Mudgal, 1984; Appler, 1985; Edwards *et al.*, 1985;

Hassan & Edwards, 1992). Se ha reportado que en la producción de la tilapia se puede sustituir el 50% de la ración de alimento balanceado con lenteja de agua (*Lemna* sp.), donde se obtuvo el mismo resultado que con la ración completa (El-Sayed, 1999, 2006). Así mismo, la azolla (*Azolla filiculoides*) es una planta acuática que ha sido usada como alimento en su forma natural para peces en China (Lu & Li, 2006) y estudiada como sustituto de harina de pescado en sistemas a gran escala en áreas rurales de África (Abou *et al.*, 2007). La aplicación potencial de plantas terrestres como complemento alimenticio ha recibido escasa atención. En Sudamérica se tienen reportes de la utilización de bore (*Alocasia macrorrhiza* L.) como sustituto parcial de alimento balanceado en la producción de *Tilapia rendalli* a baja escala, debido a su contenido proteínico (22-25%), aun a pesar de los factores anti-nutricionales que contiene (Gómez, 2003).

En este sentido, el objetivo del presente trabajo es evaluar el crecimiento, supervivencia y conversión alimenticia de juveniles de tilapia hasta la talla de cosecha comercial, al ser alimentadas con diferentes combinaciones de alimento balanceado y hojas crudas de chaya, en dos épocas climáticas. Se consideró un intervalo de temperatura óptima (época cálida) y sub-óptima (época fría), al ser una variable fundamental en la engorda de los peces en sistemas de cultivo a baja escala.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño experimental

Se realizaron dos experimentos bajo condiciones climáticas distintas, época fría (octubre-marzo) y cálida (mayo-noviembre). En ambos experimentos se utilizó alimento balanceado comercial ofrecido con base a las tablas de alimentación del fabricante (Tabla 1), bajo tres tratamientos: suministro del 100% (control), 75 y 50% de la ración recomendada, complementado con hojas crudas de chaya (*Cnidocolus chayamansa*) *ad libitum* debido a que se desconocían las necesidades de este insumo para sustituir el alimento balanceado, los tratamientos se realizaron por triplicado, bajo un diseño totalmente aleatorio.

En cada experimento se utilizaron machos revertidos y provenientes de una misma camada, proporcionados por el laboratorio de acuicultura del CINVESTAV, Mérida. El primer experimento (Exp I) se realizó de octubre de 2001 a marzo del 2002 (época fría); en que se usaron 243 juveniles de tilapia con peso promedio inicial de $8,71 \pm 0,03$ g, a una densidad

de 36 peces m^{-3} . Los tratamientos de esta época fueron: F100BF (control), F50CH y F75CH (50 y 75% de la ración recomendada de balanceado más hojas de chaya *ad libitum*, respectivamente). El segundo experimento (Exp II) se realizó de mayo a noviembre de 2006 (época cálida), utilizando juveniles de peso promedio inicial de $14,23 \pm 0,23$ g y una densidad de 44 peces m^{-3} . Estos tratamientos recibieron el nombre de C100BF (control), C50CH y C75CH (50% y 75% de la ración de balanceado recomendada más hojas de chaya *ad libitum*, respectivamente). En el Exp II se incluyó, además, un tratamiento donde se utilizó como único alimento el 50% de la ración de balanceado recomendada (C50BF) sin complementar con hojas de chaya, lo que permitió evaluar el crecimiento de las tilapias con el tratamiento C50CH. Las diferencias principales entre los dos estudios fueron los promedios de temperatura del agua, la talla inicial de los organismos y la densidad de cultivo.

Sistema experimental

Se utilizó un sistema de recirculación semi-abierto que incluía 15 tinas auto-limpiables de fibra de vidrio de $0,75 m^3$ de capacidad, además de un estanque de sedimentación, aireación complementaria y recambios diarios del 25% del agua de los estanques. Para la alimentación de los peces se suministró alimento balanceado comercial para engorda de tilapia (30% de proteína), de la marca Agribrands, de acuerdo a la tabla de alimentación recomendada (Tabla 1), dividida en cuatro porciones diarias. Para el estudio se usaron hojas refrigeradas de chaya, cosechadas semanalmente en la comunidad de Santa Elena, Yucatán, se empaquetaron en bolsas de polietileno y se almacenaron bajo refrigeración a una temperatura de $10^{\circ}C$, hasta el momento en que se suministró a las tilapias.

Manejo de organismos experimentales

Para evitar la acumulación de desechos nitrogenados, como heces fecales y alimento no consumido dañino para los peces, el mantenimiento de los estanques consistió en eliminar diariamente las heces por sifón y recambios del 25% del volumen de agua. Además, de un recambio total de agua una vez a la semana y limpieza general cada 14 días, para remover la biota asentada en las paredes de los estanques, compuesta principalmente de algas.

Parámetros de crecimiento, supervivencia y alimentación

Los organismos se pesaron cada 14 días con una balanza electrónica con una precisión de 0,01 g. Se llevó un registro diario de la cantidad de alimento y

Tabla 1. Tabla de alimentación utilizada como dieta control (ración al 100%) en cada experimento.**Table 1.** Feeding chart used as control diet (100% of ration size) in each experiment.

Rango de peso del pez (g)	Producto	Tamaño recomendado	Alimentación (% del peso corporal día-1)/L
5,1 a 12,0	T. CHOW AD (30%)	Extrudizado 1/8	7,0
12,1 a 22,9			6,0
23,0 a 39,9	T. CHOW AD (30%)	Extrudizado 1/8	5,0
40,0 a 65,0			4,0
65,1 a 90,0		Extrudizado 1/8,	3,5
90,1 a 150		Extrudizado 5/32	3,0
150 a 200	T. CHOW AD (30%)		2,5
200 a 300		Extrudizado 5/32 ó 3/16	2,3
300 a 500		Extrudizado 5/32 ó 3/16	2,0

chaya suministrada. El desempeño de los organismos se evaluó mediante los modelos sugeridos por Utne (1979), New (1987), Hepher (1988), Goddard (1996) y Halver & Hardy (2002): peso ganado individual, [Peso ganado (g) = peso promedio final – peso promedio inicial]; supervivencia, [Supervivencia (%) = 100 (número final – número inicial)]; tasa de conversión alimenticia aparente (TCA = alimento ofrecido ÷ peso ganado) para alimento balanceado y la chaya, así como la tasa de eficiencia proteica (TEP = peso ganado ÷ proteína consumida).

Variabes ambientales

En el Exp I se realizaron mediciones de la temperatura tres veces al día con un termómetro seleccionando tres tanques de forma aleatoria. Para el Exp II se utilizó un HOBO 2K temp data logger que se programó para 11 lecturas diarias.

Análisis químicos

Los alimentos, hojas de chaya y muestras de peces al inicio y final del experimento fueron sometidos por triplicado a análisis químicos proximales de acuerdo a métodos estándar (AOAC, 1990). El contenido de humedad se determinó mediante deshidratación en estufa a 104°C por 24 h; los lípidos (extracto etéreo) por el método de Soxhlet, utilizando éter de petróleo como solvente; la fibra cruda, mediante digestión ácida-alcalina en un equipo Fibetrec Tecator y, el contenido de ceniza por calcinación a 450°C por 6 h. La proteína cruda (N x 6,25) se determinó con un analizador elemental CHN Thermo Flash EA 1112. El extracto libre de nitrógeno (ELN), fue calculado como 100 - (% humedad + % proteína cruda + % lípidos + % fibra + % ceniza).

Análisis estadístico

Los resultados en peso ganado y peso final entre dietas y épocas climáticas, se evaluaron a través de un

análisis de la covarianza (ANCOVA) de dos vías, con un intervalo de confianza del 95%. Se verificó que se cumpliera con los supuestos de homogeneidad de varianzas. El tratamiento C50BF fue excluido de este análisis, debido a que con éste no se cumplía el arreglo ortogonal necesario, por lo que se comparó únicamente con los tratamientos de la época cálida, por medio de un análisis de varianza de una vía (ANOVA). Las diferencias entre las medias se probaron utilizando el método de Tukey HSD.

RESULTADOS

Los experimentos I y II tuvieron una duración de 174 y 168 días respectivamente. La temperatura del agua en la época cálida varió de 24,5 a 28,9°C, con un promedio de 27,91 ± 0,78°C (± SD) y en la época fría de 18,44 a 28,61°C con un promedio de 24,17 ± 2,43°C. El peso ganado fue significativamente diferente entre épocas climáticas (ANCOVA, $P < 0,05$). Sin embargo, no se presentaron diferencias entre el peso ganado de los organismos de los tratamientos control (100% balanceado), respecto a los tratamientos que utilizaron chaya para la misma época climática. Lo que indicó que la reducción del 50 y 25% de la ración complementada con chaya no afectó el crecimiento (Fig. 2).

Para analizar el efecto de la temperatura del agua sobre los parámetros productivos, se compararon los tratamientos que utilizaron la ración completa de balanceado (controles) en cada época (F100BF y C100BF). El peso ganado (g) de los organismos experimentales durante la época fría (C100BF) fue de 57,0% (122,17 g) inferior respecto a los organismos de la época cálida (F100BF) (284,25 g). La TEP mostró valores en el mismo sentido, con un 73,7% respecto al valor registrado en la época cálida. De

igual manera se observó un aumento de la TCA, la cual tuvo un incremento de 35,5% en la época fría en comparación con la época cálida (Tabla 2). Todos los parámetros antes señalados presentaron diferencias significativas entre épocas climáticas (ANCOVA, $P < 0,05$). Respecto a la supervivencia, los porcentajes más bajos se obtuvieron en los tratamientos complementados con chaya en la época fría. El tratamiento F75CH fue el único que mostro diferencias significativas (ANCOVA, $P < 0,05$), respecto a los demás tratamientos en la época fría (Tabla 2). Sin embargo, la supervivencia más alta se presentó en el tratamiento C75CH, que incluyó hojas de chaya.

El tratamiento realizado durante la época cálida con el 50% de la ración sin suplemento de chaya (C50BF), presentó un peso ganado significativamente menor con respecto a C50CH (ANOVA, $P < 0,05$), que si incluyó hojas de chaya como alimento complementario. Salvo esta diferencia, el peso final de los peces fue similar entre los tratamientos de la misma época climática (Fig. 2).

La TCA global de cada tratamiento resultó de la sumatoria de las TCA del alimento balanceado y de la chaya, en peso húmedo (Tabla 2). En ambas épocas climáticas, los tratamientos con chaya mostraron una disminución en la TCA del alimento balanceado (TCAab) en comparación con los resultados de la dieta control. En época fría, la reducción de la TCAab fue de 9,2% (F75CH) y 33,6% (F50CH) con respecto a la ración completa (F100BF), que registró una TCAab de 2,29. En la época cálida la reducción de la TCAab fue mayor, con reducciones de 15,4% (C75CH) y 40,2% (C50CH) respecto al control (C100BF), donde la TCA fue de 1,69. Las menores TCAab se obtuvieron en los tratamientos F50CH y C50CH, mientras que las mayores las obtuvieron las raciones completas (F100BF y C100BF). Obviamente, las disminuciones de la TCAab estuvieron acompañadas de un incremento en el consumo de hojas de chaya, a medida que se redujo la ración de balanceado.

La TEP fue significativamente diferente entre épocas climáticas, entre los tratamientos complementados con chaya y los controles (ANCOVA, $P < 0,05$), observándose una disminución al utilizar el vegetal. También se encontraron diferencias en este indicador entre los tratamientos C100BF y C50BF de la época cálida, los cuales corresponden al 100 y 50% de la ración recomendada.

De acuerdo con los resultados de los análisis proximales (Tabla 3), las hojas de chaya almacenadas durante siete días (usadas en el experimento) tuvieron una mayor concentración de nutrientes respecto a las recién cortadas. La composición proximal de los peces

entre épocas y tratamientos no presentó diferencias significativas en el contenido de humedad y proteína (Tabla 4); sin embargo, los niveles de lípidos y de ceniza fueron diferentes entre épocas climáticas. El tratamiento C50BF presentó un contenido de lípidos significativamente menor (ANOVA, $P < 0,05$) al de los demás tratamientos de la época cálida.

DISCUSIÓN

El estado de Yucatán presenta un clima cálido la mayor parte del año. Sin embargo, durante el otoño-invierno y el inicio de la primavera, que en este trabajo se denominó época fría, la temperatura del agua es muy variable y regularmente cae por debajo de los 20°C, lo cual tiene un efecto negativo en el cultivo de los peces (Fig. 1). Esta variable influye sobre gran cantidad de procesos metabólicos de los peces, incluyendo alimentación, digestión y crecimiento entre otros (Wedemeyer, 1996). Para la tilapia se considera una temperatura óptima de 27 a 32°C, aunque los problemas metabólicos se inician a temperaturas por debajo de 21°C y la alimentación cesa por debajo de 16°C, acompañada de una mortalidad considerable. Por otro lado, a temperaturas superiores al óptimo se presentan enfermedades asociadas con el estrés (Teichert-Coddington *et al.*, 1997). Durante la época fría, se presentaron temperaturas del agua por debajo de 21°C, lo cual pudo influir directamente en la supervivencia y como un segundo factor el manejo durante la biometría. Debido a que en la época cálida los tratamientos que incluyeron el vegetal presentaron hasta 100% de supervivencia, la influencia de la chaya en la mortalidad fue descartada (Tabla 2).

El factor densidad de cultivo no fue considerado en el análisis de épocas climáticas, aunque en acuicultura se ha observado que la tasa de crecimiento y supervivencia responde inversamente a la densidad. Los tratamientos de la época cálida (con mayor densidad) no fueron afectados por este factor, debido a que en ambos experimentos las densidades fueron moderadas (44 peces/m³), con una capacidad de carga máxima de 12,98 kg m⁻³. A diferencia de sistemas hiper-intensivos donde las densidades superan los 160 peces m³ con una carga de hasta 33,5 kg m⁻³ (Al-Hafedh *et al.*, 2008). La mayor densidad de cultivo que se consideró en la época cálida fue para compensar una posible mortalidad, como la observada en la época fría (experimento I).

Respecto a la calidad del agua, los recambios diarios permitieron que los niveles amoníaco y nitritos se mantuvieran por debajo de 0,1 y 0,6 mg L⁻¹,

Tabla 2. Resultados de peso ganado y final, supervivencia y tasa de conversión alimenticia en época fría y cálida.**Table 2.** Results of gained and final weight, survival and food conversion rate in cold and warm season.

Valores medios	Tratamientos época fría				Tratamientos época cálida		
	F50CH	F75CH	F100BF	C50BF*	C50CH	C75CH	C100BF
Supervivencia (%)	84,62 ± 3,8 ^a	75,64 ± 8,0 ^b	88,46 ± 3,8 ^a	98,89 ± 1,9 ^a	97,78 ± 1,9 ^a	100 ± 0,0 ^a	98,89 ± 1,9 ^a
Peso inicial (g)	8,72 ± 0,0 ^a	8,74 ± 0,1 ^a	8,74 ± 0,0 ^a	14,44 ± 0,4 ^b	14,24 ± 0,3 ^b	14,15 ± 0,1 ^b	14,14 ± 0,1 ^b
Peso final (g)	105,48 ± 7,0 ^a	111,31 ± 10,5 ^a	130,91 ± 8,8 ^a	190,96 ± 3,4 ^c	280,97 ± 21,6 ^b	294,92 ± 39,2 ^b	298,40 ± 21,6 ^b
Peso ganado (g)	96,77 ± 6,9 ^a	102,57 ± 10,6 ^a	122,17 ± 8,8 ^a	176,53 ± 3,9 ^c	266,72 ± 21,6 ^b	280,78 ± 39,3 ^b	284,25 ± 21,5 ^b
TCA ¹ por alimento:							
Alimento balanceado (TCAab)	1,52 ± 0,0	2,08 ± 0,1	2,29 ± 0,0	1,28 ± 0,0	1,01 ± 0,1	1,38 ± 0,0	1,69 ± 0,0
Hojas de chaya (TCAch)	3,05 ± 0,0	1,56 ± 0,0	-	-	1,71 ± 0,0	1,22 ± 0,1	-
TCA global	4,57 ± 0,3	3,64 ± 0,0	2,29 ± 0,0	1,28 ± 0,0	2,72 ± 0,0	2,62 ± 0,1	1,69 ± 0,0
Suministro de proteína	83,51 ± 0,0	82,44 ± 0,0	77,82 ± 0,0	62,64 ± 0,1	140,76 ± 0,1	157,87 ± 0,1	133,64 ± 0,1
TEP	1,16 ± 0,0	1,24 ± 0,0	1,57 ± 0,0	2,82 ± 0,1	1,89 ± 0,1	1,79 ± 0,1	2,13 ± 0,1

¹Valores con el mismo superíndice no son significativamente diferentes ($P < 0,05$) ANCOVA dos vías, *ANOVA una vía.

Tabla 3. Composición proximal de hojas de chaya (frescas y almacenadas) y alimento balanceado.

Table 3. Proximate composition of tree spinach leaves (fresh and stored for one week) and balanced feed.

Composición (% peso húmedo)	Chaya fresca	Chaya almacenada	Alimento balanceado
Humedad	79,36 ± 0,6	46,27 ± 5,6	9,32 ± 0,4
Lípidos crudos	0,98 ± 0,0	5,36 ± 0,0	5,72 ± 3,6
Cenizas	1,87 ± 0,0	5,89 ± 0,1	8,33 ± 1,2
Fibra cruda	0,53 ± 0,0	7,10 ± 0,3	6,71 ± 1,0
Proteína cruda	5,70 ± 0,2	14,43 ± 1,2	27,82 ± 0,4
ELN ¹	11,56	20,95	42,1

¹ELN= Extracto Libre de Nitrógeno = 100- (humedad+lípidos crudos+cenizas+fibra cruda+proteína cruda).

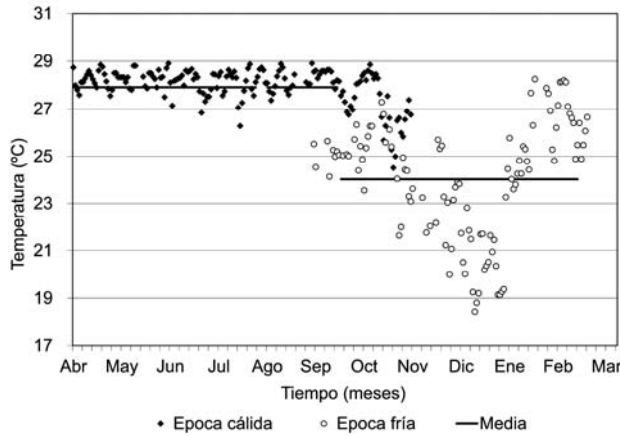


Figura 1. Temperatura del agua en los estanques experimentales durante las épocas fría y cálida.

Figure 1. Water temperature in experimental tanks during cold and warm seasons.

respectivamente. La aireación constante de los tanques ubicó los niveles de oxígeno disuelto sobre 5 mg L⁻¹ (Boyd, 1990).

El efecto de las bajas temperaturas del agua en la época fría también se mostró en el crecimiento, TCAab y TEP. Al comparar los valores de estos parámetros entre los tratamientos que utilizaron exclusivamente alimento balanceado en ambas épocas, se observó que en el peso ganado en la época fría fue 57% menor (F100BF) respecto al 100% de la cálida (C100BF). Además, se evidenció una ineficiente utilización del alimento balanceado, incrementado la TCAab en 35,5% en la época fría (F100BF), disminuyendo la eficiencia proteica en un 26,3% respecto a la época cálida (C100BF). Resultados similares a lo observado en los tratamientos (F100BF y C100BF) se han encontrado con la tilapia roja, señalando crecimientos menores (33-93%) con

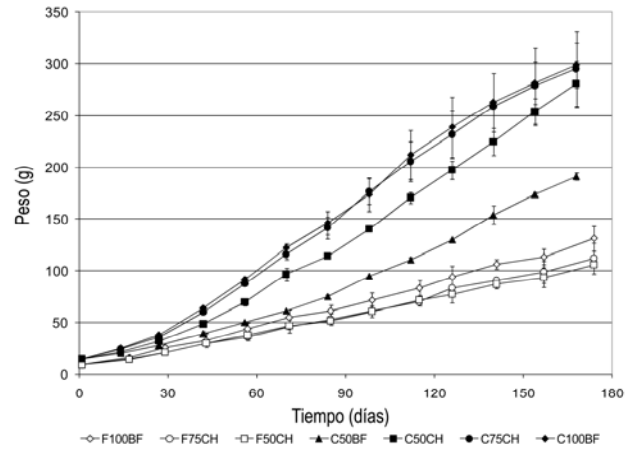


Figura 2. Crecimiento de la tilapia durante los experimentos de la época fría (F100BF, F75CH y F50CH) y cálida (C100BF, C75CH, C50CH y C50BF).

Figure 2. Tilapia growth during the experiments of cold (F100BF, F75CH and F50CH) and warm season (C100BF, C75CH, C50CH and C50BF).

temperaturas del agua de 22°C en comparación a (100%) 27°C (Watanabe *et al.*, 1993). Rezk *et al.* (2002) encontraron que a temperaturas inferiores a 25°C, la tilapia tiene un menor crecimiento (33-93%), con respecto al obtenido con una temperatura de 28°C (100%)

La TEP puede variar de acuerdo al origen o fuente de la proteína. Maina *et al.* (2002) observaron que este indicador disminuye sensiblemente en *O. niloticus* cuando ese nutriente es de origen vegetal, en comparación con una de origen animal. En el presente trabajo se observó que la TEP disminuyó significativamente en los tratamientos donde se incluyó chaya, los cuales presentan a lo largo del experimento, un consumo de proteína proveniente de esta planta de

Tabla 4. Composición proximal de los peces al inicio y final de cada experimento.**Table 4.** Initial and final proximate carcass composition of tilapia, by season and diet treatment.

Composición (% peso húmedo) ¹	Tratamientos época fría				Tratamientos época cálida				
	Inicial	F50CH	F75CH	F100BF	Inicial	C50BF	C50CH*	C75CH	C100BF
Humedad	75,08	74,09 ± 4,4 ^a	73,92 ± 5,6 ^a	72,11 ± 1,1 ^a	72,48	72,72 ± 1,2 ^a	69,56 ± 1,1 ^a	68,86 ± 0,9 ^a	69,91 ± 0,6 ^a
Lípidos crudos	5,73	6,33 ± 1,0 ^a	6,45 ± 0,9 ^a	8,40 ± 1,1 ^b	8,20	7,04 ± 0,0 ^c	10,04 ± 0,1 ^b	10,57 ± 0,2 ^b	10,42 ± 0,3 ^b
Cenizas	4,22	0,02 ± 0,0 ^a	0,03 ± 0,0 ^a	0,02 ± 0,0 ^a	3,63	2,51 ± 0,1 ^b	2,99 ± 0,3 ^b	2,84 ± 0,5 ^b	3,19 ± 0,7 ^b
Proteína cruda	12,60	17,64 ± 2,9 ^a	17,45 ± 4,6 ^a	18,21 ± 2,1 ^a	12,07	4,52 ± 1,1 ^b	15,06 ± 0,9 ^a	15,04 ± 0,1 ^a	15,22 ± 0,1 ^a

¹Valores con el mismo superíndice no presentan diferencias significativas ($P < 0,05$) ANOVA dos vías, *ANOVA una vía.

28,0% (F75CH) y 51,0% (F50CH) en época fría y de 31,0% (C75CH) y 46,8% (C50CH) en época cálida. Estos valores se calcularon en base a la proteína consumida a partir del peso ganado, el aporte de proteína y TCA por insumo (Tablas 2 y 3).

La TEP también puede variar de acuerdo con el tamaño de la ración alimenticia, haciéndose evidente en el tratamiento C50BF donde la TEP fue mayor en comparación al de la ración completa (C100BF). Sin embargo, el peso ganado no alcanzó los mismos resultados que con este último tratamiento. Resultados similares han sido observados en el cultivo de carpa (*Cirrhinus mrigala*), donde la mayor TEP fue registrada con una ración inferior (40%) a la máxima (100%), con un peso ganado relativamente bajo (Khan *et al.*, 2004). Se considera que bajo estas condiciones los peces optimizan el uso de alimento y proteína con fines metabólicos, aunque su crecimiento es menor al obtenido cuando se utiliza la ración completa (Brett, 1979; Goddard, 1996). Debido a este comportamiento, las tilapias alimentadas con el 50% de la ración (C50BF) presentaron una TCA más baja que la observada en C100BF.

Una de las ventajas que presenta la tilapia es que se puede alimentar con una gran variedad de productos de origen vegetal, como follajes, granos, legumbres, cereales, plantas acuáticas, etc. (El-Sayed, 1990, 2006; Liti *et al.*, 2006). Esta habilidad se atribuye a que, a diferencia de otros peces, las tilapias tienen una buena capacidad para digerir y asimilar carbohidratos, lo cual depende de la cantidad de fibra del alimento, frecuencia de alimentación, tamaño de los peces y tipo de carbohidrato (Shiau, 1997). Se considera que pueden utilizar adecuadamente alimentos de origen vegetal debido a su capacidad de producir en sus estómagos un pH2 o menor, ayudando a la lisis y digestión de este tipo de materiales, incluyendo a las algas verde-azul (Payne, 1978), e inclusive digerir el contenido celular sin lisar las paredes celulósicas (Bowen, 1981; Ekpo & Bender, 1989; Horn & Messer, 1992). Estos factores indican entonces que este organismo puede ser cultivado en sistemas de producción a baja escala, por lo que se pueden utilizar vegetales frescos disponibles localmente, a fin de minimizar los costos de alimentación.

Esto se comprueba con los resultados de este estudio, donde se observa que los tratamientos complementados con hojas de chaya dieron resultados de crecimiento similares a los obtenidos con el uso exclusivo de alimento balanceado en ambas épocas climáticas. En época cálida este manejo permitió alcanzar tallas de mercado (>250 g), con una disminución sustancial en el uso de alimento balanceado, manifestado en la baja TCA del alimento

balanceado de los tratamientos con chaya en ambas épocas climáticas. La contribución de la hoja de chaya al crecimiento de las tilapias puede observarse al comparar los tratamientos de la época cálida C50BF (50% de la ración sin chaya) y C50CH (50% de la ración + chaya), donde el peso ganado fue de 176,53 y 266,72 g respectivamente, con un incremento de 90,19 g (51,09%), atribuido al aporte nutricional de las hojas de chaya, lo que demuestra que este vegetal puede ser un adecuado sustituto parcial del alimento balanceado, cuando se combina con el 50% de la ración recomendada. Estudios previos con este insumo han demostrado que las hojas de chaya por si solas no aportan los nutrientes necesarios para el óptimo crecimiento de la tilapia (Poot-López & Gasca-Leyva, 2005). Estos autores observaron que la alimentación de las tilapias utilizando 100% de chaya, en un periodo de seis meses y temperatura fría, resulta en una mínima ganancia de peso, de forma similar a una ración de mantenimiento donde no se gana ni se pierde peso. Sin embargo, a través de proyección y simulación bioeconómica Poot-López & Gasca-Leyva (2009), demostraron la factibilidad de obtener tilapias con tallas de cosecha >250 g (en época cálida), sustituyendo el 50% de la ración de alimento balanceado con hojas crudas de chaya. Consecuentemente, los resultados del presente estudio indican que las hojas de chaya pueden contribuir eficientemente al desarrollo de los peces cuando se usa como un sustituto parcial del alimento balanceado, sustentado por los resultados en crecimiento, eficiencia en la utilización del alimento y proteína, así como la composición proximal del cuerpo de los peces obtenidos en este trabajo.

La composición proximal de las hojas de chaya utilizadas señaló una pérdida de 60% de humedad durante su almacenaje de siete días, con respecto a las hojas frescas (Tabla 3). Como consecuencia este insumo presentó una mayor concentración de nutrientes, sobre todo de proteína que se incrementó un 153,15% respecto a su contenido en las hojas frescas. Investigaciones realizadas con hojas de chaya en Yucatán han reportado valores entre 7,2-9,0% de proteína (Arnaud-Vinas & Klaus, 1999), en peso húmedo. En plantas de chaya cultivadas en Texas se han registrado niveles de proteína de 5,7% (Kuti & Torres, 1996) y 8,2%, con un perfil adecuado de 12 aminoácidos y más de cinco ácidos grasos, además de vitaminas como el ácido ascórbico, riboflavina, tiamina y β -caroteno; micronutrientes como Ca (221 mg por 100 g), K (277 mg por 100 g), Mg (90 mg por 100 g) y Fe (11,4 mg por 100 g) (Kuti & Kuti, 1999).

Al comparar la composición proximal final de los peces se observaron diferencias entre épocas

climáticas. Los peces alimentados con chaya en el estudio realizado en la época fría, no presentan el mismo nivel lípidos que con la dieta control, indicando una deficiencia energética durante esta época, que es atribuida a una reducción en el consumo de alimento por la disminución metabólica. Sin embargo, en la época cálida los niveles de lípidos de los peces alimentados con chaya son similares a los de la dieta con 100% de alimento balanceado, lo que indicaría que a mayor temperatura los peces son más eficientes en utilizar el suplemento vegetal en combinación con el alimento balanceado, posiblemente asociado también a una mayor ingesta.

La chaya es un insumo viable para disminuir la utilización de alimento balanceado en la producción de la tilapia, principalmente en sistemas de producción a pequeña escala en zonas rurales, donde se encuentra esta planta, como serían las correspondientes a México, USA, Centro América, el Caribe, Sudamérica, Islas Marshall y Polinesia (Booth *et al.*, 1992; Arnaud-Vinas & Klaus, 1999; Kuti & Kuti, 1999; Sarmiento-Franco *et al.*, 2003, Vander-Velde, 2003; Thaman *et al.*, 2006); otras especies de chaya (*Cnidioscolus aconitifolius*) han sido estudiadas en países africanos como alimento humano y animal (Donkoh *et al.*, 1999; Oboh, 2005). De hecho se ha utilizado harina de chaya como sustituto de harina de soya, para la alimentación de camarón y tilapia. Rocha-Estrada (1998) estudio la inclusión de 0, 20, y 30% de harina de chaya (*C. chayamansa*) en sustitución de una pasta de soya-harina de trigo, en la alimentación de camarón azul *Penaeus stylirostris*, en comparación a una dieta comercial; encontrando que el tratamiento con 20% y dieta comercial presentaron las mejores tasas de crecimiento y la TCA más baja. De manera similar, en África se ha utilizado harina de chaya como sustituto de harina de soya en la alimentación de tilapia, este estudio comprendió la formulación de dietas (35% de proteína) con inclusiones de harina de hojas de chaya de 0 (control), 20, 40, 60, 80 y 100%, sin encontrar diferencias significativas en el crecimiento de los peces entre la dieta control y el 20% de inclusión de harina de hojas de chaya (Obasa *et al.*, 2007).

En este sentido, el uso de la chaya puede ayudar a disminuir la dependencia de alimentos balanceados en el cultivo de la tilapia en zonas marginadas, donde el costo y disponibilidad de alimento artificial puede ser un factor importante en los costos de operación de una pequeña granja (Poot-López & Gasca-Leyva, 2005; Poot-López & Gasca-Leyva, 2009). El cultivo de chaya es relativamente fácil, ya que se propaga por estacas leñosas, por lo tanto, es un recurso que puede ser cultivado en la misma zona usando el agua de los

estanques para su riego, permitiendo con ello obtener peces de tallas de mercado con la misma calidad que utilizando balanceado únicamente.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados de este estudio se recomienda la sustitución de hasta 50% del alimento balanceado con hojas de chaya, lo cual contribuye de manera significativa en la reducción de la tasa de conversión alimenticia de alimento balanceado sin afectar el crecimiento de las tilapias, aunque durante los meses más cálidos del año es más eficiente el uso de este insumo. Esta sustitución es viable y aún más trascendental en cultivos a pequeña escala en áreas rurales, donde se puede producir la chaya integrada al cultivo de peces usando los efluentes de los estanques para su riego, lo cual permitiría una producción ecológica y socialmente sustentable.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al personal del Laboratorio Nutrición Acuícola del CINVESTAV Unidad Mérida y en especial al Técnico Wilbert Che, quienes apoyaron en este trabajo. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México por la beca otorgada. A los evaluadores anónimos que enriquecieron el trabajo con sus sugerencias y recomendaciones.

REFERENCIAS

- Abou, Y., E.D. Fiogbé & J.C. Micha. 2007. Effects of stocking density on growth, yield and profitability of farming Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L., fed Azolla diet, in earthen ponds. *Aquacult. Res.*, 38: 595-604.
- Aguilar, J., R. Santos, V. Pech & R. Montes. 2000. Utilización de la hoja de chaya (*Cnidoscolus chayamansa*) y de huaxín (*Leucena leucocephala*) en la alimentación de aves criollas. *Rev. Biomed.*, 11: 17-24.
- Al-Hafedh, Y.S., A. Alam & M.S. Beltagi. 2008. Food production and water conservation in a recirculating aquaponic system in Saudi Arabia at different ratios of fish feed to plants. *J. World Aquacult. Soc.*, 39: 510-520.
- Andrade-Cetto, A., J. Becerra-Jiménez, E. Martínez-Zurita, P. Ortega-Larrocea & M. Heinrich. 2006. Disease-consensus index as a tool of selecting potential hypoglycemic plants in Chikindzonot, Yucatán. *J. Ethnopharmacol.*, 107: 199-204.
- Appler, H.N. 1985. Evaluation of *Hydrodictyon reticulatum* as protein source in feeds for *Oreochromis (Tilapia) niloticus* and *Tilapia zillii*. *J. Fish Biol.*, 2: 332-334.
- Appler, H.N. & K. Jauncey. 1983. The utilization of filamentous green alga (*Cladophora glomerata* (L.) Kutzin) as a protein source in pelleted feeds for *Sarotherodon (Tilapia) niloticus* fingerlings. *Aquaculture*, 30: 21-30.
- Arnaud-Vinas, M.R. & L. Klaus. 1999. Pasta products containing taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) and chaya (*Cnidoscolus chayamansa* L. McVaugh). *J. Food Process. Pres.*, 23: 1-20.
- Asian Development Bank. 2004. Small-scale freshwater rural aquaculture development for poverty reduction. Manila, Philippines, 164 pp.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC) 1990. (CD-ROM). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists, Arlington.
- Belal, I.E.H. & M.S. Al-Jasser. 1997. Pitted date fruit in Nile tilapia feed. *Aquacult. Res.*, 28: 385-389.
- Booth, S., R. Bressani & T. Johns. 1992. Nutrient content of selected indigenous leafy vegetables consumed by the Kekchi people of Alta Verapaz, Guatemala. *J. Food Compos. Anal.*, 5: 25-34.
- Bowen, S.H. 1981. Digestion and assimilation of periphytic detrital aggregate by *Tilapia mossambica*. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 110: 239-245.
- Boyd, C.S. 1990. Water quality ponds for aquaculture. Alabama Agricultural Experimental Station, Auburn University, USA, 482 pp.
- Brett, J.R. 1979. Environmental factors and growth. In: W.S Hoar, D.J. Randall & J.R. Brett (eds.). *Fish physiology*, Vol. VIII. Academic Press, New York, pp. 599-675.
- Diana, J.S., C.K. Lin & K. Jaiyen. 1994. Supplemental feeding of tilapia in fertilized ponds. *J. World Aquacult. Soc.*, 25: 497-506.
- Diana, J.S. 1997. Feeding strategies. In: H.S. Egna & C.E. Boyd (eds.). *Dynamics of pond aquaculture*. CRC Press, Boca Raton, pp. 245-262.
- Donkoh, A., C.C. Atuahene, Y.B. Poku-Prempeh & I.G. Twum. 1999. The nutritive value of chaya leaf meal (*Cnidoscolus aconitifolius* (Mill.) Johnston): studies with broiler chickens. *Anim. Feed. Sci. Tech.*, 77: 163-172.
- Edwards, P. 1998. A system approach for the promotion of integrated aquaculture. *Aquacult. Econ. Manage.*, 2: 1-12.

- Edwards, P., M. Kawal & K.L. Wee. 1985. Incorporation of composted and dried water hyacinth in pelleted feed for the tilapia *Oreochromis niloticus* (Peters). *Aquacult. Fish. Manage.*, 16: 233-248.
- Ekpo, L. & J. Bender. 1989. Digestibility of a commercial fish feed, wet algae, and dried algae by *Tilapia nilotica* and silver carp. *Prog. Fish-Cult.*, 51: 83-86.
- El-Saidy, D.M.S. & M.M.A. Gaber. 2005. Effect of dietary protein levels and feeding rates on growth performance, production traits and body composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) cultured in concrete tanks. *Aquacult. Res.*, 36: 163-171.
- El-Sayed, A.F.M. 1990. Long-term evaluation of cotton seed meal as a protein source for Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 84: 315-320.
- El-Sayed, A.F.M. 1999. Alternative dietary protein sources for farmed tilapia, *Oreochromis* spp. *Aquaculture*, 179: 149-168.
- El-Sayed, A.F.M. 2006. *Tilapia culture*. CABI Publishing, London, 277 pp.
- Fitzsimmons, K. 2000. Tilapia aquaculture in Mexico. In: B.A. Costa-Pierce & J.E. Rakocy (eds.). *Tilapia aquaculture in the americas*, Vol.2. The World Aquaculture Society, Louisiana, pp. 171-183.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2008. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, 196 pp.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2010. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, 219 pp.
- Goddard, S. 1996. *Feed management in intensive aquaculture*. Chapman & Hall. New York, pp. 194-206.
- Gómez, M.E. 2003. Una revisión sobre el bore (*Alocasia macrorrhiza*). In: M.D. Sánchez & M.R. Méndez (ed.). *Agroforestería para la producción animal en América Latina II*. Memorias de la segunda conferencia electrónica (agosto 2000, marzo 2001). FAO Producción y Sanidad Animal, Roma, 155: 27 pp.
- Green, B.W., Z. El-Nagdy & H. Hebicha. 2002. Evaluation of Nile tilapia management strategies in Egypt. *Aquacult. Res.*, 33: 1037-1048.
- Halver, J.E. & R.W. Hardy. 2002. *Fish nutrition*. Academic Press, New York, 824 pp.
- Hassan, M.S. & P. Edwards. 1992. Evaluation of duckweed (*Lemna perpusilla* and *Spirodella polyrrhiza*) as fed for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 104: 315-326.
- Hepher, B. 1988. *Nutrition of pond fishes*. Cambridge University Press, London, 388 pp.
- Horn, M.H. & K.S. Messer. 1992. Fish guts as a chemical reactor: a model of the alimentary canals of marine herbivorous. *Mar. Biol.*, 113: 527-535.
- Khan, M.A., I. Ahmed & S.F. Abidi. 2004. Effect of ration size on growth, conversion efficiency and body composition of fingerling mrigal, *Cirrhinus mrigala* (Hamilton). *Aquacult. Nutr.*, 10: 47-53.
- Kuti, J.O. & H.O. Kuti. 1999. Proximate composition and mineral content of two edible species of *Cnidocolus* (tree spinach). *Plant Food Hum. Nutr.*, 53: 275-283.
- Kuti, J.O. & H.B. Konoru. 2006. Cyanogenic glycosides content in two edible leaves of tree spinach (*Cnidocolus* spp.). *J. Food Compos. Anal.*, 19: 556-561.
- Kuti, J.O. & E.S. Torres. 1996. Potential nutritional and health benefits of tree spinach. In: J. Janick (ed.). *Progress in new crops*. ASHS Press, Arlington, pp. 516-520.
- Liti, D.M., R.M. Mugo, J.M. Munguti & H. Waidbacher. 2006. Growth and economic performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) fed on three brans (maize, wheat and rice) in fertilized ponds. *Aquacult. Nutr.*, 12: 239-245.
- Loarca-Piña, G., S. Mendoza, M. Ramos-Gómez & R. Reynoso. 2010. Antioxidant, antimutagenic, and antidiabetic activities of edible leaves from *Cnidocolus chayamansa* Mc. Vaugh. *J. Food Sci.*, 75: 68-72.
- Lu, J. & X. Li. 2006. Review of rice -fish-farming systems in China- one of the globally important ingenious agricultural heritage systems (GIAHS). *Aquaculture*, 260: 106-113.
- Maina, J.G., R.M. Beames, D. Higgs, P.M. Mbugua, G. Iwama & S.M. Kisia. 2002. Digestibility and feeding value of some feed ingredients fed to tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquacult. Res.*, 33: 853-862.
- New, M.B. 1987. *Feed and feeding of fish and shrimp -a manual on the preparation and presentation of compound feeds for shrimp and fish in aquaculture*. Report No. ADCP/REP/87/26. Aquaculture Development and Coordination Programme, FAO, Rome, 275 pp.
- Oboh, G. 2005. Effect of some post-harvest treatments on the nutritional properties of *Cnidocolus acotifolus* leaf. *Pak. J. Nutr.*, 4: 226-230.

