



Masculinización de tilapia roja (*Oreochromis spp*) por inmersión utilizando 17 alfa–metiltestosterona¹

Revista
Colombiana de
Ciencias
Pecuarias

Red tilapia (Oreochromis spp) masculinization by immersion using 17 alpha-methyltestosterone

Carlos A López¹, Zoot; Dewin L Carvajal¹, Zoot; Mónica C Botero^{1*}, Zoot, PhD.

¹Grupo de Investigación en Ciencias Animales - GRICA. Escuela de Producción Agropecuaria,
Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
mobotero@agronica.udea.edu.co

(Recibido: 24 marzo, 2006; aceptado: 9 agosto, 2007)

Resumen

La tilapia roja (Oreochromis spp) es ampliamente producida a nivel mundial. Un inconveniente para su producción es la alta precocidad para la reproducción, lo que afecta su crecimiento y ocasiona la superpoblación. Para controlar esta situación se realiza una reversión fenotípica de sexo, mezclando una hormona androgénica en el alimento por treinta días, desde el inicio de su alimentación exógena. El objetivo de esta investigación fue evaluar la masculinización de tilapia roja por inmersión en solución de 17 α metiltestosterona (MT). Se aplicaron dos tratamientos: 1) masculinización por alimento y 2) masculinización por inmersión. Las dosis de MT empleadas fueron 60 mg/kg de alimento y 1.8 mg/l de agua. Las ovas se obtuvieron de la cavidad oral de las hembras. Se hicieron cuatro repeticiones por tratamiento, cada una con cuatro submuestras, empleando jaulas con 45 larvas/submuestra para un total de 720 larvas/tratamiento. La determinación sexual se realizó empleando dos técnicas: histológica y sexaje visual. Histológicamente se halló una eficiencia del 100% en el tratamiento 1 y del 90.4% en el tratamiento 2, al analizar una muestra del 21% de la población total. Por medio del sexaje visual se analizaron los individuos restantes al día 97 y se obtuvieron valores de 100 y 92.6% de machos para los dos tratamientos, respectivamente. Al combinar las dos técnicas de determinación sexual, los valores fueron de 100 y 91.8%, encontrándose una diferencia significativa ($p < 0.05$). Los resultados de la evaluación de parámetros productivos (peso y longitudes) y sobrevivencia no mostraron diferencias ($p > 0.05$). La técnica de reversión sexual por inmersión puede ser recomendada para reemplazar la técnica tradicional, por su menor demanda de tiempo y mano de obra, disminuye la exposición de animales y humanos a la hormona y representa mayores beneficios económicos.

Palabras clave: larvas, reproducción, reversión, sexaje.

¹ Para citar este artículo: López CA, Carvajal DL, Botero MC. Masculinización de tilapia roja (*Oreochromis spp*) por inmersión utilizando 17 alfa–metiltestosterona. Rev Col Cienc Pec 2007; 20:318-326.

* Autor para el envío de la correspondencia y la solicitud de separatas: Grupo (GRICA). Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia. AA. 1226, Medellín, Colombia. E-mail: mobotero@agronica.udea.edu.co

Summary

Red tilapia (Oreochromis spp) is one of the most widely produced species throughout the world. A disadvantage for its production is the high precocity for reproduction; this fact affects their growth and generates overpopulation. Thus it must undergo a phenotypic sex reversion, mixing an androgenic hormone in its food during 30 days starting at the beginning of exogenous feeding. The objective of this investigation was to evaluate the masculinization of the red tilapia through the immersion in methyltestosterone (MT) solution. Two treatments were applied: 1) masculinization through food and 2) masculinization through immersion. The dose of MT was 60 mg/kg of food and 1.8 mg/l of water. The eggs were obtained from the females mouths. Four repetitions were made per treatment, each one of them with four subsamples, using cages with 45 larvae per subsample and a total of 720 larvae per treatment. The sex determination was made using two techniques: histology and visual sexing. The histological evaluation showed efficiencies of 100% in treatment 1 and 90.4% in treatment 2 ($p < 0.05$), by analyzing a sample of 21% of the total population. The remaining individuals were analyzed by visual sexing method at day 97 and values of 100 and 92.6% males were obtained for each treatment, respectively. When both of the sex determination techniques were combined the values were 100 and 91.8%, with a significant difference ($p < 0.05$) between treatments, with no statistically significant differences in productive parameters (weight and lengths) or survival of fry ($p > 0.05$). The immersion technique can be recommended to replace the traditional technique since it presents smaller time consumption, less labor, reduces the exposure of animals and humans to the hormone and offer greater economic benefits in general.

Key words: larvae, reproduction, reversion, sexing.

Introducción

Los peces representan el quinto renglón en importancia dentro de la producción agrícola mundial. Este producto provee el 25% de la proteína de origen animal en países desarrollados y el 75% en países en vía de desarrollo (4). El cultivo de tilapia comenzó a intensificarse aproximadamente en 1920; desde entonces, la tilapia roja (*Oreochromis spp*) ha sido una de las especies más producidas en la acuicultura mundial. Su alto nivel proteico, su bajo costo de producción y precio de venta asequible respecto a otras especies piscícolas, la convierten en un producto de gran importancia.

En Colombia, la acuicultura se consolida como la actividad de mayor desarrollo dentro del sector pesquero (15). La producción de tilapia roja es la de mayor contribución al crecimiento de la acuicultura en el país (10).

La tilapia roja es originaria de África y del Oriente Medio, es producto del cruce de cuatro especies (*Oreochromis mossambicus*, *O. niloticus*, *O. hornorum* y *O. aurea*) (2). Lo anterior ha permitido la obtención de un pez cuya coloración puede ir desde el rojo cereza hasta el albino, pudiéndose presentar manchas negras. La obtención del color rojo es importante para el mercado nacional, aunque el mercado internacional acepta cualquiera

de los tonos, ya que recibe el filete limpio de piel (1). Uno de los inconvenientes para su producción, es sin duda su alta precocidad para la reproducción, ya que alcanza su madurez sexual durante la etapa de ceba, lo que afecta su óptimo crecimiento y genera superpoblación.

La tilapia es una especie gonocórica indiferenciada, lo que significa que el tejido gonadal de la larva al momento de eclosionar, no está diferenciado (14). Este período de indiferenciación en la morfogénesis, que va hasta los 15 días después de la eclosión, ha permitido el empleo de técnicas de inducción hormonal para reversión fenotípica del sexo mediante el empleo de hormonas masculinizantes (9). La mayor parte de los individuos se diferencian en consonancia con el sexo genético, pero los individuos pueden diferenciarse hacia el sexo contrario del representado en el cromosoma sexual dando origen a la intersexualidad y en algunas especies inversión completa del sexo. El sexo genético queda fijo en forma indeleble en la singamia, pero la diferenciación sexual fenotípica recibe la influencia de ciertos factores como constituyentes químicos específicos, hormonas, temperaturas extremas u otros agentes (5).

La gonadogénesis se inicia cuando las células germinales primordiales emigran desde la región

del endodermo del saco vitelino a las eminencias genitales. En esta etapa las gónadas todavía son bipotenciales desde el punto de vista sexual (son capaces de formar testículo u ovario) y constan de una médula interna y una corteza externa. Las áreas cortical y medular son organizadores femeninos y masculinos, respectivamente. La médula secreta una sustancia inductora de masculinidad llamada medularina y la corteza elabora una sustancia de feminidad denominada cortexina, estas sustancias supuestamente difusibles son con toda probabilidad antagónicas. Las células germinales primordiales procedentes del epitelio germinal invaden la médula de las eminencias genitales para formar cordones sexuales primarios. En este momento, ocurre la diferenciación gonadal y la bipotencialidad sexual no perdura por largo tiempo (5).

La proporción de sexos de las larvas al momento de la eclosión es aproximadamente de 50% hembras y 50% machos. El método de reversión más empleado en el país, es la mezcla de andrógenos al alimento balanceado que se suministra a las larvas durante aproximadamente treinta días a partir del tercer día post-eclosión o cuando finaliza la reabsorción de vitelo.

La hormona masculinizante metil-testosterona (MT) es mezclada con el alimento en una concentración de 0.06 g/kg de alimento, con niveles de eficiencia del 75 al 95%, dependiendo de las condiciones de manejo del cultivo (como temperatura y calidad del agua, disponibilidad de alimento vivo, frecuencia de alimentación), de las condiciones del alimento (como porcentaje de proteína, cantidad de hormona masculinizante y homogenización de la misma) y otras como competencia por el alimento, condiciones climáticas y sanidad (10).

El proceso de reversión produce estrés en las larvas y altas tasas de mortalidad, dado que se ven obligadas a consumir exclusivamente el alimento con la hormona evitándose al máximo el acceso a alimento vivo para que haya buenos índices de eficiencia en los resultados (18). El establecimiento de jerarquías entre las larvas de tilapia a la hora de alimentarse y la disponibilidad de alimento vivo a causa de la productividad primaria, son dos de las

principales causas de la disminución de la eficiencia de la reversión con hormona (4).

El método de reversión por alimento presenta otras desventajas (4): 1) el período de reversión es largo, oscila entre 30 y 45 días, 2) la eficiencia depende de la voluntad de alimentación del animal, que está influenciada entre otras por la temperatura y la turbidez del agua, 3) funciona muy bien principalmente para estanques pequeños y medianos, 4) exige mayor mano de obra en cantidad y calidad, debido al tiempo invertido en molida, mezcla de hormona y precisión en los pesajes de la misma, 5) mayor frecuencia de alimentación alta, 6) emplea un alimento balanceado con alta proteína (45%) para hacerlo más atractivo a las larvas, frente al alimento normalmente empleado del 38% de proteína, y 7) exige mayor consumo de hormona (60 mg/kg de alimento vs 1.8 mg/l de agua).

Al buscar reportes de experiencias similares se hallaron los siguientes: respecto a reversión con hormona en el alimento, Valdés *et al* (16), al evaluar el mejor tiempo de exposición a la hormona MT reportaron los siguientes resultados: 53.6% de machos en el tratamiento testigo (sin hormona), 99.3% de machos en las larvas alimentadas por dos semanas con alimento más hormona y 100% de machos en las larvas tratadas por cuatro semanas. Además Moreno-Enríquez *et al* (12), reportan resultados de masculinización de tilapia con fluoximesterona (hormona similar a la testosterona), en proporción de 5 mg/kg de alimento, durante 35 días. En dichos ensayos se obtuvo una eficiencia de reversión del 95%. No se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$), en cuanto al peso y la longitud inicial de los alevinos, cuando su crecimiento fue homogéneo durante el proceso de reversión y la mortalidad se mantuvo dentro de los niveles reportados en condiciones semejantes.

Respecto de la reversión por inmersión de ovas, un método poco empleado, Cagauan y Abucay (3), reportan resultados del 88% de eficiencia cuando sometieron las ovas a inmersión en solución acuosa de MT, a razón de 800 $\mu\text{g/l}$, durante un período de 96 horas mientras se realizaba la incubación artificial de los huevos.

Gale *et al* (7), al emplear 17 alfa-metildihidrotestosterona (MDHT) y MT para reversión de larvas de tilapia nilótica (*O. niloticus*) por inmersión, a los días 10 y 13 post-fertilización, con una duración de tres horas cada una, obtuvieron resultados de 100, 94, y 83% de eficiencia para las tres réplicas con una dosis de 500 µg/l de MDHT. Con respecto a la misma dosis para MT, estos autores sólo hallaron masculinización en la tercera réplica (no se reportaron los datos). Para la dosis de 100 µg/l de MDHT y MT, se encontraron diferencias notorias entre la primera y tercera réplicas (para MDHT las eficiencias fueron de 73 y 83%, y para MT de 72 y 91%, respectivamente).

Fitzpatrick *et al* (6), demostraron que dos inmersiones de tres horas realizadas los días 10 y 13 post-fertilización al emplear una concentración de 500 µg/l de MDT, dan lugar a una población con un 90% de machos. Igualmente, realizaron ensayos con tres inmersiones a los días 10, 11 y 13 post-fertilización a tres grupos diferentes de tilapia nilótica con dosis de 500 µg/l de MDHT, obteniendo diferencia significativa ($p < 0.05$) solamente en el grupo de inmersión al día 13, con una eficiencia del 79.3%.

Wassermann y Bertolla-Afonso (17), emplearon tres tipos de hormona para reversión de tilapia nilótica con inmersiones de cuatro horas. Las hormonas empleadas fueron MT, MDHT y 17 alfa-etinilttestosterona (ET) con dosis de 200, 600 y 1800 µg/l, encontrando que la mejor dosis era 1800 µg/l para las tres hormonas; la mayor eficiencia de reversión se observó con una sola inmersión a los catorce días post-eclosión con una eficiencia del 100, 91.6, y 76.9%, para MDHT, MT y ET, respectivamente, sin diferencias significativas ($p > 0.05$). Sin embargo, para MT la eficiencia en la reversión se incrementó a 98.3% con dos inmersiones realizadas a los 10 y 14 días post-eclosión, mostrando diferencia significativa.

Considerando que las técnicas tradicionales para cambio fenotípico de sexo dependen de un gran número de variables expuestas con anterioridad y ante el conocimiento del momento en el cual se da la diferenciación sexual en la larva de tilapia,

se han establecido protocolos que buscan mejorar la eficiencia teniendo un mayor control de las variables que inciden sobre esta y aplicándolos en el período más adecuado. Hacer modificación de sexo fenotípico por alimento, ha generado controversia por la manipulación y exposición del operario y la especie a la hormona. Por esto se han buscado otras alternativas en las que esta manipulación se reduzca en tiempo y cantidad.

Por tal motivo, este trabajo pretendió explorar la alternativa de reversión sexual por inmersión de las larvas en una solución de la misma hormona masculinizante que se emplea en el alimento, realizando una posterior evaluación de los resultados en cuanto a eficiencia, mortalidad, parámetros productivos (talla y peso) y análisis económico.

Materiales y métodos

El trabajo de campo se realizó en la Estación Piscícola de San José del Nus de la Universidad de Antioquia, localizada en el Municipio de San Roque (Antioquia, Colombia), con una altitud de 840 msnm y una precipitación anual de 2000 mm, temperatura ambiente promedio de 22 °C. Es una zona de vida clasificada como bosque húmedo tropical (bh-T) (13).

Descripción de la muestra

En el estudio se realizaron dos tratamientos: el tratamiento 1 de reversión por alimento y el tratamiento 2 de reversión por inmersión; se hicieron cuatro réplicas por tratamiento, cada una en un estanque de 2 x 2 x 1 m; los estanques fueron llenados hasta 0.75 m, para un volumen de 3 m³/estanque. Cada repetición tuvo cuatro submuestras dentro del mismo estanque, mediante la implementación de cuatro compartimientos de 0.5 x 0.5 x 0.4 m, cada uno con 45 larvas, para 180 larvas/repetición y 720 larvas/tratamiento.

Procedimiento

Las ovas se obtuvieron directamente de la cavidad oral de tres hembras de tilapia roja de tamaño similar, ya que el tamaño de las hembras influye sobre la fecundidad (huevos producidos/g de

hembra) (11). Con las ovas de las tres hembras se formó un conglomerado o mezcla que fue incubado en un bastidor de flujo descendente tipo californiano, similar al sugerido por Myers y Hershberger (12), para huevos demersales; aproximadamente 3000 ovas se incubaron para garantizar la obtención del total de larvas requeridas en el experimento (1440 larvas). Al tercer día post-eclosión las larvas del tratamiento 1 fueron trasladadas a los estanques de investigación, iniciando su alimentación con dieta balanceada comercial (45% de proteína bruta) con una inclusión de hormona MT (Argent®) (60 mg/kg de alimento). Para el tratamiento 2, se empleó el mismo alimento que para el tratamiento 1, pero sin inclusión de la hormona.

A los días 10 y 14 post-eclosión, la totalidad de las larvas de ambos tratamientos fueron trasladadas al laboratorio de la Estación Piscícola de San José del Nus (Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia). Las inmersiones de las larvas del tratamiento 2 se efectuaron en la solución con la hormona MT (1800 µg/l de agua). La duración de cada inmersión fue de cuatro horas, en un volumen de 60 l de agua (108 mg de hormona MT en total). La hormona fue previamente disuelta en 60 ml de etanol de alta pureza (97%), para una concentración de etanol en agua de 0.1%. Las larvas del tratamiento 1 también fueron sometidas a dos inmersiones en una mezcla de agua más alcohol (0.1% alcohol) en los días señalados para el tratamiento 2, empleando agua sin la hormona, para igualar las condiciones de manipulación. Las inmersiones se realizaron en acuarios de vidrio con aireación (un acuario/tratamiento). Una vez realizada cada inmersión, las larvas fueron regresadas a los módulos en los estanques de investigación y continuaron su manejo y alimentación de manera rutinaria.

La diferencia para la realización de los tratamientos de reversión, se basa en el hecho que la especie es gonocórica indiferenciada y se ha reportado su diferenciación sexual entre los días 10 y 14 post-eclosión (9). Es por ello que para el método de reversión por alimento (tratamiento 1), se empieza en el momento en el cual la larva inicia el consumo de alimento exógeno. El método de reversión por inmersión (tratamiento 2), se aplicó en los días mencionados, de acuerdo con los resultados de Wassermann y Bertolla-Afonso (17). A partir del

día 40 post-eclosión, ambos tratamientos recibieron alimento balanceado comercial con 32% proteína bruta.

Determinación del sexo. Para la determinación de sexo se emplearon dos técnicas: histológica y sexaje visual. Para la evaluación histológica se realizó al día 55 un corte ventral para extraer ambas gónadas, las cuales fueron observadas al microscopio. Antes de ser observadas, se sometieron a un leve aplastamiento (squash) con el cubreobjetos y a tinción con azul de metileno al 3%. En el microscopio se realizó un barrido de ambas gónadas para evaluar la presencia de ovocitos o de tejido granular (testículos), de acuerdo con el procedimiento descrito por Guerrero y Shelton (8).

La determinación del sexo mediante inspección visual se realizó el día 97 al total de individuos restantes, mediante tinción con azul de metileno al 3%, directamente en las papilas genitales de los peces, para facilitar su diferenciación. Este procedimiento es el empleado rutinariamente en sexaje de peces. Los parámetros de desarrollo: longitud total y estándar (cm), altura (cm) y peso (g) fueron tomados a los días 55 y 97 (finalización). La mortalidad (número de animales) fue evaluada día a día durante todo el ensayo. Ambos tratamientos fueron sometidos a un análisis económico con el propósito de evaluar las ventajas económicas de uno u otro tratamiento.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó en el programa SAS versión 8.1. Para las variables peso, talla y mortalidad, se utilizó un diseño completamente aleatorizado con submuestras, efecto fijo balanceado, correspondiente al siguiente modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = a la variable en estudio.

μ = media general.

T_i = efecto i -ésimo tratamiento.

E_{ij} = error experimental.

Las medias fueron comparadas con un intervalo de confianza del 95% y un nivel de significancia

de $p=0.05$. No se hizo transformación de datos o de variables. Además, se realizó un análisis de distribución de frecuencias (X^2) para determinar cómo la vía de administración afectaba la eficiencia de la hormona en cuanto a su capacidad para revertir el sexo. No se utilizó ninguna prueba para comparación de medias, ya que son solamente dos tratamientos o subclases, siendo el ANOVA y los promedios simples suficientes.

Resultados

Proporción sexual

Evaluación histológica del sexo. El día 55 post-eclosión se tomó una muestra de 156 individuos del tratamiento por alimento y 152 individuos del tratamiento por inmersión, correspondientes al 21% de la población total; en dicha muestra se halló una proporción de machos del 100% para el tratamiento de reversión por alimento y de 90.4% para el tratamiento por inmersión, observándose una diferencia significativa ($p<0.05$) (véase Tabla 1).

Tabla 1. Eficiencia de reversión mediante dos métodos de comprobación de sexo (visual e histológica) en ambos tratamientos.

Tratamiento	Método	Sexo			Total
		macho	%	hembra	
Alimento	histológico	176	100 ^a	0	276
	visual	360	100 ^a	0	360
Inmersión	histológico	151	90.4 ^b	16	267
	visual	277	92.6 ^b	22	299
	total	964		38	1002

^{a,b} Valores con letras distintas son significativamente diferentes ($p<0.05$)

Evaluación visual del sexo. Para determinar la proporción sexual se hizo sexaje visual al día 97 post-eclosión al total de la población restante: 360 alevinos del tratamiento por alimento y 299

alevinos del tratamiento por inmersión: el 100% de los individuos del tratamiento 1 y el 92.6% de los alevinos del tratamiento 2 fueron machos, observándose una diferencia significativa ($p<0.05$) (véase Tabla 1).

Proporción sexual global. Al combinar ambas técnicas de determinación sexual, se obtuvieron proporciones de 100% para el tratamiento de reversión por alimento y 91.8% en el tratamiento por inmersión, observándose diferencia significativa ($p<0.05$) entre tratamientos (véase Tabla 2). En la tabla 2 puede observarse la población total de ambos tratamientos evaluada por medio de las técnicas de determinación sexual.

Tabla 2. Eficiencia promedio de la reversión sexual en tilapia roja (*Oreochromis spp*) por tratamiento.

Tratamiento	Sexo		Total	Eficiencia de reversión (%)
	macho	hembra		
Alimento	536	0	536	100 ^a
Inmersión	428	38	466	91.8 ^b
Total	964	38	1002	

^{a,b} Valores con letras distintas son significativamente diferentes ($p<0.05$)

Parámetros productivos

En cuanto a los parámetros productivos evaluados: peso total (g), longitud total (cm), longitud estándar (cm) y altura (cm), no se observaron diferencias significativas ($p>0.05$) entre tratamientos, sugiriendo que la manipulación en la inmersión no afecta estos parámetros (véase Tabla 3). La sobrevivencia fue de 76.9 y 83% para los tratamientos 1 y 2, respectivamente, sin diferencia estadística significativa ($p>0.05$) lo que significó una mortalidad de 23.1 y 17% para los tratamientos 1 y 2, respectivamente (véase Tabla 4).

Tabla 3. Parámetros productivos (peso, longitud total, longitud estándar y altura) para ambos tratamientos al día 97

Tratamiento	Muestra	Peso final (g)	Longitud Total (cm)	Longitud estándar (cm)	Altura (cm)
Alimento	360	8.36 ± 1.67	7.66 ± 0.43	6.23 ± 0.3	2.28 ± 0.23
Inmersión	299	7.47 ± 1.11	7.37 ± 0.35	6.01 ± 0.28	2.19 ± 0.15

Para ningún parámetro se observó diferencias significativas ($p>0.05$)

Tabla 4. Supervivencia para ambos tratamientos de reversión sexual.

Tratamiento	Número inicial de individuos	Número final de individuos	Número de individuos muertos	Supervivencia (%)	Mortalidad (%)
Alimento	720	554	166	76.9	23.06
Inmersión	540	448	92	83.0	17.04

Análisis económico

Este análisis se realizó teniendo en cuenta los principales rubros implicados en el proceso de reversión (larvas, alimento y hormona masculinizante principalmente); a continuación se

muestran los cuadros con los costos por unidad, el número de unidades empleadas y los valores totales por rubro y por tratamiento, para cada uno de los tratamientos evaluados (véase Tabla 5).

Tabla 5. Análisis económico de la reversión sexual de tilapia roja (*Oreochromis spp*) por tratamiento.

RUBRO	Tratamiento 1			Tratamiento 2		
	costo/ unidad (\$)	unidades	costo total (\$)	costo/ unidad (\$)	unidades	costo total (\$)
Tilapia roja (Nº ind.)	16	720	11.520	16	720	11.520
Mano de obra (días)	8.250	97	800.250	7.000	97	679.000
Alimento (kg)	1.750	25	43.750	1.750	25	43.750
Hormona (mg)	1.980	25	49.500	33	216	7.128
Aceite (ml)	165	25	4.125	----	----	----
Etanol (ml)	----	----	----	50	120	6.000
Total/tratamiento			909.145			747.398
Diferencia costo T1-T2			+ 161.747			

En cuanto al costo total, la diferencia entre los dos tratamientos fue de \$161.747 a favor del tratamiento de reversión por inmersión; es decir, un 17.79% por debajo de los costos causados en el tratamiento de reversión por alimento.

Discusión

El porcentaje de eficiencia logrado en la reversión con el método de inmersión evaluado (91.8%), a pesar de presentar una diferencia significativa respecto del alcanzado con el método tradicional de reversión por alimento (100%) es satisfactorio, considerando que sobrepasa el 90% y se encuentra cercano a los valores logrados en ensayos que emplearon métodos similares con diferentes dosis de varios tipos de hormona (6, 7, 17). Adicionalmente, se debe tener en cuenta que el 100% de eficiencia obtenido con el método de reversión por alimento es superior al 96% de eficiencia observado

normalmente en la estación piscícola de San José del Nus; lo anterior podría deberse al método de incubación artificial empleado que permitió que el 100% de las larvas iniciaran su alimentación exógena con dieta de reversión simultáneamente, favoreciendo la respuesta al tratamiento. El método de reversión de larvas de tilapia roja por inmersión es una buena alternativa para el reemplazo del tradicional método de reversión por alimento. Es de anotar que una posible causa de la diferencia en la eficiencia del tratamiento por inmersión de este trabajo con respecto a los hallazgos de Wassermann y Bertolla-Afonso (16), pudo ser el hecho de haberse recuperado las ovas embrionadas de la cavidad bucal de las tilapias, sin que se hayan podido calcular los días post-fertilización con la precisión exigida por el protocolo aplicado.

Las variables productivas (talla y peso) de los alevinos sometidos a las inmersiones, no se

vieron afectadas respecto de las mostradas por los alevinos del tratamiento de reversión por alimento. Los resultados hallados no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre ambos tratamientos, lo que indica que la manipulación que exige el método de reversión por inmersión no afecta el desarrollo de los alevinos.

En cuanto a la mortalidad de los alevinos, se observaron porcentajes estadísticamente similares entre ambos tratamientos (23.1 y 17%, respectivamente), obteniéndose valores de sobrevivencia por encima del 75% reportado para la especie durante los tres primeros meses de vida (10). Para este trabajo la sobrevivencia de los alevinos sometidos al tratamiento de inmersión fue levemente superior a la de los alevinos del tratamiento de reversión por alimento.

En este trabajo se destaca la reducción del tiempo de exposición de las larvas y operarios a los esteroides, para el caso del tratamiento por inmersión dado que sólo se realizan dos veces y a una concentración muy inferior a lo que correspondería a reversión por alimento. Esto se hace más evidente en granjas donde la mezcla de la hormona con el alimento se realiza manualmente.

Además, se comprobó que las dos técnicas empleadas para determinar el sexo fueron igualmente eficaces para evaluar la proporción sexual, lo que permitiría usar la técnica histológica para estimar la eficiencia de la reversión más temprano. Sin embargo, se debe considerar que el tamaño de la muestra debe ser el menor posible aunque representativo, ya que al sacrificar la muestra para evaluación significaría una pérdida económica porque estos animales no alcanzan a llegar al peso final del engorde.

Al valorar el costo del tratamiento considerando sólo la hormona, se encontró que el costo por animal fue de \$ 74.47 en el tratamiento por alimento y \$ 18.23 en el tratamiento por inmersión; es decir, aproximadamente cuatro veces menor que por el método tradicional. Igualmente, se obtuvo una

reducción en el costo de la mano de obra, con \$ 168.4/alevino de reversión a favor del tratamiento de inmersión. Por lo anterior, la utilización de este método por inmersión representa una disminución en los costos del proceso de producción del 17.8% con respecto al método de reversión por alimento, lo que sería una razón de gran validez para la utilización de este tratamiento.

La utilización del método por inmersión parecería presentar un menor riesgo ambiental, si se tiene en cuenta que la concentración de la hormona es de 1.8 mg/l de agua, con respecto a 60 mg/kg de alimento concentrado; es decir, 33 veces menor concentración. Adicionalmente los volúmenes de agua empleados son menores, lo que supondría que los residuos hormonales causados por este tratamiento son más bajos respecto del tratamiento por alimento.

Se sugiere que si se realiza un ajuste a las variables empleadas en este experimento, se podría obtener mayor eficiencia en la reversión. Deberá tenerse certeza en los días post-fertilización que tengan las ovas empleadas, ya que para este experimento fueron extraídas de la cavidad bucal de las hembras y se asumió un tiempo post-fertilización aproximado. Esto garantizará que realmente las inmersiones se realicen en el momento en que ocurre la diferenciación sexual. Adicionalmente, podría pensarse en otros ajustes como la modificación de las dosis hormonales, día post-eclosión a la inmersión, duración y número de las inmersiones entre otras.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al señor Jaime Uribe Valencia y a los auxiliares de campo de la Estación Piscícola San José del Nus, a la Dirección de Regionalización de la Universidad de Antioquia por el apoyo brindado para la realización de este trabajo y a todas aquellas personas que de cualquier forma participaron e hicieron posible el desarrollo del mismo.

Referencias

1. Agrocadenas Colombia 2003 [fecha de acceso: junio 2005]. URL: <http://www.agrocadenas.gov.co>
2. Beveridge MC, McAndrew BJ. **Tilapias: biology and exploitation**. Londres: Kluwer Academic Publishers Fish and Fisheries; 2001. 505p.
3. Cagauan, A, Abucay J. Sex reversal of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* by egg immersion technique: the effect of hormone concentration and immersion time 2004 [fecha de acceso: junio 2005] URL: <http://ag.arizona.edu/azaqua/ista/ista6/sta6web/pdf/127.pdf>
4. Castillo LF. La importancia de la tilapia roja en el desarrollo de la piscicultura en Colombia. 2001 [fecha de acceso: junio 2005] URL: <http://ag.arizona.edu/azaqua/ista/new/TilapiaColombia.pdf>.
5. Faulkner LC, Pineda MH. En McDonald LE. Reproducción y endocrinología. 2ed. Mexico: Interamericana; 1981. p180-182.
6. Fitzpatrick MS, Contreras-Sánchez WM, Milston RH, Lucero M, Feist GW. **Steroid immersion for masculinization of tilapia: immersion of tilapia fry in MDT**. CRSP Sixteenth Annual Technical Report 1999; 73-74.
7. Gale W, Fitzpatrick M, Schreck Carl. Masculinization of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) through immersion in 17 α -methyltestosterone or 17 α -methylidihydrotestosterone. CRSP Thirteenth Annual Technical Report 1996; 96-100.
8. Guerrero RD, Shelton WL. **An acetocarmine squash method for sexing juvenile fishes**. Progres Fish Culturist 1974; 36:56-64.
9. Hopher B, Pruginin Y. Cultivo de peces comerciales. México: Limusa; 1991. p63-69.
10. INPA. Boletín Estadístico Pesquero 1998–1999. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural e Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. Cartagena, Colombia. 2000. 139p.
11. Myers JM, Hershberger WK. Artificial spawning of Tilapia eggs. J World Aquaculture Soc 1991; 22:77-82.
12. Moreno E, Rodríguez C, Barriga S, Arredondo F. Producción de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) masculinizada con la hormona fluoximesterona en sistemas cerrados de recirculación. CIVA 2003; 77-88.
13. Pineda H, Restrepo L, Olivera M. Comparación morfológica entre machos y hembras de cachama negra (*Colossoma macropomum*, Cuvier 1818) mantenidos en estanque. Rev Col Cienc Pec 2004; 17 Suppl:24-29.
14. Ruiz LE. Colombia y la acuicultura: breve historia de la acuicultura y su organización. FAO Informe Pesca 1984; 296 supl: 1-138 [fecha de acceso: junio 2005]. URL: <http://www.agrocadenas.gov.co/piscicultura/piscicultura>
15. Sepúlveda S. El siglo XXI. Colombia: ¿potencia en acuicultura? Panorama Acuícola 2000; 5:20-30.
16. Valdés A, Montemayor J. Cultivo monosexual de *Sarotherodon mossambicus* mediante la utilización de MT. Rev Biotam 1994 [fecha de acceso: junio 2005] URL: <http://ecologia.uat.mx/biotam/v6n3/art2.html>
17. Wassermann GJ, Bertolla-Afonso L. Sex reversal in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus linnaeus*) by androgen immersion. Aquaculture Res 2003; 34:65-71.
18. Watanabe WO, Wicklund RI, Olla BL, Head WD. Saltwater culture of the Florida red tilapia and other saline-tolerant tilapias: A review. World Aquaculture Soc 1997; 1:54-141.