



ESCUELA SUPERIOR



POLITÉCNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MARÍTIMA
Y CIENCIAS DEL MAR

"TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN DE ALEVINES
MONOSEXO DE TILAPIA"

*Ecuador Marcillo Gallino
Jerry Landívar Zambrano*

2008

1. INTRODUCCIÓN

- ▶ El cultivo a escala comercial de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) y del híbrido rojo de tilapia en Ecuador (*Oreochromis sp.*), ha tomado gran importancia dentro de la producción de organismos bioacuáticos.



1. INTRODUCCIÓN (continuación)

- ▶ Las tilapias tienen una serie de ventajas en los cultivos comerciales:
 - soporta bajas concentraciones de oxígeno,
 - rangos variados de salinidad,
 - manipuleo,
 - crecimiento acelerado,
 - resistencia a la acción de agentes patógenos
 - aprovecha bien la productividad natural del estanque,
 - hace buen uso de subproductos agrícolas y dietas balanceadas.

1. INTRODUCCIÓN (continuación)

- ▶ Características que presenta su carne:
 - ▶ textura firme
 - ▶ coloración blanca 
 - ▶ pocas espinas intramusculares
 - ▶ buen sabor 
- ▶ Las características antes mencionadas, hacen que se presente como un producto de alta calidad muy apreciada por los consumidores nacionales y extranjeros.

1. INTRODUCCIÓN (continuación)

- ▶ La desventaja que presentan los cultivos de tilapia en cautiverio es su reproducción precoz, causante de una sobrepoblación en los estanques; esta excesiva reproducción minimiza la producción comercial debido al tamaño variado que presentan los peces, causando poco crecimiento en la verdadera población cultivada, debido al enanismo o atrofia en el crecimiento, a causa de la competencia por el alimento y espacio en condiciones controladas (Lagler, K. and Steinmetz, 1.975; Morales, 1.991; Arias, 1.995).

1. INTRODUCCIÓN (continuación)

- ▶ Múltiples han sido los esfuerzos de investigadores por tratar de reducir el efecto de reproducción precoz en tilapia. Entre las técnicas aplicadas se destaca la reversión química de sexo, siendo ésta la más viable en la producción a escala comercial (Shelton, 1.978).



1. INTRODUCCIÓN (continuación)

- ▶ La reversión química del sexo consiste en el desarrollo de poblaciones monosexuales (machos), mediante el suministro de un agente hormonal esteroide por un espacio de tiempo establecido, el cual interfiere en los mecanismos de la determinación sexual de la fracción femenina de la población (Popma, 1.987).
- ▶ Yamamoto, en 1.969, concluyó que las hormonas esteroides son los inductores de la diferencia sexual de los peces óseos, teniendo los andrógenos un efecto masculinizante y los estrógenos una acción feminizante, refiriéndose a la inducción artificial XX de los machos (productor de esperma) y de las hembras XY (productor de huevo).

1. INTRODUCCIÓN (continuación)

- ▶ El objetivo principal de esta presentación es dar a conocer los procesos tecnológicos de reversión química del sexo, mediante el uso de la hormona 17-alfa-metil-testosterona, basados en experiencias adquiridas en el Proyecto de Investigación Piscícola, en la estación experimental " El Chame" de ESPOL.

1.1 Cultivo de tilapia en Ecuador

- ▶ Los miembros de los peces denominados tilapias son peces originarios del África y Palestina, pertenecen a la familia Cichlidae, esta familia es de distribución antropogénica, se los encuentra en: África, América y Asia; son peces principalmente de agua dulce e incluye unas 1.200 especies (Sweeney, 1.997).

1.1 Cultivo de tilapia en Ecuador (cont.)

- ▶ Dentro de la ictiofauna de los ríos de nuestro país, la familia Cichlidae presenta seis géneros, con catorce especies clasificadas; los cíclidos comunes de los ríos de la costa ecuatoriana son: vieja azul (*Aequidens rivulatus*), vieja colorada (*Cichlasoma festae*), vieja (*Aequidens sapayensis*) y *Cichlaurus festae*.



Foto #1. Ejemplar macho de *Aequidens rivulatus*. >>>

Fotografía: Jonathan Castro

1.1 Cultivo de tilapia en Ecuador (cont.)

- ▶ La tilapia mossambica (*Oreochromis mossambicus*) fue introducida en Ecuador desde Colombia, el 19 de Octubre de 1.965 en la zona de Santo Domingo de los Colorados, cuyo clima es subtropical, con precipitaciones medias anuales de 3.150mm, siendo ésta el área de mayor pluviosidad en el país. La ruptura del muro perimetral del estanque ocasionó que se escaparan la mayoría de los ejemplares. Los pocos peces recapturados, fueron transferidos al lago Yaguarcocha situado a 2.253m.s.n.m, en la provincia de Imbabura (Ovchynnyk, 1.971).

1.1 Cultivo de tilapia en Ecuador (cont.)

- ▶ Piscicultores particulares introdujeron desde Brasil, en el año 1.974, la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*). Algunos organismos públicos, pero autónomos, desarrollaron programas piscícolas, como el caso de PREDESUR (Programa Regional Ecuatoriano para el Desarrollo del Sur), que comenzó en 1.976, construyendo seis estaciones para el cultivo de peces, cuya función fue prever de alevines para programas de extensión e incluyen especies introducidas como tilapia y carpa. Otras instituciones con programas similares son: el Rancho Ronald, con el grupo 4F, Ministerio de Agricultura y Ganadería de Pichincha y Esmeralda, SEDRI (Servicio para el Desarrollo Rural Integral) y Consejo Provincial de Pichincha (Álvarez, 1.984). Posteriormente a inicios de los años 80 se introduce al país el híbrido rojo de tilapia (*Oreochromis sp.*), especie que predomina en los cultivos comerciales.



Foto #2. Ejemplar de *Oreochromis sp.* >>>

Fotografía: Jonathan Castro

1.1 Cultivo de tilapia en Ecuador (cont.)

- ▶ La Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), a través de su Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar, emprendió trabajos de investigación más significativos para el desarrollo sustentable de la producción de tilapia. La investigación tuvo el apoyo de: CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología), Subsecretaría de Recursos Pesqueros, CONUEP (Consejo Nacional de Universidades y Escuelas Politécnicas) y el AID (Agencia Internacional para el Desarrollo). Desde 1.983-1.987 se desarrolló el “Proyecto de Investigación Piscícola con Especies Nativas y Exóticas en la Cuenca del Río Guayas”.

1.1 Cultivo de tilapia en Ecuador (cont.)

- ▶ En la estación piscícola experimental El Chame en la ESPOL, se realizaron ensayos para la producción de alevines monosexo de tilapia, adaptando técnicas existentes. Los resultados fueron altamente favorables, la producción de alevines reversados excedió en un 23% las metas propuestas. Para mayo de 1.987, se había producido casi 500.000 alevines machos. El análisis de los resultados indicó que la producción de alevines monosexo no constituiría una barrera económica o técnica para el éxito del cultivo comercial de tilapia en Ecuador.

1.1 Cultivo de tilapia en Ecuador (cont.)

- ▶ Paralelamente a la producción de alevines reversados, se realizaron ensayos intensivos de tilapia, hasta un engorde comercial de 300g; la realidad socio económica imperante en 1.987 y 1.988 establecieron la no rentabilidad de estos cultivos.
- ▶ En noviembre 1.993, empresarios privados realizaron una pequeña exportación del producto congelado a los Estados Unidos. Paradójicamente, los abates de la patología del camarón, conocida como “síndrome de Taura” en 1.994 y 1.995, ocasionaron interés por los cultivo a escala industrial de tilapia.

1.1 Cultivo de tilapia en Ecuador (cont.)

- ▶ En 1.999, la presencia del virus del síndrome de la “mancha blanca” en camaroneras, ocasionó incrementos en las áreas de cultivos de tilapia, pero el crecimiento en la producción aumentó significativamente a partir del año 2.000. Para el año 2.004, en Ecuador existían unas 2.000 hectáreas en producción (Bernal, 2.004).
- ▶ La tilapia nilótica, línea chitralada, fue desarrollada en Tailandia en la estación experimental del Instituto de Tecnología Asiático (AIT), a partir de poblaciones puras de *Oreochromis niloticus* cultivada en el palacio Chitralada de Bangkok (Castillo *et al.* 2007). La especie fue introducida, por iniciativa del sector privado, a nuestro país en el año 2.005.

1.1 Cultivo de tilapia en Ecuador (cont.)

- ▶ Se estima que existen cerca de 5.000 hectáreas de producción de tilapia. En Ecuador las tilapias se cultivan en la región Litoral o Costa, siendo la provincia del Guayas donde se focalizan las mayores áreas de producción del cíclido. En la región Interandina o Sierra, los cultivos se realizan en los valles y zonas de clima subtropical; además, el cíclido es cultivado también en el Oriente ecuatoriano.
- ▶ El consumo de este cíclido aumentó en un 226%, y se ubicó en el cuarto lugar de las especies que son más apetecidas en los Estados Unidos, que es nuestro principal consumidor (Aquanotas, 2.008).

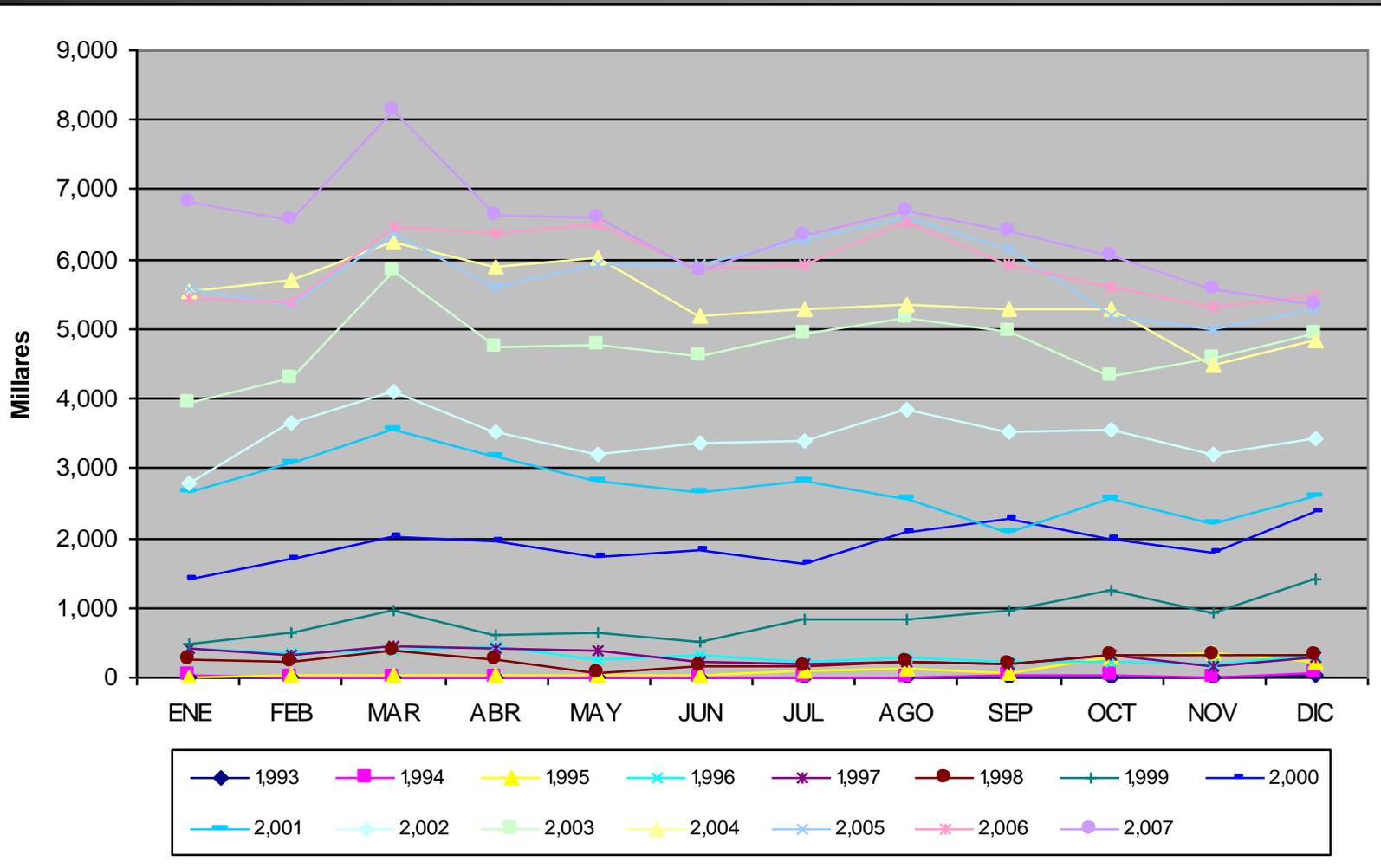


Gráfico # 1. Gráfico Comparativo de Exportaciones Ecuatorianas de Tilapia a USA por mes desde 1.993 hasta Diciembre/2.007.

FUENTE: FISHERIES STATISTICS AND ECONOMICS DIVISION (CÁMARA NACIONAL DE ACUACULTURA).



AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1993	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.850	18.705	32.555
1994	21.903	12.090	0	0	0	5.940	0	13.850	17.085	17.160	9.920	59.670	157.618
1995	13.640	26.935	32.200	29.760	33.360	33.850	98.761	133.771	72.508	298.023	357.260	222.652	1.352.720
1996	426.635	367.008	371.688	454.522	249.427	313.515	226.443	295.060	214.780	225.629	199.299	317.369	3.661.375
1997	413.189	319.704	441.186	412.739	376.565	218.861	191.655	211.557	202.632	319.973	161.714	285.517	3.555.292
1998	265.375	218.574	376.583	261.355	70.433	169.229	153.943	214.811	203.712	325.546	307.128	311.050	2.877.739
1999	489.606	634.418	976.825	617.722	625.265	520.968	838.566	838.813	958.474	1.245.108	932.071	1.423.856	10.101.692
2000	1.418.164	1.690.318	2.024.130	1.965.670	1.720.634	1.831.568	1.630.527	2.070.087	2.285.887	1.985.472	1.795.766	2.383.627	22.801.850
2001	2.663.537	3.059.689	3.549.497	3.170.311	2.814.320	2.659.834	2.815.801	2.547.786	2.081.446	2.554.661	2.206.774	2.596.292	32.719.948
2002	2.771.227	3.663.480	4.083.630	3.507.124	3.198.778	3.351.548	3.400.043	3.846.451	3.528.439	3.549.004	3.199.486	3.426.368	41.525.578
2003	3.946.733	4.299.732	5.828.306	4.750.211	4.786.062	4.625.578	4.934.448	5.141.209	4.951.807	4.316.571	4.581.913	4.929.288	57.091.858
2004	5.556.676	5.701.326	6.239.740	5.899.412	6.035.651	5.187.677	5.293.939	5.359.598	5.269.341	5.297.833	4.487.669	4.832.148	65.161.010
2005	5.586.503	5.352.149	6.365.141	5.589.742	5.920.696	5.918.200	6.269.744	6.591.907	6.143.389	5.172.978	5.007.875	5.270.432	69.188.756
2006	5.458.466	5.376.647	6.478.342	6.359.316	6.502.77	5.864.482	5.940.881	6.532.030	5.919.659	5.619.606	5.314.129	5.461.838	70.827.473
2007	6.835.727	6.574.661	8.121.272	6.625.543	6.600.079	5.838.620	6.341.813	6.705.506	6.416.341	6.056.008	5.564.751	5.333.200	77.013.521

Tabla #1. Resumen Ejecutivo de Estadísticas en las Exportaciones Ecuatorianas de Tilapia (en dólares) a USA desde 1.993 hasta diciembre/2.007.

FUENTE: FISHERIES STATISTICS AND ECONOMICS DIVISION (CÁMARA NACIONAL DE ACUACULTURA).



AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1993	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.707	12.024	21.731
1994	14.987	8.139	0	0	0	4.259	0	8.468	11.391	11.440	4.958	24.857	88.499
1995	6.817	12.976	16.689	14.881	16.682	15.981	44.866	66.226	37.703	132.408	172.801	151.427	689.458
1996	196.119	216.247	170.330	221.626	172.752	298.512	118.402	156.218	108.627	131.723	139.882	186.209	2.116.647
1997	256.139	204.598	268.414	271.953	188.707	93.321	89.762	131.648	88.387	126.209	94.273	128.297	1.941.708
1998	126.820	106.048	208.306	168.954	65.102	105.541	88.210	123.619	127.097	186.293	170.451	192.107	1.668.547
1999	272.416	348.265	554.131	348.572	344.780	279.629	341.325	315.727	357.009	447.589	336.184	489.031	4.434.657
2000	482.314	587.116	701.462	650.086	564.382	609.609	533.981	689.934	762.419	644.599	590.381	783.405	7.599.686
2001	887.799	1.038.589	1.291.073	1.090.433	995.630	907.493	983.664	870.222	708.203	891.406	802.474	906.904	11.373.891
2002	981.673	1.349.105	1.459.721	1.269.715	1.180.843	1.235.112	1.241.972	1.426.960	1.287.685	1.359.407	1.202.629	1.224.503	15.219.326
2003	1.477.047	1.631.675	2.254.704	1.862.029	1.837.424	1.755.413	1.853.681	1.931.481	1.854.831	1.576.412	1.635.822	1.772.783	21.443.302
2004	1.996.409	2.029.828	2.234.558	2.098.175	2.146.599	1.814.542	1.853.531	1.873.491	1.825.230	1.836.456	1.560.850	1.684.039	22.953.709
2005	1.977.200	1.884.117	2.205.034	1.948.066	2.056.160	2.060.986	2.196.121	2.288.437	2.101.524	1.784.004	1.727.566	1.871.813	24.101.029
2006	1.931.366	1.952.636	2.247.056	2.159.633	2.193.877	1.988.269	2.026.616	2.245.310	2.044.165	1.947.632	1.842.450	1.933.703	24.512.714
2007	2.391.180	2.307.958	2.860.658	2.407.827	2.371.162	2.073.459	2.276.247	2.393.951	2.312.039	2.113.651	1.989.435	1.817.827	27.315.395

Tabla #2. Resumen Ejecutivo de Estadísticas en las Exportaciones Ecuatorianas de Tilapia (en libras) a USA desde 1.993 hasta Diciembre/2.007.

FUENTE: FISHERIES STATISTICS AND ECONOMICS DIVISION (CÁMARA NACIONAL DE ACUACULTURA).



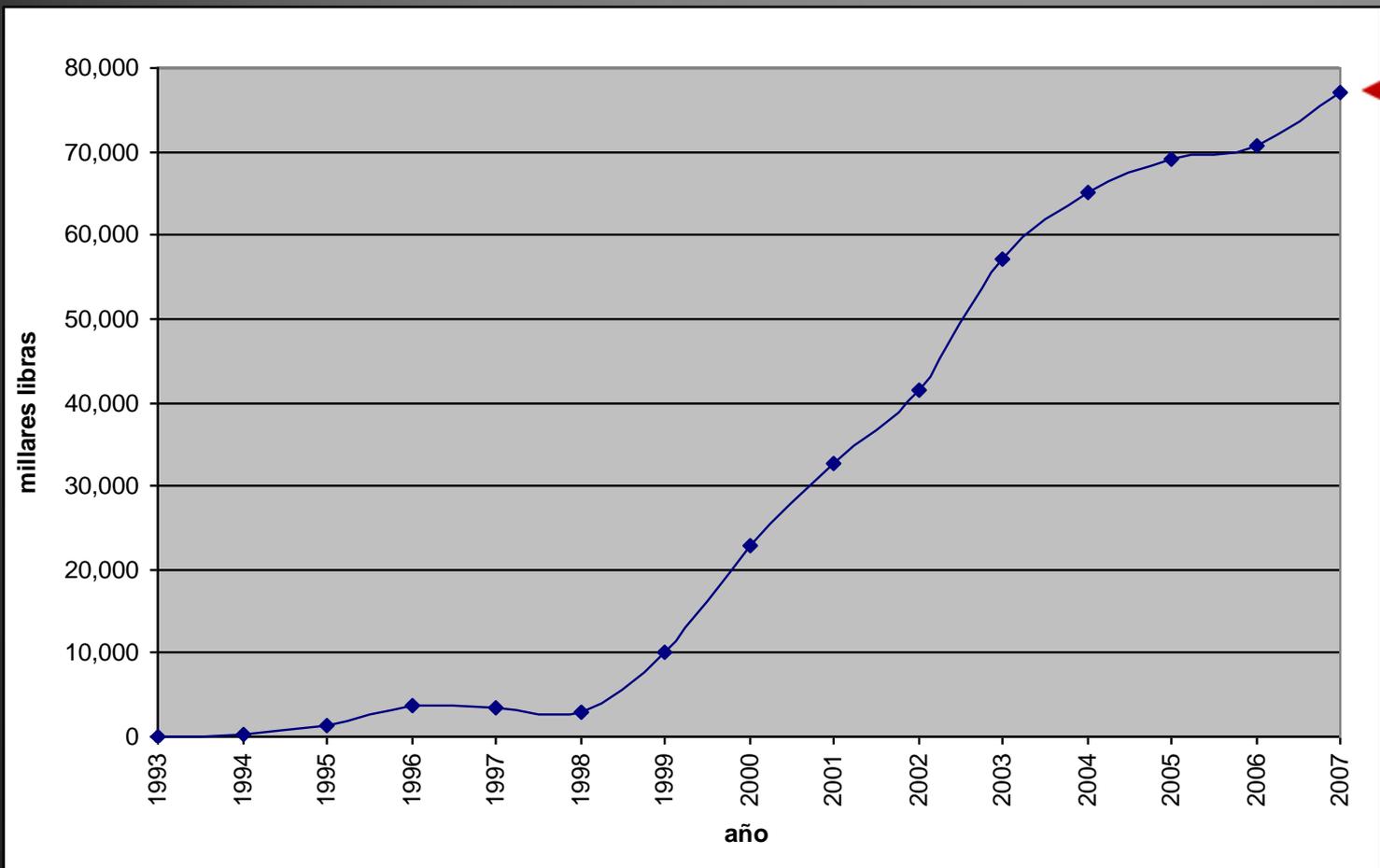


Gráfico #2. Gráfico de Exportaciones Ecuatorianas de Tilapia a USA por año, desde 1.993 hasta diciembre/2.007.

FUENTE: FISHERIES STATISTICS AND ECONOMICS DIVISION (CÁMARA NACIONAL DE ACUACULTURA).

2. ASPECTOS BIOLÓGICOS EN LA DETERMINACIÓN DEL SEXO DE LOS CICHLIDAE



"Para que el cultivo a gran escala de cualquier organismo de consumo humano sea eficiente, el recurso debe ser fácilmente renovable". (Brian J. Harvey and William Hoar, 1.979).

2. ASPECTOS BIOLÓGICOS EN LA DETERMINACIÓN DEL SEXO DE LOS CICHLIDAE (cont.)

- ▶ Los mecanismos que determinan el sexo en tilapias se encuentran en una condición lábil primitiva, tal como acontece en la mayoría de peces teleósteos (Lagler *et al.*, 1.984).
- ▶ En trabajos de investigación sobre caracterización cromosómica de tilapia nilótica, se ha determinado como número diploide modal $2n=44$ cromosomas de tipo submetacéntrico, subtelocéntrico y acrocéntrico (Guillermo Faifer *et al.* 2007).

2. ASPECTOS BIOLÓGICOS EN LA DETERMINACIÓN DEL SEXO DE LOS CICHLIDAE (cont.)

- ▶ El sexo en tilapias lo definen los cromosomas sexuales. Esto ha sido demostrado en varios trabajos, en los que se ha establecido que, los cromosomas sexuales juegan un papel importante en determinar su sexo (Jalabert *et al.*, 1.971; Guerrero, 1.975; Shelton *et al.*, 1.978 y Calhoun and Shelton, 1.983).
- ▶ Moav (no publicado, citado por Wohlfarth y Hulara, 1983; Arredondo *et al.*, 1.994), propone que el sexo lo definen los cromosomas sexuales y un gen sexual autosómico simple que tiene alelos múltiples.

2. ASPECTOS BIOLÓGICOS EN LA DETERMINACIÓN DEL SEXO DE LOS CICHLIDAE (cont.)

- ▶ En 1.988, se establece la participación del "Factor Determinante del Testículo" (FDT) en un gen de los cromosomas para Y, que libera una sustancia proteica que preserva la definición testicular y demás estructuras del sistema reproductor en el macho. La no presencia del FDT provoca la pérdida de la señal específica de la proteína, por lo que, los órganos sexuales que se encuentran indiferenciados se definen como ovarios y otras estructuras del sistema reproductor en la hembra (Tave, 1.989).

2. ASPECTOS BIOLÓGICOS EN LA DETERMINACIÓN DEL SEXO DE LOS CICHLIDAE (cont.)

- ▶ El medio ambiente tiene una gran influencia sobre la determinación del sexo en las tilapias, el factor más importante es la temperatura (TSD= temperature sex determination) presente en especies termosensitivas, en las que están incluidos los Cíclidos, que indica una fuerte interacción entre la temperatura y el genotipo (Castillo, 2.006).

2. ASPECTOS BIOLÓGICOS EN LA DETERMINACIÓN DEL SEXO DE LOS CICHLIDAE (cont.)

- ▶ Para poder interpretar los mecanismos de la definición del sexo en el género *Oreochromis*, se proponen ciertas apreciaciones un poco arbitrarias en relación a los cariotipos que se presentan en estas especies, las mismas que se postulan de la siguiente manera:
 - Cariotipo similar a la especie humana
 - Cariotipo opuesto al de la especie humana

2. ASPECTOS BIOLÓGICOS EN LA DETERMINACIÓN DEL SEXO DE LOS CICHLIDAE (cont.)

- ▶ Cariotipo similar a la especie humana:
 - XY para el macho (heterogamético)
 - XX para la hembra (homogamética)
- ▶ El macho, por presentar gametos diferentes, es quien determina el sexo de los ejemplares (Fig. #1). Dentro del género *Oreochromis*, las especies que presentan este tipo de características son:
 - *Oreochromis niloticus* (Jalabert *et al.*, 1.971); y
 - *Oreochromis mossambicus* (Chen, 1.969).

♀ / ♂	X	Y
X	XX	XY
X	XX	XY

Figura #1. Cuadrado de Punnett para la determinación sexual de *Oreochromis niloticus* u *O. mossambicus*. Resultando un 50% de hembras XX y un 50% de machos XY.



2. ASPECTOS BIOLÓGICOS EN LA DETERMINACIÓN DEL SEXO DE LOS CICHLIDAE (cont.)

- ▶ Cariotipo opuesto a la especie humana:
 - **ZZ** para el macho (homogamético)
 - **WZ** para la hembra (heterogamética)
- ▶ La hembra, que presenta gametos diferentes, es quien determina el sexo de la progenie (Figura #2). Como ejemplos de este tipo de definición tenemos:
 - *Oreochromis urolepis hornorum* (Chen, 1.969); y
 - *Oreochromis aureus* (Guerrero, 1.975)

♀ / ♂	Z	Z
W	WZ	WZ
Z	ZZ	ZZ

Figura #2. Cuadrado de Punnett para la determinación sexual de *Oreochromis urolepis* u *O. aureus*. Resultando en un 50% de hembras WZ y un 50% de machos ZZ.



2. ASPECTOS BIOLÓGICOS EN LA DETERMINACIÓN DEL SEXO DE LOS CICHLIDAE (cont.)

- ▶ Lovshin (1.982) asegura que el Gen con el Factor Determinante para macho con cromosoma Z, ejerce una dominancia sobre el Gen con el Factor Determinante para las hembras en el cromosoma X; mientras que, el Gen con el Factor Determinante para machos con el cromosoma Y, es ligeramente Dominante sobre el Gen con Factor Determinante para hembras con el cromosoma W.
- ▶ Lo cual unido a los Genes de origen autosómicos A y a y el FDT permiten explicar las alteraciones frecuentes en las proporciones mendeliana de sexos esperados (Castillo, 1.994).

2. ASPECTOS BIOLÓGICOS EN LA DETERMINACIÓN DEL SEXO DE LOS CICHLIDAE (cont.)

- ▶ Las características biológicas generales relacionadas con la determinación del sexo en tilapia, que permite aplicar la tecnología de la reversión química del sexo son:
 - ▶ a) El sexo en tilapias es muy inestable poco después de eclosionar las larvas, y puede ser afectado por factores externos e internos.
 - ▶ b) El sexo en estos peces se define en un estadio final del desarrollo postlarval, en una longitud que puede variar dependiendo de la especie de entre 18 y 20mm (Hepher y Pruginin, 1.985) ó 15 y 18mm (Popma, 1.987).

2. ASPECTOS BIOLÓGICOS EN LA DETERMINACIÓN DEL SEXO DE LOS CICHLIDAE (cont.)

- ▶ El periodo crítico larval de inestabilidad sexual, faculta el poder intervenirlos para determinar el sexo en la mayoría de estos peces.
- ▶ Para obtener poblaciones de machos se suministra un andrógeno por vía oral de alto poder androgénico; esta técnica, por la cual se puede revertir la mayor parte de la población, presenta valores mayores al 95% de machos, planificándose cultivos monosexuales con un alto rendimiento en la producción por hectárea en piscifactorías comerciales.

3. ASPECTOS ECOLÓGICOS EN LA REPRODUCCIÓN DE TILAPIAS



Tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*), así como el híbrido rojo de tilapia (*Oreochromis sp.*), gustan de cuerpos de agua lénticos.

3. ASPECTOS ECOLÓGICOS EN LA REPRODUCCIÓN DE TILAPIAS (cont.)

- ▶ Las tilapias son peces muy resistentes a toda variación de parámetros físico-químicos del agua, esto ofrece ventajas en la producción. El mantener una buena calidad de agua en el cultivo es una garantía para obtener éxito en la producción de alevines reversados.
- ▶ Los requerimientos ecológicos más importantes que se toman en consideración en los procesos de reproducción de estos peces se detallan a continuación.

3. ASPECTOS ECOLÓGICOS EN LA REPRODUCCIÓN DE TILAPIAS (cont.)

▶ 3.1 Temperatura.

- Los cíclidos son peces que requieren de temperaturas elevadas para su desarrollo. La reproducción de tilapias se da entre 22–32°C (Popma and Green, 1.990); el rango óptimo es de 26–29°C; y la temperatura ideal para el engorde de estos peces es de 24–32°C. En nuestro país, las temperaturas enunciadas se dan en todo el litoral, en los valles bajos interandinos y en la región oriental.

3. ASPECTOS ECOLÓGICOS EN LA REPRODUCCIÓN DE TILAPIAS (cont.)

▶ 3.2 Oxígeno.

- Es uno de los parámetros más importantes dentro de los procesos de reproducción. El grado de saturación de oxígeno es directamente proporcional a la temperatura y el pH es inversamente proporcional a la altitud. Los niveles deseados están sobre los 6ppm, pero se desarrollan normalmente en concentraciones de 5mg/l (Florez and Medrano, 1.997). Las tilapias tienen la facultad de reducir el consumo de oxígeno cuando las concentraciones del medio son bajas e inferiores a 3mg/l. En estas condiciones, el pez disminuye su metabolismo (Fondepesca, 1.988).

3. ASPECTOS ECOLÓGICOS EN LA REPRODUCCIÓN DE TILAPIAS (cont.)

▶ 3.3 pH del agua.

- Rangos entre 6,6–7,5 son óptimos; sin embargo, valores por debajo de 4 y superiores a 11 reducen la supervivencia de los peces. Lecturas de pH entre 4,5–5,5 no permite la reproducción (Piña, 1.993). La estabilidad del pH mejora las condiciones de cultivo, permitiendo el incremento de la productividad natural en el estanque, la misma que, constituye una fuente de alimentación para los organismos a cultivar.

3. ASPECTOS ECOLÓGICOS EN LA REPRODUCCIÓN DE TILAPIAS (cont.)

▶ 3.4 Salinidad.

- La mayoría de las especies de tilapias son eurihalinas y pueden vivir en aguas salobres, mientras que otras variedades viven en agua del mar (Kira, 1.972); niveles sobre los 10ppt no son recomendables para la reproducción de *O. niloticus* (Popma and Green, 1.990).

▶ 3.5 Alcalinidad y dureza.

- Afectan directamente al metabolismo de los organismos reduciendo la producción total de tilapia. Una alcalinidad de aproximadamente 75mg/l de CaCO_3 se considera adecuada y propicia para promover la productividad en los estanques (Fondepesca, 1.988).

3. ASPECTOS ECOLÓGICOS EN LA REPRODUCCIÓN DE TILAPIAS (cont.)

▶ 3.6 Turbidez.

- Para los procesos de reproducción, la lectura del disco Secchi entre 25–30cm es la recomendable, siempre que ésta sea originada por la productividad primaria.

▶ 3.7 Amoniaco.

- Los niveles de amoníaco (NH_3), necesitan ser considerados debido a su alta toxicidad. Se establece que tales valores en cultivos deben ser menores a 2ppm (Pina López, 1.993).

4. DESCRIPCIÓN DE HORMONAS ESTEROIDES



Todas las hormonas esteroides poseen un anillo correspondiente al ciclopentano-perhidrofrenanteno (esterano).

4. DESCRIPCIÓN DE HORMONAS ESTEROIDES_(cont.)

- ▶ Estos compuestos se encuentran estructurados por cuatro anillos de designación literal, unidos entre sí; los anillos: **A**, **B** y **C** se encuentran conformados por seis átomos de carbono, mientras que el anillo **D** contiene cinco átomos de carbono (Joachim Ufer, 1.972) (Figura #3).

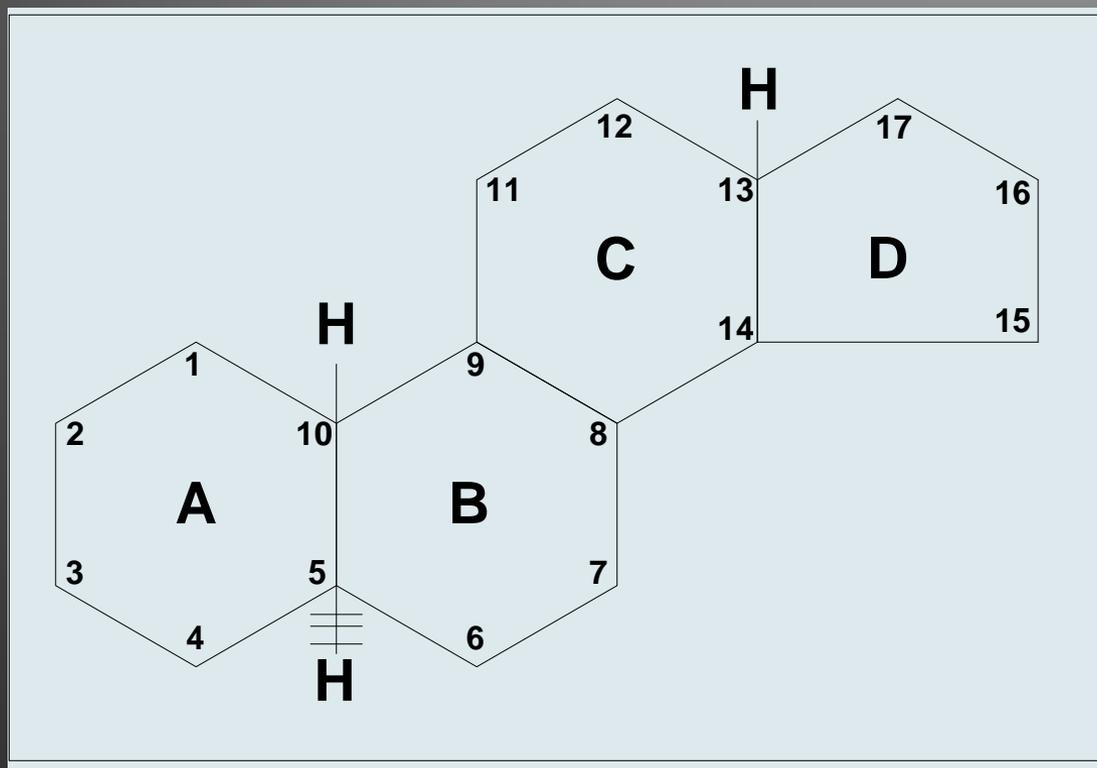


Figura #3. Estructura Química del Esterano. >>>

Tomado de Joachim Ufer, 1.972.

4. DESCRIPCIÓN DE HORMONAS ESTEROIDES_(cont.)

- ▶ Todos los átomos de carbono se numeran correlativamente. En la fórmula reproducida para la colesteroína (Figura #4), la sustancia fundamental de las hormonas esteroideas, puede apreciarse el sistema que se sigue para la numeración de los átomos de carbono.
- ▶ Característicos, son los dos grupos metilo (CH_3) en los átomos de carbono 10 y 13; que poseen todas las hormonas esteroideas, a excepción de los estrógenos y de la aldosterona (Joachim Ufer, 1.972). A fin de simplificar su notación, no se expresan ambos grupos metilo, sino que se señala con una raya vertical.

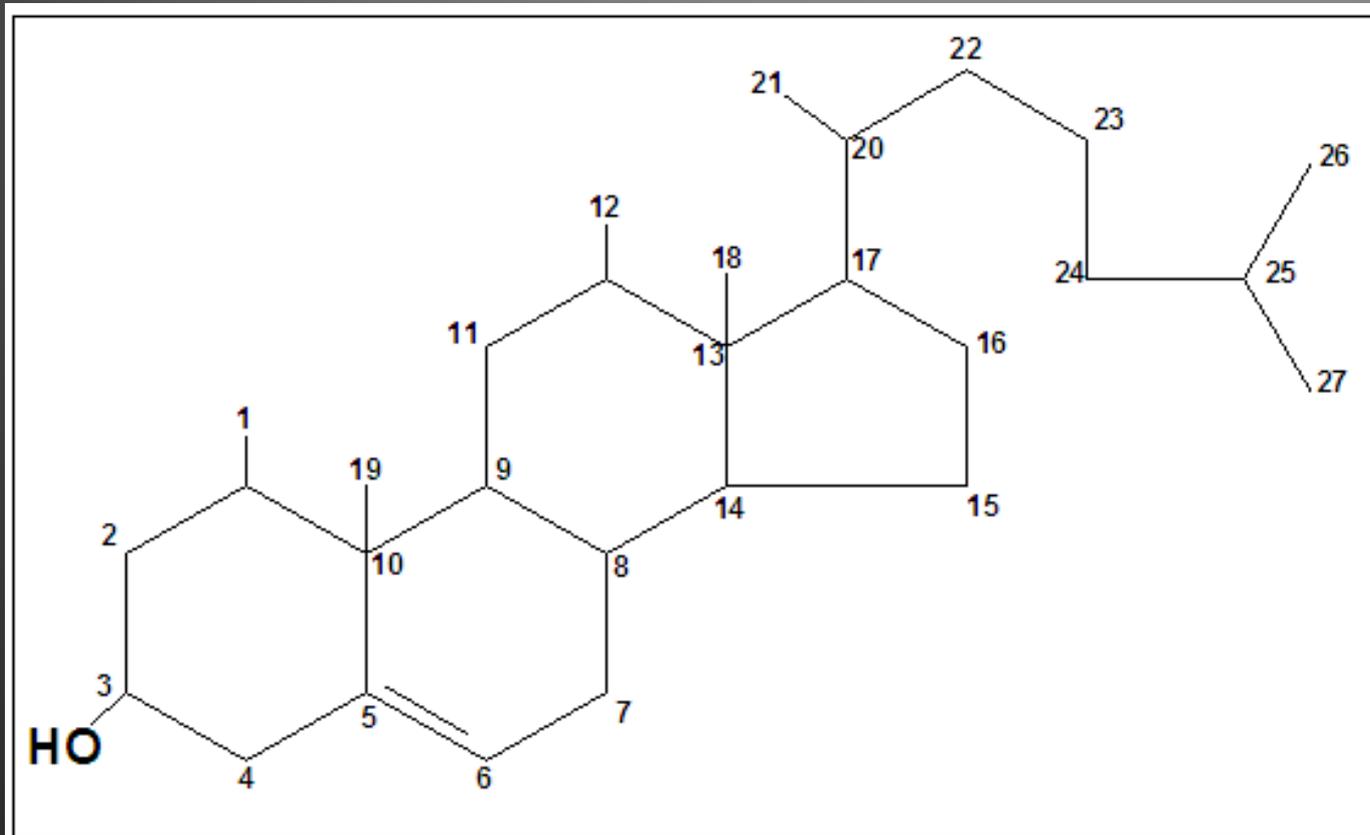


Figura #4. Estructura Química para la Colesterina. >>>

Tomado de Joachim Ufer, 1.972.

4. DESCRIPCIÓN DE HORMONAS ESTEROIDES_(cont.)

- ▶ Tomando a consideración el número de átomos de carbono, se dividen los esteroides en:
 - C₁₈-esteroides (derivados del estrano)
 - C₁₉- esteroides (derivados del androstano y del testano)
 - C₂₁- esteroides (derivados del pregnano y del alopregnano)
- ▶ Los esteroides tienen la característica de disolverse mal en agua, y en el plasma solamente en escasas proporciones (Joachim Ufer, 1.972).

4.1 Descripción de los andrógenos

- ▶ Los andrógenos pertenecen al grupo de los compuestos denominados C_{19} -esteroides. La testosterona, que es la hormona sexual masculina natural, se caracteriza por presentar un grupo hidroxilo (OH) en la posición de C_{17} (Figura #5); este compuesto sirve de referencia para la síntesis de algunos compuestos importantes que presentan efectos diferentes:
 - Mediante la esterificación con el ácido propiónico o con el ácido enántico, se obtienen compuestos androgénicos de elevada actividad, con diferente duración de su efectividad.

4.1 Descripción de los andrógenos

- Introduciendo un grupo metilo (CH_3) en posición C_{17} , se obtiene la metiltestosterona, andrógeno de gran efectividad por vía oral.
- Introduciendo un grupo etinilo ($-\text{C}\equiv\text{CH}$) en la posición de C_{17} , y además eliminando en forma simultánea el grupo metilo en la posición de C_{19} , se obtiene un gestágeno, activo por vía oral. Tanto los ovarios y testículos segregan testosterona (Ufer, 1.972).

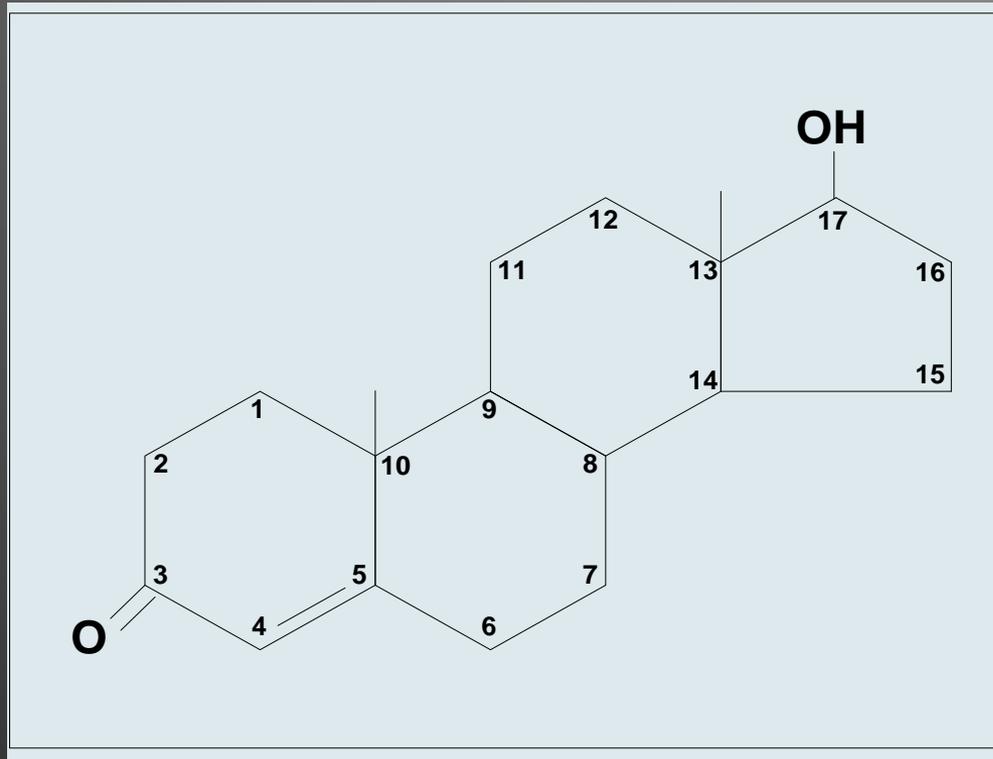


Figura #5. Estructura Química de la Testosterona. >>>

Tomado de Joachim Ufer, 1.972.

4.2 Acción farmacológica

- ▶ Los andrógenos actúan sobre los órganos y caracteres sexuales secundarios, tanto en el sexo masculino, así como también en el femenino. Poseen una potente acción metabólica. Su acción fundamental consiste en el desarrollo y mantenimiento de los órganos y caracteres sexuales secundarios masculinos como: comportamiento reproductor; maduración de gametos en machos (Lagler *et al.*, 1.984).
- ▶ Los andrógenos también contribuyen al crecimiento general y a la síntesis de proteína, tal como acontece con las proteínas miofibrilares, presentes en mayor cantidad en la masa muscular de los machos en relación a las hembras de muchos de los vertebrados (Eckert, *et al.*, 1.992). En el sexo femenino, se produce el fenómeno de virilización y puede inhibir y suprimir la maduración de los folículos ováricos.

4.3 Relación entre la estructura química y acción farmacológica

- ▶ Para que exista acción androgénica, es necesario que las sustancias deriven del androstano y posean oxígeno en la posición 3 y 17. La potencia androgénica aumenta cuando el oxígeno se encuentra en la posición del carbono 17, formando un grupo hidroxilo, dicha potencia se eleva agregando un halógeno como el flúor en posición 9 (Arias, 1.995).

4.3 Relación entre la estructura química y acción farmacológica (cont.)

- ▶ Una sustitución en las posiciones 1 y 2 y/o agregando un doble enlace en el anillo A del sistema anular esteroide, aumenta la acción anabólica y disminuye la androgénica, por lo que, se denominan anabólicos (Arias, 1.995).
- ▶ Agregado un grupo alquilo, que puede ser un metilo (CH_3) o etilo ($\text{CH}_3\text{-CH}_2$), en carbono 17, en posición trans o alfa; confiere al elemento actividad por vía bucal, pero también la propiedad eventual de provocar trastornos hepáticos (ictericia), en cambio si el grupo metilo se encuentra en la posición 1, el compuesto activo por vía bucal no afecta el hígado (Arias, 1.995).

4.4 Farmocinética

- ▶ Todos los andrógenos se absorben bien, aunque lentamente, por vía muscular en solución oleosa; son liposolubles y se separan lentamente del aceite. La esterificación con estas hormonas disminuye la velocidad de esta absorción, aumentando la duración de la acción y eficacia de las mismas. Preparados de testosterona son poco activos por vía oral, pues una vez absorbidos en el intestino, se metabolizan e inactivan en el hígado (Poulsen, 1.974; citado por Arias, 1.995); en cambio, los preparados de testosterona que poseen grupo metilo en el carbono 17, como la metiltestosterona, fluoximeterolona (Figura #9), oximetelona, estenozolal; o bien en el carbono 1, como la mesterolona, escapan a dicha inactivación y son activos por vía bucal (Arias, 1.995).

5 ANDRÓGENOS UTILIZADOS EN LOS PROCESOS DE REVERSIÓN QUÍMICA DEL SEXO



Dentro de la tecnología de producción de alevines monosexo de tilapia, se utilizan los andrógenos, que son activos por vía oral, con dosis de 60 miligramos por cada kilo de alimento preparado, cantidad estándar empleada en los trabajos de reversión química del sexo a escala comercial.

5. ANDRÓGENOS UTILIZADOS EN LOS PROCESOS DE REVERSIÓN QUÍMICA DEL SEXO

- ▶ En las actividades productivas de alevines monosexo de tilapia, se emplean las siguientes hormonas: Metiltestosterona (MT) y Etiniltestosterona (ET).
- ▶ 17α -Metiltestosterona (17β -hidroxi- 17α -metil-4-androstan-3-ona) es el andrógeno más utilizado en los procesos de reversión química de sexo, a escala comercial para la producción de alevines monosexo de tilapia, debido a la ventaja que presenta este fármaco, por su inmediata disolución de sus cristales en alcohol.

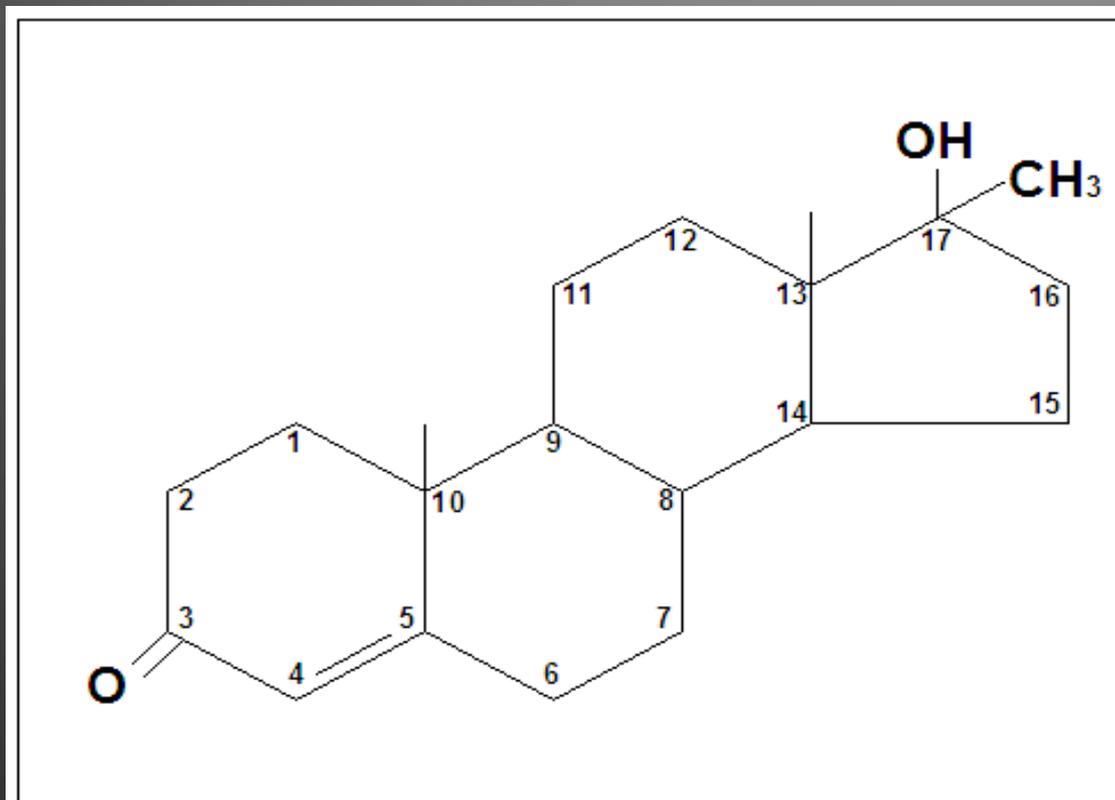


Figura #6. Estructura Química de la 17 Alfa-Metiltesterona. >>

Tomado de A. Arias, 1.995.

5. ANDRÓGENOS UTILIZADOS EN LOS PROCESOS DE REVERSIÓN QUÍMICA DEL SEXO (cont.)

- ▶ Con etinilttestosterona (17α -etinil- 17β -hidroxi-4-androstan-3-ona) (Figura #7), obtenemos resultados análogos a la metiltestosterona, aunque requiere de varias horas para que sus cristales puedan disolverse en alcohol a temperaturas del medio ambiente (Hepher y Pruginin, 1.985).

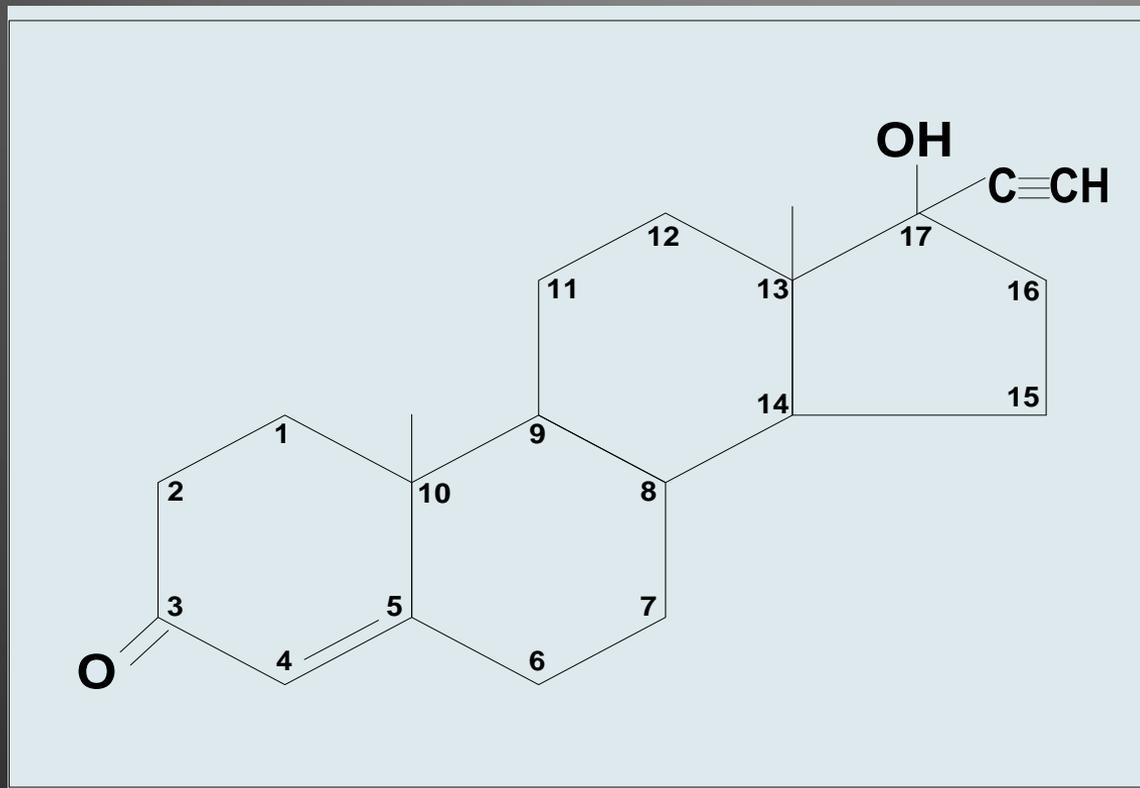


Figura #7. Estructura Química del Etiltestosterona. >>>

Tomado de A. Arias, 1.995.

5. ANDRÓGENOS UTILIZADOS EN LOS PROCESOS DE REVERSIÓN QUÍMICA DEL SEXO (cont.)

- ▶ La Mesterolona (17α -hidroxi- 1α -metil-5-androstano 3-ona) según trabajos de Arias, (1.995), demostró su eficacia como hormona, para sustituir la 17α -metiltestosterona. La mesterolona (ME), tiene la característica de poseer un grupo metilo en el carbono 1 (Figura #8).

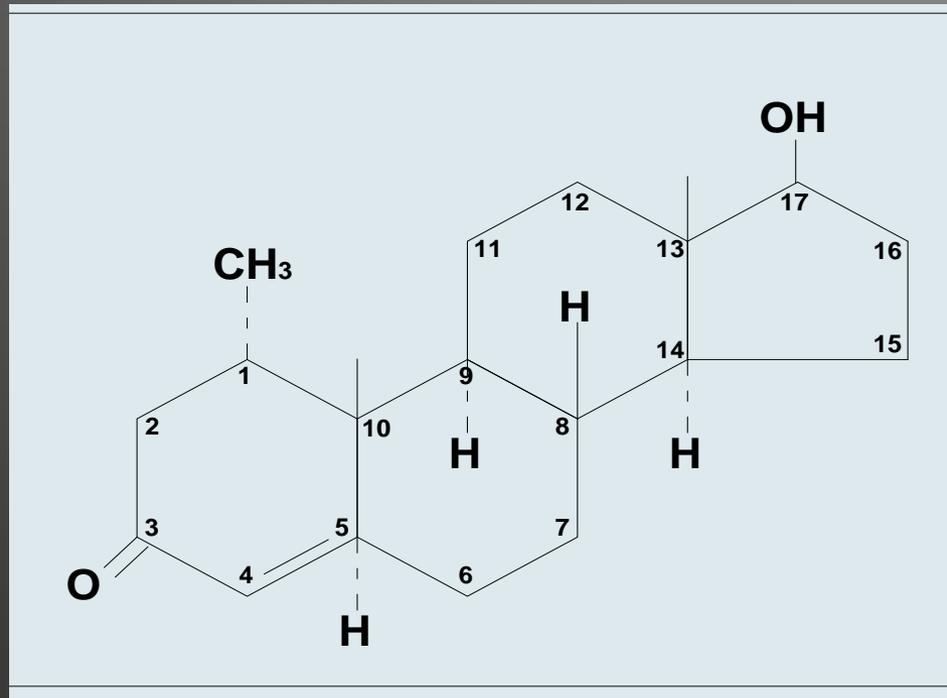


Figura #8. Estructura Química del Mesterolona. >>>

Tomado de A. Arias, 1.995.

5. ANDRÓGENOS UTILIZADOS EN LOS PROCESOS DE REVERSIÓN QUÍMICA DEL SEXO (cont.)

- ▶ La dosis establecida por Arias, 90mg por cada kilogramo de alimento, es un valor mayor al establecido para metiltestosterona (60mg/kg), este incremento en la dosis no es significativa en los costos de producción, sin embargo, por las cantidades incrementadas (>60mg/kg), éstas pueden ser utilizadas en la producción de alevines monosexo de peces de acuario. El uso de mesterolona en los procesos productivos a escala comercial de peces para consumo humano, necesitan los fundamentos técnicos que certifique la no existencia de efectos colaterales en la salud humana, por parte del incremento en el peso del análogo hormonal.

5. ANDRÓGENOS UTILIZADOS EN LOS PROCESOS DE REVERSIÓN QUÍMICA DEL SEXO (cont.)

- ▶ Moreno *et al.*, (2.003), establecieron el uso de Fluoximesterona con una dosis oral de 5mg por kilogramo de alimento, en sistemas cerrados de recirculación. Obtuvieron eficiencia en la reversión sexual con el 95% de machos.
- ▶ Además de los andrógenos descritos, se han desarrollado investigaciones con: Mibolerona, utilizando dosis de 2mg por kilogramo de alimento preparado; trembolona acetato, con dosis que van de 50 a 100mg por kilogramo de alimento preparado, trabajos efectuados por Phelps y Popma, 2.000; y mestanolona usando de 5 a 20mg/kg (Tomado de Castillo, L., 2.006).

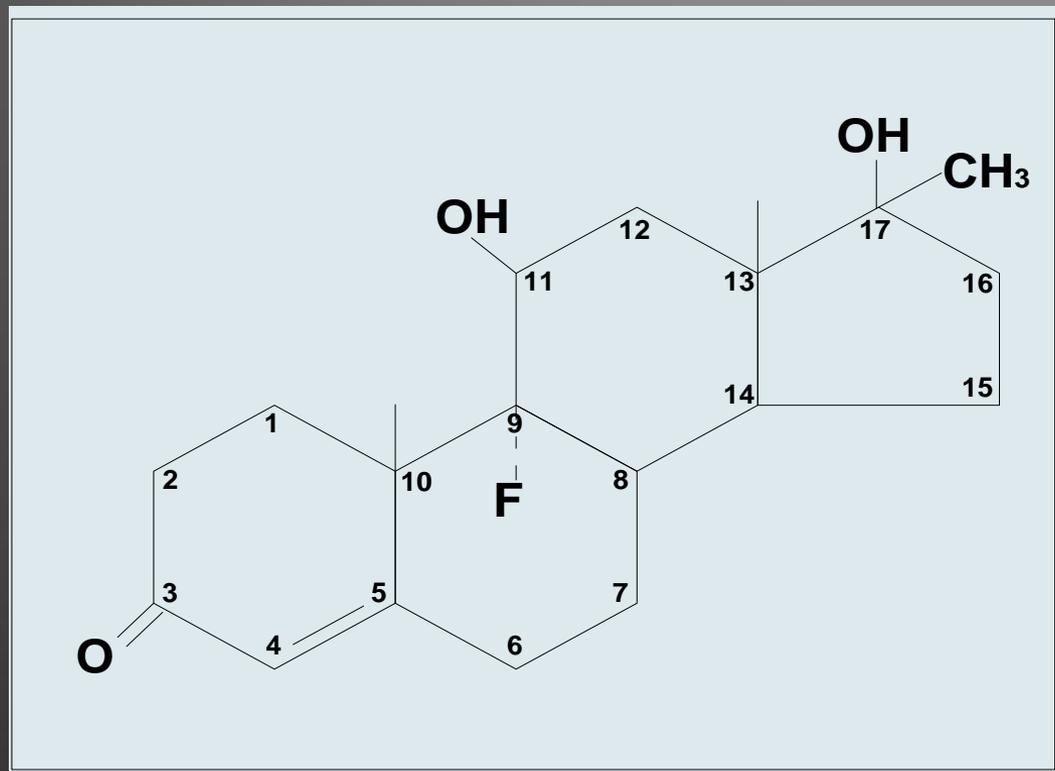


Figura #9. Estructura Química de la Fluoximesterona. >>>

Tomado de The Merck Index, 1.996.

6 PRODUCCIÓN DE ALEVINES MONOSEXO DE TILAPIA



La tecnología de producción de alevines monosexo de tilapia, busca contrarrestar la precocidad reproductiva de estos cíclidos, beneficiando el incremento de producción en los cultivos a escala comercial.

6.PRODUCCIÓN DE ALEVINES MONOSEXO DE TILAPIA

- ▶ La tendencia en aplicar la tecnología de producción de cultivos monosexuales va encaminada hacia individuos machos, por la ventaja que tienen estos peces en relación a las hembras. En la mayoría de tilapias, los machos tienen mayor crecimiento que las hembras, aun cuando se cultiven por separado (Hickiing, 1.968; Pruginin, 1.968; Shell, 1.968). Mabaye (1.971) y Fryer and Yles (1.972), confirman este hecho en varias especies y atribuyen esta característica a causas genéticas.

6.PRODUCCIÓN DE ALEVINES MONOSEXO DE TILAPIA (cont.)

- ▶ Las hembras por su capacidad precoz de reproducción, desvían mucha energía hacia la generación de los productos sexuales. En especies del género *Oreochromis*, la incubación bucal establece periodos de ayunos, que interfieren en los incrementos de peso de hembras. La técnica establece engordar poblaciones compuestas de por lo menos un 95% de machos para solucionar el problema de reproducción.

6.PRODUCCIÓN DE ALEVINES MONOSEXO DE TILAPIA (cont.)

- ▶ Las técnicas más usadas para la producción comercial de machos son:
 - Sexaje manual: apreciación visual de la papila genital.
 - Hibridación: cruzamiento o heterosis.
 - Reversión química del sexo: suministro de dietas con hormonas (andrógenos o estrógenos) para revertir el sexo de los animales para cultivo.

6.1 Sexaje manual

- ▶ Este es un procedimiento manual de relativa simplicidad, que permite separar los juveniles machos (30–40g), mediante el examen visual de la papila urogenital.
- ▶ El reconocimiento del dimorfismo sexual también se lo puede efectuar aplicando tinta china o azul de metileno, sobre la papila urogenital del pez (Piña, 1.993).

6.1 Sexaje manual (cont.)

- ▶ En el caso de los machos, la papila genital presenta un solo orificio, que es la uretra; mientras que las hembras, presentan dos orificios: la uretra y una ranura horizontal denominada oviducto genital (Figura #10).
- ▶ El aprendizaje del método no es complicado para los productores, pero requiere cierto adiestramiento del personal y un aumento de mano de obra; además se obtiene como resultando la subutilización del 50% de los peces examinados (hembras).

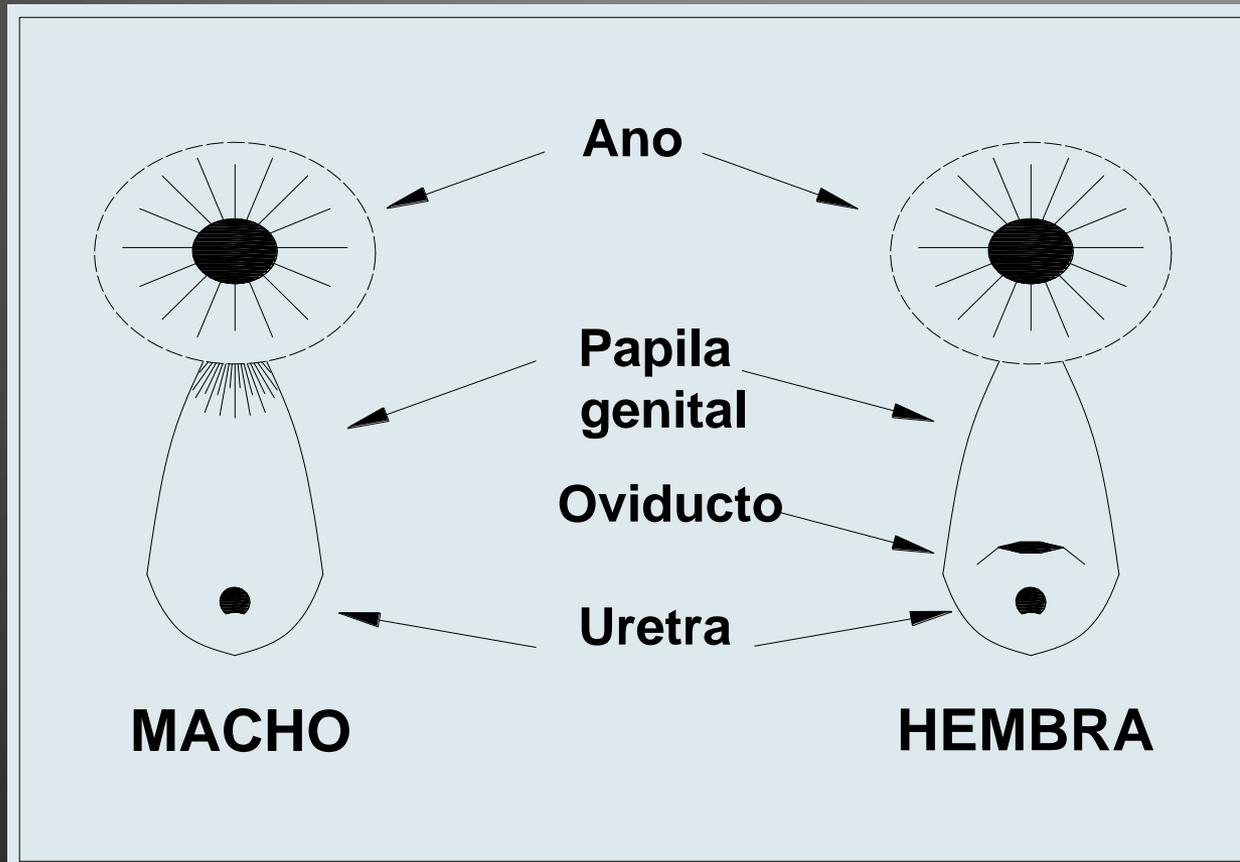


Figura #10. Genitales de Tilapia (*Oreochromis niloticus*). >>>

6.1 Sexaje manual (cont.)

- ▶ El éxito de un buen sexaje depende de la destreza del personal. Sin embargo, esta técnica ha resultado ser económicamente aceptable, en muchos países donde la mano de obra no incrementa en forma significativa los costos de producción de juveniles de tilapia (Espol, 1.988).

6.2 Hibridación

- ▶ Un híbrido se obtiene mediante el cruce de dos especies genéticamente diferentes. La obtención de híbridos en medio natural se encuentra imposibilitado por las siguientes causas:
 - Ubicación geográfica.
 - Incompatibilidad genética.
 - Incompatibilidad en el comportamiento.

6.2 Hibridación (cont.)

- ▶ El cruzamiento es realizado con la finalidad de obtener mejores combinaciones de alelos e incrementar el vigor híbrido (heterosis) en las especies, fundamentados en conceptos clásicos de genética como: poliploidia y transferencias de genes.

6.2 Hibridación (cont.)

- ▶ La aplicación de hibridación en el campo de producción acuícola ha sido la siguiente:
 - Producción de machos que eviten los problemas de sobrepoblación y enanismo que se presentan en los cultivos de ambos sexos en tilapia, ocasionados por la precocidad reproductiva de estos peces.
 - Incremento del vigor híbrido, con especies que tengan mejores atributos que sus progenitores (longitud, altura, peso, crecimiento, hábitos alimenticios, etc.).
 - Coloración externa atractiva de estos peces.

6.2 Hibridación (cont.)

- ▶ Los híbridos de tilapia, en algunos casos, alcanzan longitudes mayores que las de sus padres; éstos tienen la ventaja de aprovechar mejor los alimentos y soportar altas densidades en los cultivos intensivos.
- ▶ Inicialmente, los trabajos de hibridación en tilapia (Hickiing, 1.960) tuvieron como objetivo la producción de híbridos estériles, pero lo que se obtuvo fue híbridos 100% machos.

6.2 Hibridación (cont.)

- ▶ En la obtención de ejemplares machos por hibridación, sólo se ha tenido éxitos empleando reproductores homogaméticos como en el caso de:
 - Hembras homogaméticas (XX): *O. niloticus* u *O. mossambicus*; y
 - Machos homogaméticos (ZZ): *O. urolepis hornorum* u *O. aureus*

♀ \ ♂	Z	Z
X	XZ	XZ
X	XZ	XZ

Figura #11. Cuadrado de Punnett de cruzamiento homogamético entre *O. mossambicus* (XX) u *O. urolepis hornorum* (ZZ). Resultando un 100% de machos XZ.



6.2 Hibridación (cont.)

- ▶ En los cruces híbridos entre líneas puras de *O. aureus* macho (ZZ) con *O. nilotius* hembra, debido a la influencia autosómica, normalmente se obtiene máximo un 80–95% de machos.
- ▶ Los cruces heterogaméticos nunca producen generaciones 100% de machos (Hembra WX y machos WY; ZX y ZY). El factor Z que determina machos, tiene más influencia sobre el sexo que el factor X que determina hembras (Castillo, L., 2.006).

6.2 Hibridación (cont.)

- ▶ La condición básica, para la producción del 100% de alevines machos de tilapia, radica en que sus formas originales (progenitores) sean genéticamente puras. Establecido este requerimiento, se obtiene con certeza híbridos machos en un 100% (Morales, 1.991).
- ▶ En el campo productivo de tilapia, múltiples son los trabajos sobre cruzamiento que se han realizado para alevines machos (Tabla #3).

Hembra	Macho	% Machos	Año	Estado	Referencia
<i>O. mossambicus</i>	<i>O. urolepis h.</i>	100	1.960	-	Hickling, 1.960
<i>O. niloticus</i>	<i>O. urolepis h.</i>	100	1.968	Israel	Hepher y Pruginin, 1.985
<i>O. niloticus</i>	<i>O. aureus</i>	100	1.967	Israel	Yashouv y Halevey, 1.967
<i>O. aureus</i>	<i>O. mossambicus</i>	75	1.976	Oaxaca	Delgadillo TMD, 1.975
<i>O. mossambicus</i>	<i>O. hornorum</i>	75	1.984	Nayarit	De la Paz, O., 1.985
<i>O. mossambicus</i>	<i>O. hornorum</i>	75	1.983	Guerrero	Mercado C. 1.987. Con Per.
<i>O. niloticus</i>	<i>O. mossambicus</i>	80	1.987	Tabasco	Galvan V. 1.987. Con Per.
<i>O. mossambicus</i>	<i>O. hornorum</i>	83	1.982	Morelos	Castañeda C. 1.987. Con Per.
<i>O. niloticus</i>	<i>O. hornorum</i>	80	1.987	Oaxaca	Perez Galicia. 1.987. Con Per.

Tabla #3. Hibridación de Tilapia. >>

Fuente: Armando Morales (CIB) 1.991 y Castillo, L., 1.994.

6.3 Reversión química del sexo

- ▶ Es otra técnica aplicada para la producción de postlarvas macho en tilapia, bajo el suministro de un andrógeno durante el corto lapso que dura la inestabilidad sexual en tilapias. Con el uso de complejos hormonales se puede revertir, casi en su totalidad, la población a machos (>95%).
- ▶ En la etapa inicial, la tecnología experimentó muchos métodos, tales como: inmersión de postlarvas en solución hormonal (Eckstein y Spira, 1.965); o, aplicación de inyecciones con solución hormonal (Hepher and Pruginin, 1.985).

6.3 Reversión química del sexo (cont.)

- ▶ El método más eficaz es suministrar oralmente el complejo hormonal, que es fijado en una dieta con los requerimientos alimenticios que necesitan las postlarvas (Guerrero, 1.975). Este complejo es suministrado antes que los tejidos de las gónadas se diferencien en testículo u ovario. Después de 28 días de tratamiento, todos o casi todos los peces (>95%) han sido químicamente reversados a machos.
- ▶ La metodología que a continuación se detalla, es un proceso tecnológico que se emplea con éxito en los centros de producción de Espol; y ha servido de soporte técnico dentro del marco productivo de postlarvas monosexo en Ecuador; así mismo, éste ha sido un marco referencial en la producción de alevines monosexo en importantes centros de producción internacional.

6.3.1 Estanque para reproducción

- ▶ Las piscinas empleadas durante la etapa reproductiva presentan superficies que varían de 0.01 a 1 hectárea, con una profundidad media de 1m. Es necesario un buen suministro de agua; el fondo del estanque debe presentar una buena pendiente (1-2%) para una eliminación completa y rápida del nivel de agua en la piscina; la caja de pesca debe ser construida preferentemente de cemento, y debe facilitar la captura de las post-larvas y evitar la erosión en la piscina, la cual debe tener un punto para evacuar y controlar el nivel de la columna del agua (Figura #12).

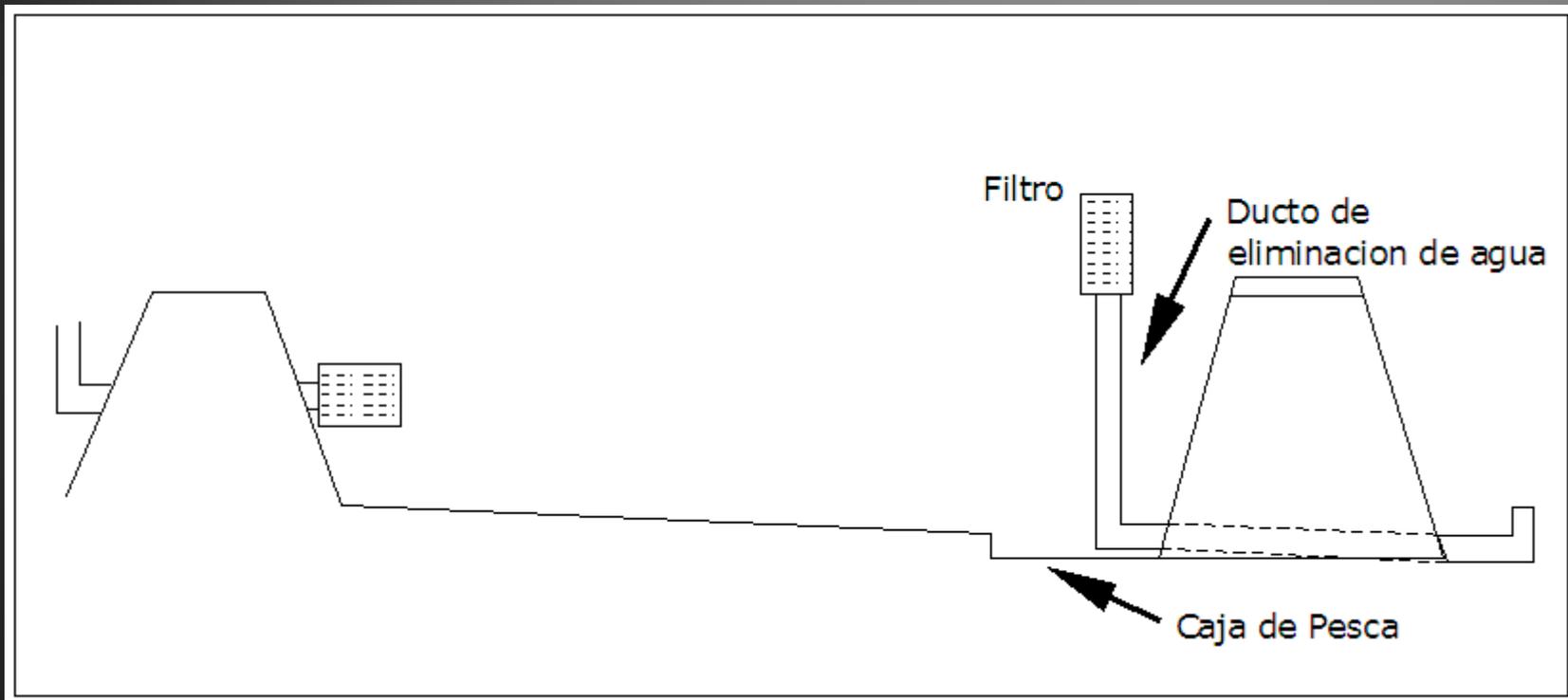


Figura #12. Estanque de Reproducción. >>

6.3.2 Preparación de estanque

- ▶ Para iniciar un ciclo de reproducción, es necesario preparar el estanque tomando en consideración el respeto a ciertas normas, las cuales repercutirán con éxito en las posteriores actividades.
 - a) **Desbroce de vegetación**
 - La abundante vegetación dificulta el movimiento de peces, limita la producción primaria, deteriora la calidad del agua en el estanque, reduce los espacios; además, las plantas acuáticas son excelente refugio para organismos indeseables para el cultivo. El desbroce en el fondo del estanque facilita las faenas de captura de postlarvas.

6.3.2 Preparación de estanque

- **b) Eliminación de peces e invertebrados depredadores**
- Los peces e insectos acuáticos depredadores pueden causar pérdidas considerables si no se toman medidas pertinentes, especialmente durante los primeros estadios postlarvales. Es necesario que el lecho del estanque, los nidos y la caja de pesca sean depurados de organismos extraños al cultivo. El cloro granulado (hipoclorito de calcio), en dosis de 10 a 20g por m³ (Popma and Green, 1.990) y aplicado uniformemente sobre la superficie del estanque, combate efectivamente los organismos no deseados.
- **c) Colocación del arte de pesca para la captura de reproductores**
- Para capturar los reproductores se coloca en la caja de pesca una red con luz de malla de 3cm de diámetro, la misma que es extendida sobre toda la superficie de la caja antes de elevar el nivel del agua en el estanque (Figura #13). La malla facilitará la captura de los reproductores al final del proceso de reproducción.

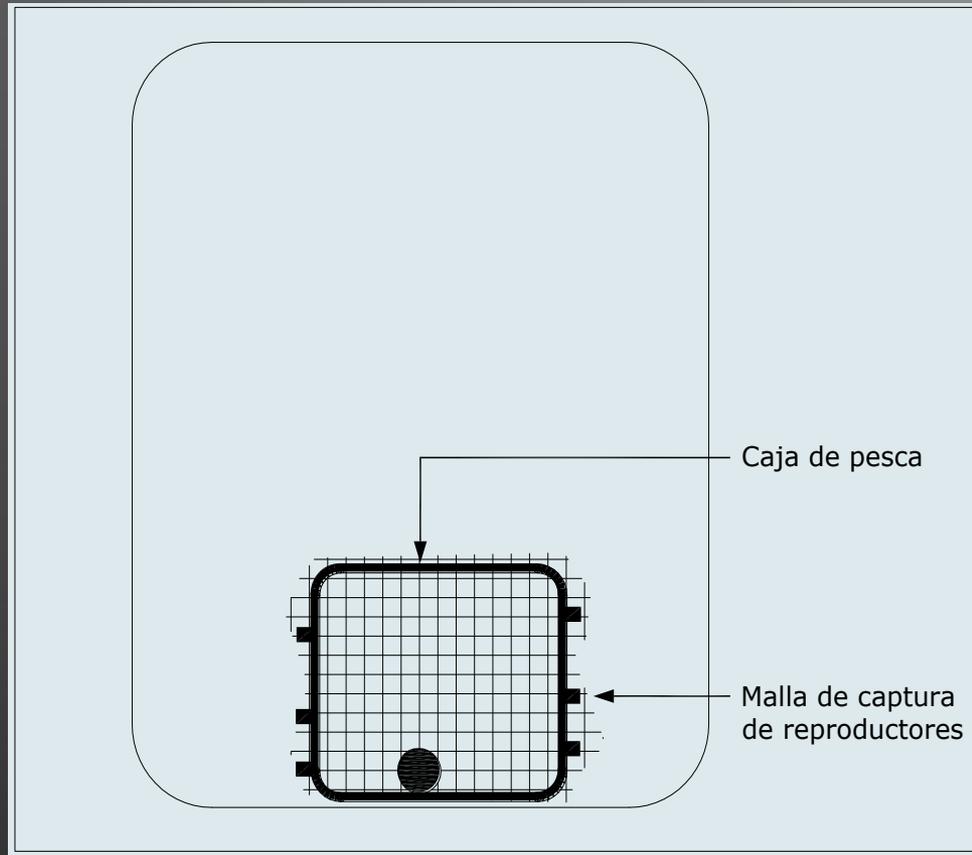


Figura #13. Estanque para Reproducción con el Arte de Pesca (vista superior). >>>

6.3.2 Preparación de estanque

- **d) Nivel del agua en el estanque**
- Luego de preparar el estanque, se eleva el nivel del agua en la piscina, para efecto colocamos en la entrada del agua filtros con diámetro de 1,4mm para evitar así el ingreso de depredadores y organismos extraños al cultivo. Para el ciclo reproductivo, es necesario elevar el nivel del agua en el estanque entre 60–70cm (Figura #14).

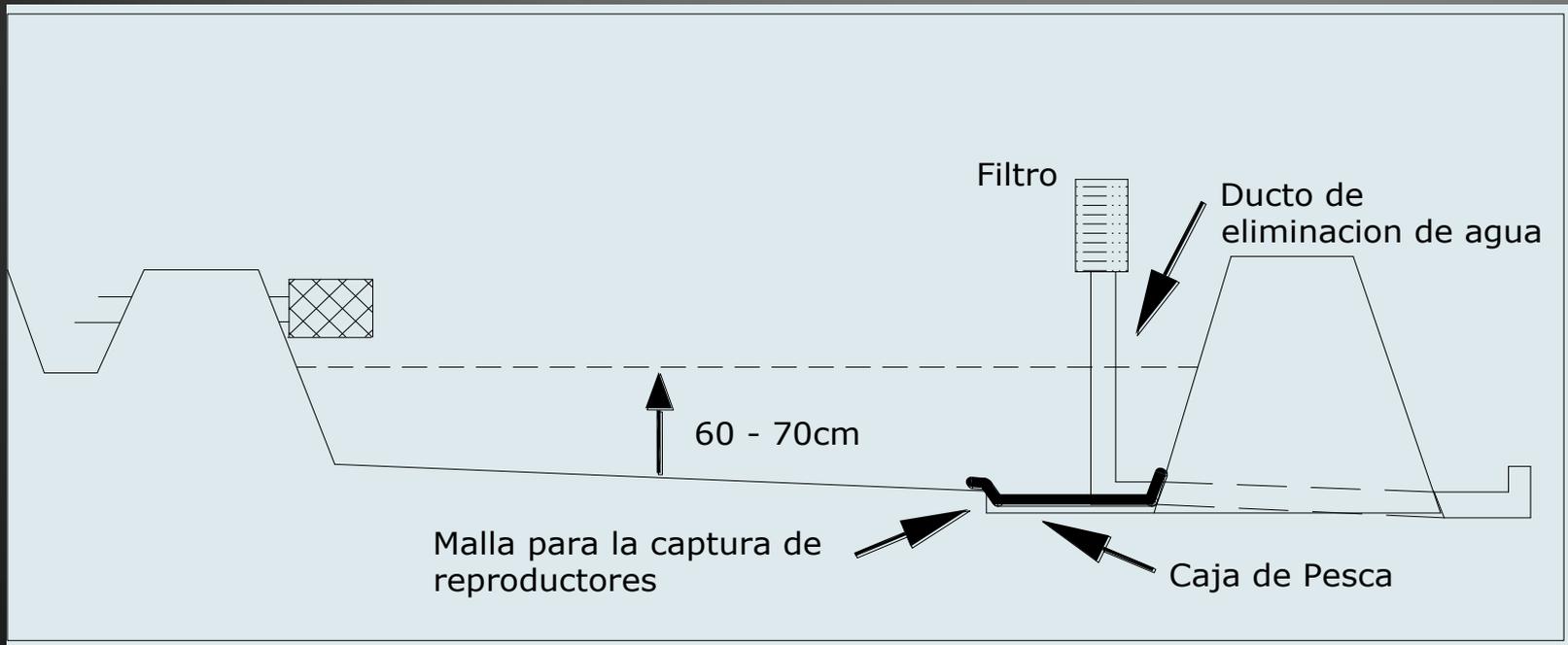


Figura #14. Estanque para Reproducción con el Nivel del Agua Necesario. >>>

6.3.3 Selección de reproductores

- ▶ Los aspectos más importantes en todo sistema de producción piscícola a gran escala, son la selección y el manejo de reproductores (FAO, 1.986a). La selección de reproductores se define como la separación consciente de un individuo o grupo genético para asegurar la descendencia en cultivos o refuerzo de poblaciones naturales. La aplicación adecuada de los métodos de un programa de cría puede llevar a resultados útiles y deseados en economía y ecología, al mismo tiempo se mantiene la variabilidad genética en la población (Arredondo *et al.*, 1.994).

6.3.3 Selección de reproductores (cont.)

- ▶ Castillo (1.994) establece el empleo de los caracteres fenotípicos y genotípicos para seleccionar los padrotes. Los caracteres externos de importancia dentro de la selección de reproductores en general son:
 - Buena talla y peso: direcciona la estrategia del sistema de cruces.
 - Ejemplares saludables: garantiza generaciones vigorosas.
 - No deben presentar heridas o ulceraciones en el cuerpo: disminuye el riesgo de presencia de microorganismos oportunistas en las nuevas generaciones.

6.3.3 Selección de reproductores (cont.)

- Ausencia de deformaciones en el cuerpo o en aletas: disminuye el riesgo de la presencia de genotipos asociados a malformaciones o deformidades.
- Libre de parásitos: garantiza la exclusión de parásitos dentro del proceso de selección.
- Distribución normal de escamas: afianza la homogeneidad del patrón genético estándar de escamas en el cuerpo del animal.

6.3.3 Selección de reproductores (cont.)

- ▶ En trabajos para reproducción a escala comercial, la selección de los reproductores debe realizarse cuando los ejemplares sobrepasan los 200g de peso y reúnan las características externas anteriormente mencionadas.



6.3.4 Lote de reproductores

- ▶ El proceso reproductivo de tilapias se efectúa en estanques de tierra en forma natural en donde se utiliza un masivo lote de reproductores, debido a su baja fecundidad y alta precocidad sexual.
- ▶ En la tecnología de producción de alevines monosexo se establece 1.000 kilogramos en peso de reproductores de tilapia por hectárea.

6.3.5 Relación sexual

- ▶ La relación óptima de hembras con respecto a machos es de 3 a 1. Un déficit de hembras proyecta implantar ciclos de obtención de postlarvas con relaciones de 2:1 ó 1:1, que repercute en obtener un número menor de postlarvas.

6.3.6 Duración del ciclo de reproducción

- ▶ Efectuada la transferencia de reproductores a los estanques para reproducción, el tiempo establecido para la obtención de postlarvas es de 21 días. Durante el periodo de reproducción, los padrotes son alimentados con balanceado comercial del 30% de proteína bruta (PB), con una tasa diaria de alimentación del 3% en relación con la biomasa existente en el estanque, considerando para los cálculos que el suministro diario de alimentación es solo el 50% de la población, puesto que se prevé que el 50% restante se encuentra en fase reproductiva.

6.3.7 Captura de postlarvas

- ▶ Transcurridos 21 días necesarios para la obtención de postlarvas, las faenas para su captura se inician con la evacuación del nivel del agua en el estanque, procurando mantener el agua a nivel de la caja de pesca. Seguidamente, se capturan los reproductores que están confinados en la caja de pesca, los cuales serán transferidos a otras instalaciones transitorias (jaulas de mantenimiento), hasta el inicio de un nuevo ciclo de reproducción. Luego se realiza la captura de postlarvas con artes de pesca de mano (challos con diámetro de malla de luz de 1.4mm), efectuando la captura por la parte periférica de la caja de pesca. Las postlarvas capturadas son transferidas al clasificador para postlarvas. Las actividades destinadas a la cosecha se planificarán durante las primeras horas de la mañana, debido a las condiciones favorables de temperatura.

6.3.8 Selección de postlarvas

- ▶ Las postlarvas capturadas son seleccionadas usando un clasificador ("LANZAM"; ver Foto #3) construido con tubos de PVC y con malla metálica (diámetro de 3.2mm).
- ▶ Las postlarvas que logran atravesar la malla (considerando la altura del pez) poseen una longitud de entre 7 a 11mm, siendo éstas aptas para los procesos de reversión química del sexo (Gráfico #3).

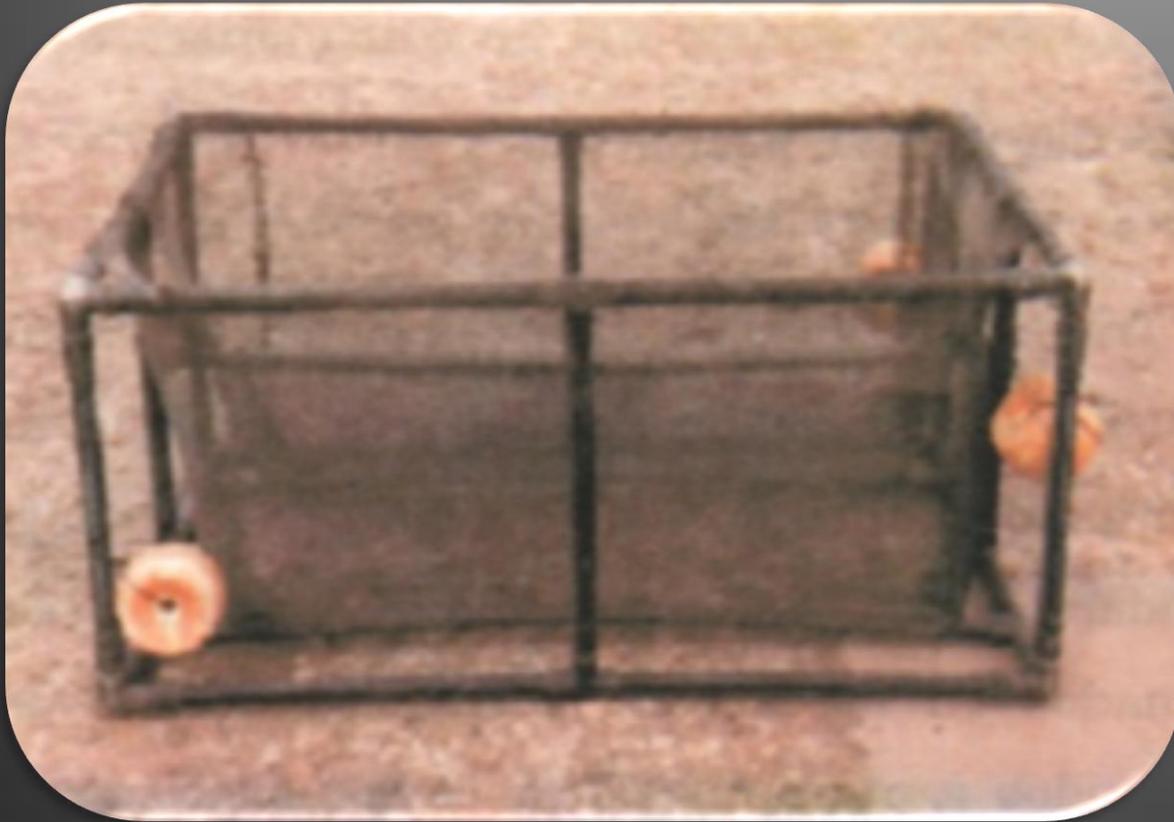


Foto #3. Clasificador "LANZAM" para Separar Postlarvas. >>>

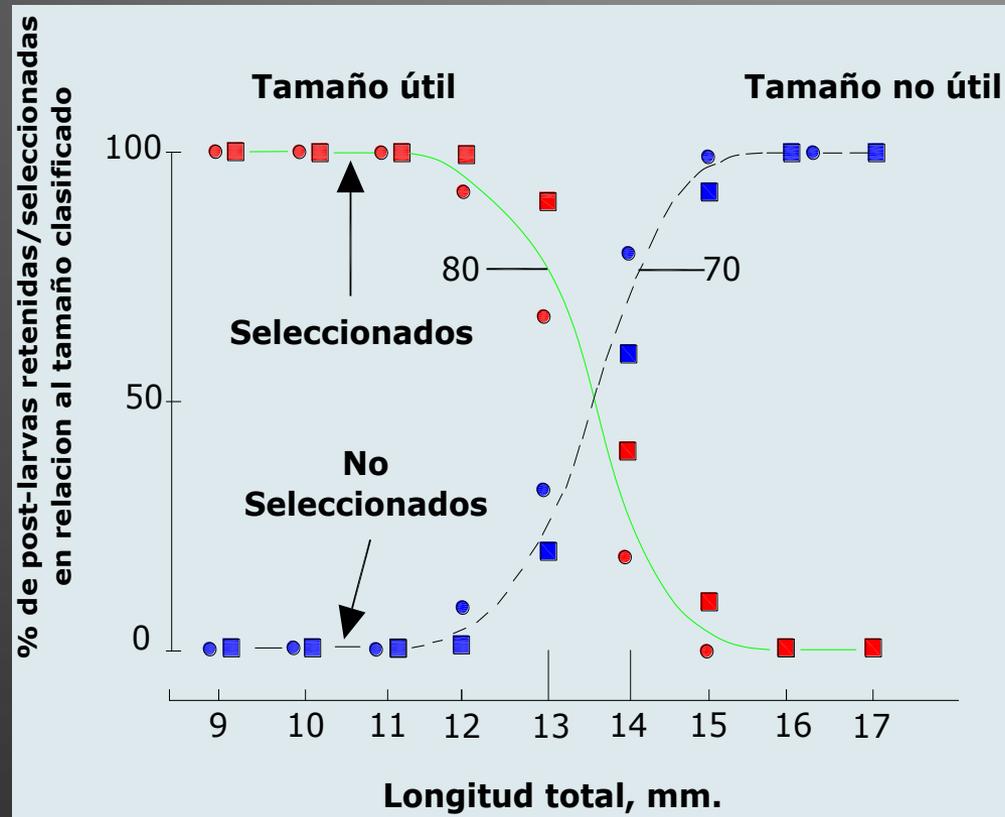


Gráfico #3. Porcentaje de postlarvas que atraviesan el clasificador en función de su talla (tomado de Popma T, 1.987).



6.3.9 Transferencia de postlarvas a los módulos de reversión

- ▶ Las postlarvas a reversar son mantenidas en jaulas en estanque de tierra; para aplicar esta técnica los peces en tratamiento se incorporan en un ciclo biológico de producción. La energía solar, necesaria para los procesos de fotosíntesis, proporciona oxígeno; contribuyendo en la producción de materia orgánica vegetal en la piscina, que sirve de alimento ocasional para postlarvas y proporcionan estabilidad en los parámetros que influyen en la cadena trófica.

6.3.9 Transferencia de postlarvas a los módulos de reversión (cont.)

- ▶ Luego de clasificar las postlarvas, se las cuantifica previo a su transferencia a los módulos de reversión. El conteo se realiza por el método de comparación, tomando para el efecto, un patrón con un número conocido (1.000 a 2.000 postlarvas); luego de la cuantificación, éstas son transferidas a las jaulas de reversión.
- ▶ El módulo de reversión está compuesto de las siguientes partes:
 - **a) Estructura de soporte:** Los flotadores utilizados son dos tubos de PVC de 6 pulgadas de diámetro, con viguetas paralelas de madera (2x2 pulgadas), como unidad de soporte para las jaulas de reversión (Figura #15).

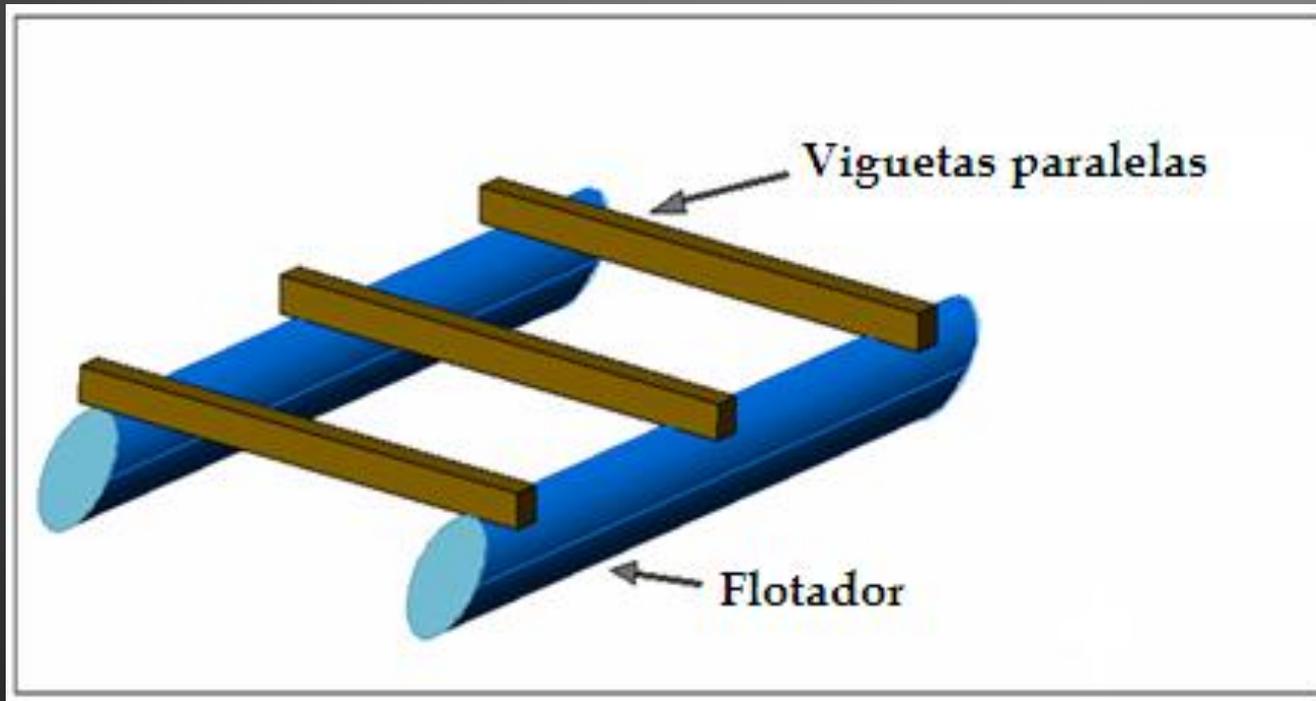


Figura #15. Estructura de Soporte para el módulo de reversión. >>

6.3.9 Transferencia de postlarvas a los módulos de reversión (cont.)

- **b) Jaulas de reversión:** Las jaulas utilizadas en el proceso de reversión química del sexo, tienen 3m² de superficie y 0,7m de profundidad, que se sujetan a las estructuras de soporte de madera. Las jaulas están construidas con red de 1,5mm de ojo de malla (Figura #16).
- **c) Rejilla de protección:** El módulo de reversión se complementa con una rejilla de bambú o malla plástica, que cubre el 70% de la superficie de las jaulas. La rejilla suministra sombra y protege las postlarvas de las aves depredadoras (Figura #17).

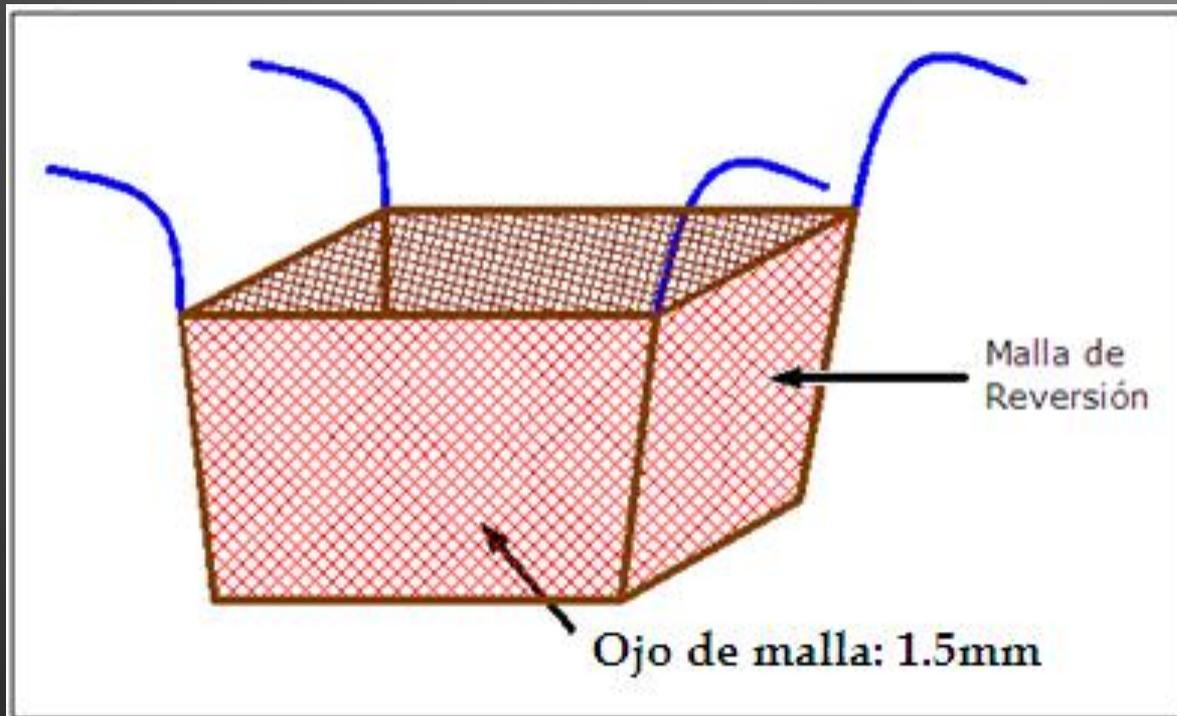


Figura #16. Jaula de Reversión Química. >>

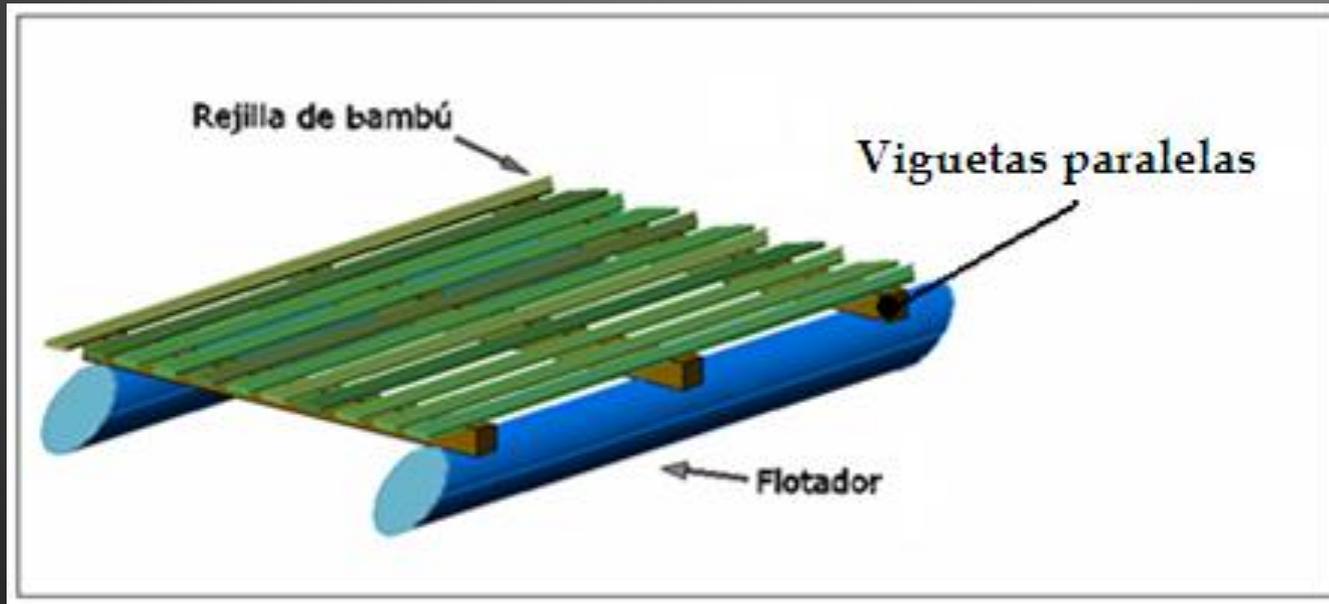


Figura #17. Estructura de Soporte con Rejilla de Bambú. >>

6.3.9 Transferencia de postlarvas a los módulos de reversión (cont.)

- **d) Otras infraestructuras:** Además de las jaulas, el proceso de la reversión química del sexo se lo puede realizar en diferentes infraestructuras que pueden variar, desde piletas de cemento, cuadradas y circulares, hasta estanques de 200m².
- Dado que las postlarvas son susceptibles a cambios de temperatura, es importante que este parámetro sea lo más constantes durante el proceso de reversión química. Esto se consigue con la construcción de estanques de tierra, el uso de invernaderos o manteniendo una columna baja del nivel de agua en el estanque, para así mantener temperaturas altas (sobre los 26°C) y estables.

6.3.9 Transferencia de postlarvas a los módulos de reversión (cont.)

- ▶ **d.1) Estanques de concreto.** Los trabajos de reversión química del sexo en este tipo de infraestructura, es mejor controlada desde el punto de vista del manejo de las poblaciones, sin embargo el manejo sobre la calidad del agua se vuelve más sensible, por el riesgo de mortalidades por infección ocasionadas por hongos, bacterias y protozoarios; a más de la vulnerabilidad debido a la variación del amonio, nitritos y oxígeno. Por lo antes mencionado, es importante un manejo que involucre tratamientos preventivos y profilácticos, como el uso del formol; además de realizar limpieza diaria para retirar restos de la alimentación y recolección de los animales muertos.

6.3.9 Transferencia de postlarvas a los módulos de reversión (cont.)

- Normalmente las mortalidades han sido reportadas entre el día 12 y 14 del tratamiento hormonal; en especial, en estanques que al inicio no han sido debidamente lavados y desinfectados.
- Las densidades de transferencia de las postlarvas que se utilizan en este tipo de sistema de producción oscila entre los 500 a 2.000 animales/m² ó más, dependiendo de las condiciones de la calidad y capacidad de recambio de agua (Cantor, 2.007). En este último caso se debe asegurar de tener una capacidad de recambio intensivo. Algunos investigadores trabajan con una dosis hormonal de 30 a 45 mg/kg de alimento (Cantor, 2.007). A pesar de lo manifestado, se recomienda que la dosis no sea menor de 60 mg/kg de alimento.



Foto #4. Estanques de cemento (FIMCM-ESPOL) utilizados para la reversión química de sexo. >>>

Fotografía: Jonathan Castro.

6.3.9 Transferencia de postlarvas a los módulos de reversión (cont.)

- **d.2) Canaletas.** Este sistema de producción, se presenta eficiente, igual que el anterior; sin embargo, se manejan volúmenes de producción más bajos, lo que hace necesario aumentar el número de canaletas, por lo que existe un incremento en costos de inversión y mano de obra. Las densidades reportadas son de 500 a 3.700 postlarvas/m³ (Cantor, 2.007).



Foto #5. Canaletas utilizadas para la reversión química en postlarvas. >>

Tomado de Cantor, 2.007.

6.3.9 Transferencia de postlarvas a los módulos de reversión (cont.)

- ▶ **d.3) Estanques de tierra.** Ésta se presenta también como una alternativa, en donde el costo de la infraestructura y mano de obra son más económicos. Las densidades de transferencia van desde las 200 hasta las 500 postlarvas/m².



Foto #6. Estanques de tierra utilizados para la reversión sexual. >>

Tomado de Cantor, 2.007.

6.3.10 Administración de la hormona para reversión química del sexo

- ▶ Prosiguiendo con el proceso de producción de postlarvas reversadas, la siguiente etapa consiste en suministrar una dieta nutricionalmente completa y que contenga los niveles de hormona masculina requerida.
- ▶ Históricamente, las operaciones para reversión química del sexo estuvieron restringidas a instalaciones con agua limpia, o tanques internos para evitar la posible dilución de los niveles de hormona en la sangre como resultado de la ingestión del alimento natural en los estanques. Esta precaución impuso una restricción para la aplicación de la tecnología; debido a la necesidad de contar con un laboratorio que estuviera provisto con agua de pozo o el uso de filtros adecuados. Sin embargo, durante 1.982–1.983, tanto técnicos israelitas como norteamericanos demostraron experimentalmente que la presencia de abundante alimento natural en suspensión, tal como ocurre en los estanques de tierra, no interfieren en los niveles de acción de la hormona, y se puede obtener una exitosa reversión de sexo (Popma, 1.987).

6.3.1 1 Ingredientes utilizados en la dieta para reversión química del sexo

- ▶ Los insumos empleados para elaborar una dieta con hormona son de fácil adquisición en el mercado local; a excepción de la hormona que tiene que ser importada. La cantidad requerida de insumos para preparar 1 kg de dieta se especifican en la tabla # 4.

Ingredientes	Unidad	Cantidad
17 α -Metiltestosterona	mg	60
Alcohol potable	ml	700
Harina de pescado (55% - 65% PB)	g	500
Balanceado para pollo (19% - 21% PB).	g	500
Premezcla de vitaminas	g	1

Tabla #4. Insumos Utilizados en la Elaboración de la Dieta para los Procesos de la Reversión Química del Sexo de Tilapia. Los datos mostrados son requeridos para preparar 1 kg de alimento.



6.3.1 1 Ingredientes utilizados en la dieta para reversión química del sexo (cont.)

- ▶ La harina de pescado, así como el balanceado para pollo, son molidos y tamizados a través de una malla de 1mm de diámetro; de esta manera se homogeniza el tamaño de las partículas de los insumos mencionados, guardando relación con el tamaño de la boca del pez. La hormona es diluida en su totalidad en alcohol potable, previo a su mezcla con los ingredientes.
- ▶ Los ingredientes son mezclados con la solución de la hormona; posteriormente, esta mezcla es secada al ambiente y mantenida en seco para su uso.

6.3.12 Determinación de la ración alimenticia de la dieta con hormona

- ▶ Los valores diarios de la ración alimenticia, con la dosis hormonal para postlarvas, se realiza en función de su relación longitud-peso; establecidos en la ecuación de Guerrero (1.975) para *Oreochromis niloticus*.
- ▶ Los valores de incrementos diarios en longitud, peso, tasa de alimentación y otros, se detallan en la tabla #5. Estos datos fueron establecidos en ensayos previos al crecimiento de postlarvas en piscina de tierra (gráfico #4). La tabla de alimentación se ajustó semanalmente en función de los muestreos de crecimiento en longitud de los peces.

6.3.12 Determinación de la ración alimenticia de la dieta con hormona (cont.)

- ▶ El alimento calculado, con uso de la ecuación de Guerrero (1.975), se refleja en la tabla #5. La ración establecida es dividida en cuatro porciones diarias con horarios de: 08H00, 10H00, 12H00 y 16H00. La dieta con el complejo hormonal es suministrada en forma continua por 28 días, que es el tiempo necesario para que el proceso de reversión química del sexo en tilapias sea eficiente.

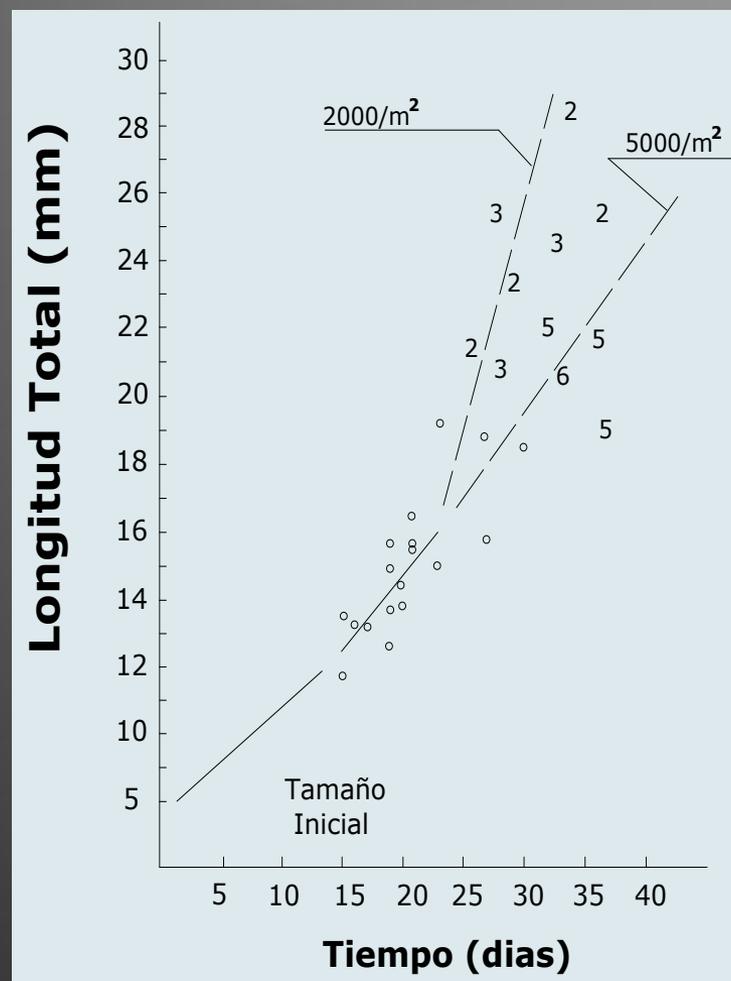


Gráfico #4. Grado de crecimiento durante la reversión química en piscina de tierra (Tomado de Popma, T., 1.987)



Día	Long. Inicial (mm)	Peso (g)*	Tasa alimento (%)	g/día c/10 ³ alevines	Acumulado g c/10 ³
1	8,0	6,1	20	1,2	1
2	8,3	6,9	20	1,4	3
3	8,6	7,7	20	1,5	4
4	8,9	8,6	20	1,7	6
5	9,2	9,6	20	1,9	8
6	9,5	10,6	20	2,1	10
7	9,8	11,8	20	2,4	12
8	10,1	13,0	20	2,6	15
9	10,4	14,3	20	2,9	18
10	10,7	15,6	20	3,1	21
11	11,0	17,1	20	3,4	24
12	11,3	18,6	20	3,7	28
13	11,6	20,3	20	4,1	32
14	11,9	22,0	20	4,4	36
15	12,2	23,0	20	4,6	41
16	12,5	25,8	20	5,2	46
17	13,0	29,3	20	5,9	52
18	13,5	33,1	20	6,6	59
19	14,0	37,3	20	7,5	66
20	14,5	41,7	20	8,3	74
21	15,0	46,6	20	9,3	84
22	15,5	51,8	20	10,4	94
23	16,0	57,4	20	11,5	106

Tabla #5. Crecimiento y alimentación para reversión química del sexo en *Tilapia nilótica* (*Oreochromis niloticus*). >>>

24	16,8	67,1	19	12,7	118
25	17,6	78,0	18	14,0	132
26	18,4	90,1	17	15,3	148
27	19,2	103,3	16	16,5	164
28	20,0	117,9	15	17,7	182
29	20,8	133,8	14	18,7	201
30	21,6	151,2	13	19,7	220
31	22,4	170,0	12	20,4	241
32	23,2	190,4	11	20,9	262
33	24,0	212,5	10	21,3	283
34	24,8	236,2	10	23,6	307
35	25,6	261,7	10	26,2	333
36	26,4	289,1	10	28,9	362



Estación Piscícola El Chame

Postlarvas en jaula en estanque abierto a densidad de 4.000/m²

* = El peso (según fórmula) es por cada 1.000 postlarvas

Peso (g/1.000) = Lt(mm)³,23 × 0,0074

6.3.13 Control en el desarrollo de postlarvas

- ▶ Durante el desarrollo del tratamiento de los peces a reversar, es preciso controlar regularmente el crecimiento en postlarvas. Transcurridos los 10 primeros días se realiza un muestreo para determinar los valores absolutos de las longitudes que permitan reajustar nuevas cantidades de raciones alimenticias; además se aprovecha estas actividades para determinar el estado de salud y detectar la presencia de parásitos externos de los peces en tratamiento.
- ▶ Es preciso que durante el proceso exista un chequeo de los módulos, en especial de las jaulas de reversión, para realizar limpieza evitando el taponamiento de los ojos de malla ocasionado por las algas, y para detectar roturas de las mismas.

6.3.14 Cosecha de alevines

- ▶ El tratamiento de postlarvas para reversión química del sexo es continuo hasta que el tejido gonadal, en las postlarvas, se halle definido en testículo. Transcurridos los 28 días que dura el tratamiento, los alevines deberán adquirir un peso de 0,2–0,4g y de 2,5–4cm de longitud. Los alevines son capturados directamente de las jaulas y transferidos a las piscinas de precría.

6.3.15 Estimación del número de alevines

- ▶ Para determinar el número existente de alevines almacenados en la jaula de reversión, se procede en base a un volumen de un número de peces. Para estos trabajos se selecciona un colador y se cuenta uno a uno hasta llenarlo completamente con peces (FAO, 1.986b), conocido el número de peces existente en el tamiz, éste servirá como patrón de referencia para calcular los animales mantenidos en la jaula.
- ▶ Los alevines cuantificados son transferidos en baldes o tanques de transportación, tomando medidas de seguridad pertinentes según el caso, tales como: buena aireación en los tanques, densidad de animales adecuada, entre otras. Los alevines en el estanque de precría permanecerán hasta completar el estadio juvenil, posteriormente serán transferidos a estanques para engorde hasta que alcancen la talla comercial necesaria.

7 FACTORES FÍSICOS QUE AFECTAN A LA REVERSIÓN QUÍMICA DEL SEXO



La factibilidad técnica de reversión química del sexo en tilapia, ha sido ampliamente demostrada, pero muchos de los aspectos del procedimiento, tradicionalmente sugeridos, son precauciones lógicas adaptadas para reducir las posibles fuentes de error dentro de los procesos de producción de alevines reversados.

7 FACTORES FÍSICOS QUE AFECTAN A LA REVERSIÓN QUÍMICA DEL SEXO

- ▶ Un ejemplo de precaución que eventualmente demostró ser innecesario, fue utilizar durante el periodo de tratamiento un medio de cultivo que no contenga alimento natural. Otras precauciones de interés que tuvieron eco incluyen: tamaño inicial máximo del pez, tamaño final mínimo del alevín, duración mínima del tratamiento y frecuencia de alimentación. Estudios colaterales se desarrollaron en la ESPOL, con la finalidad de determinar, en forma precisa, los factores anteriormente enunciados que tienen importancia práctica en los procesos de reversión química del sexo de tilapia a escala comercial.

7.1 Tamaño inicial máximo para tratamiento

- ▶ El sexo en tilapia se define en un estadio final del desarrollo de la postlarva. La sabiduría tradicional de los cultivadores, sugiere que la reversión química del sexo no debería intentarse en peces que excedan los 11mm de longitud, debido a que los ovarios de la hembra genéticamente están ya diferenciados sexualmente, lo que daría como consecuencia, que el tratamiento a realizarse no sea efectivo para la población a revertir.
- ▶ Investigaciones efectuadas por la ESPOL, con postlarvas de tamaño entre 7–11mm, no se obtuvo hembras después de los 28 días de tratamiento con dieta hormonal; mientras que, el ensayo realizado en postlarvas de un tamaño inicial de 12–16mm, presentó un 8% de hembras ($P < 0,05$).

7.1 Tamaño inicial máximo para tratamiento (cont.)

- ▶ Parecería lógico que los porcentajes de hembras (tilapias no reversadas) se incrementen o se desvíen hacia los individuos que presentan mayor longitud en los ensayos experimentales realizados. Para establecer la aseveración de los resultados preliminares obtenidos, se diseñó un estudio consecutivo más detallado. Postlarvas que fueron capturadas de una misma unidad de cultivo antes del tratamiento, fueron divididas en cuatro grupos. (Ver tabla #6).

Grupos	Rango de talla (mm)
1	7-11
2	12-13
3	14-15
4	16-17

Tabla #6. Estructuras de tallas de las postlarvas de tilapias. >>>

7.1 Tamaño inicial máximo para tratamiento (cont.)

- ▶ En los ensayos experimentales se suministró por 28 días la dieta con la hormona. Al finalizar los estudios, los resultados establecieron, que los grupos con las estructuras de tallas entre 7–11 y 12–13mm fueron sexualmente revertidos en forma exitosa.
- ▶ El tratamiento con estructura de talla entre 14–15mm, presentó un 7% de hembras (2% adicional al número normal). Este incremento fue ligeramente significativo ($P < 0.20$), pero de escaso impacto práctico, especialmente si el grupo de esta estructura es una pequeña fracción del número de postlarvas en una determinada población de peces a ser tratadas con la dosis hormonal.

7.1 Tamaño inicial máximo para tratamiento (cont.)

- ▶ Dentro del grupo de 16–17mm, la frecuencia de hembras aumentó a un 13%, cifra inaceptable para iniciar los procesos de reversión sexual por el alto porcentaje de hembras presente en el cultivo monosexual. Es notable que aproximadamente el 75% de las hembras genotípicas se convirtieron fenotípicamente en machos cuando el tratamiento fue de 16–17mm.
- ▶ Se concluyó, en general, que idealmente las postlarvas seleccionadas deberían empezar el tratamiento a los 13mm o menos; pero, postlarvas de 14 y 15mm pueden incluirse siempre y cuando éstas no excedan del 10% del número total de la población seleccionada para los procesos de reversión química del sexo (Gráfico #5).

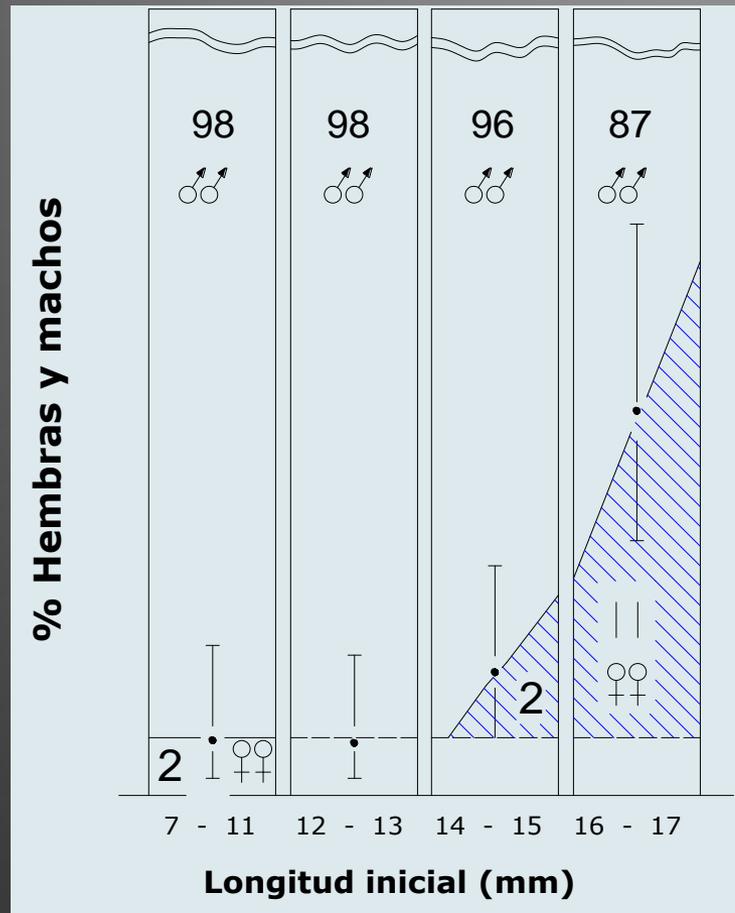


Gráfico #5. Porcentaje de machos y de hembras fenotípicas en función del tamaño inicial para el tratamiento de reversión química del sexo. (Tomado de Popma, T., 1.987).



7.2 Tamaño final mínimo post tratamiento

- ▶ Todas las especies de tilapia son conocidas por su madurez sexual temprana. La especie de tilapia más común, *Oreochromis niloticus*, alcanzan su madurez sexual entre 30-40g. En condiciones ambientales las tilapias pueden crecer 30-40g en un intervalo de 2-4 meses (Arul Suresh, 2.000).
- ▶ Los aportes de la energía alimentaria, en virtud de sus requerimientos nutricionales en su ciclo de vida, no se limitan sólo al crecimiento o a la simple producción de gametos, sino también, al desarrollo de los caracteres sexuales secundarios, desarrollo gonadal, comportamientos reproductivos, incubación bucal, protección de las larvas; lo que significa gastos de energía suplementaria. Por tal razón, las hembras por su precocidad reproductiva alcanzan una menor longitud en comparación con los machos.

7.2 Tamaño final mínimo post tratamiento (cont.)

- ▶ Para que el proceso de la reversión sexual sea efectivo, el tratamiento hormonal debe continuar hasta que el tejido gonadal de las postlarvas se haya diferenciado en testículos. Por lo tanto, parece lógico que después del tratamiento de la reversión química del sexo, las hembras sean aquellas que estén entre los peces más pequeños por no haber alcanzado un tamaño mínimo de desarrollo.
- ▶ En dos ensayos preliminares efectuados en la ESPOL, cada uno ocasionó una reversión sexual global del 98% de machos, los análisis de los tejidos gonadales de los peces sacrificados fueron examinados en base al tamaño final de los alevines. Los resultados de las gónadas examinadas obtenidas de ejemplares menores que 18mm de longitud, proporcionaron solamente el 1% de hembras; en el segundo grupo, con longitudes entre 12 a 17mm ($P < 0.05$), proporcionaron del 5 al 7% de hembras.

7.2 Tamaño final mínimo post tratamiento (cont.)

- ▶ Para definir con mayor precisión la importancia de la longitud final post tratamiento, en un ensayo subsiguiente, se suministró por 4 semanas alimento con hormona a postlarvas, las cuales se dividieron en tres grupos. (Ver tabla #7).

Tabla #7. Estructuras de tallas de las postlarvas de tilapias.

Grupos	Rango de talla (mm)
1	11-13
2	14-16
3	18-20

7.2 Tamaño final mínimo post tratamiento (cont.)

- ▶ Los resultados del estudio de diferenciación de las gónadas, mostraron que solamente los grupos más pequeños, con longitudes finales entre 11 y 13mm o menor, obtuvieron un porcentaje significativamente mayor de hembras; es decir, un 23%. El grupo #2, entre 14 a 16mm, presentó 2% adicional en relación al porcentaje mínimo requerido, que es de 95% para poder revertir en forma exitosa una determinada población.
- ▶ Concluimos que, la eficacia del tratamiento de reversión, en condiciones de abundante alimento natural, debería ponerse en duda si se obtiene longitudes menores o iguales a 13mm después de cuatro semanas de tratamiento con la dieta hormonal. En este caso, los individuos más pequeños deberían ser separados de la población, clasificándolos a través de una malla de 3,2mm. El tratamiento hormonal de los individuos más pequeños debería expandirse durante una semana más. (Gráfico #6).

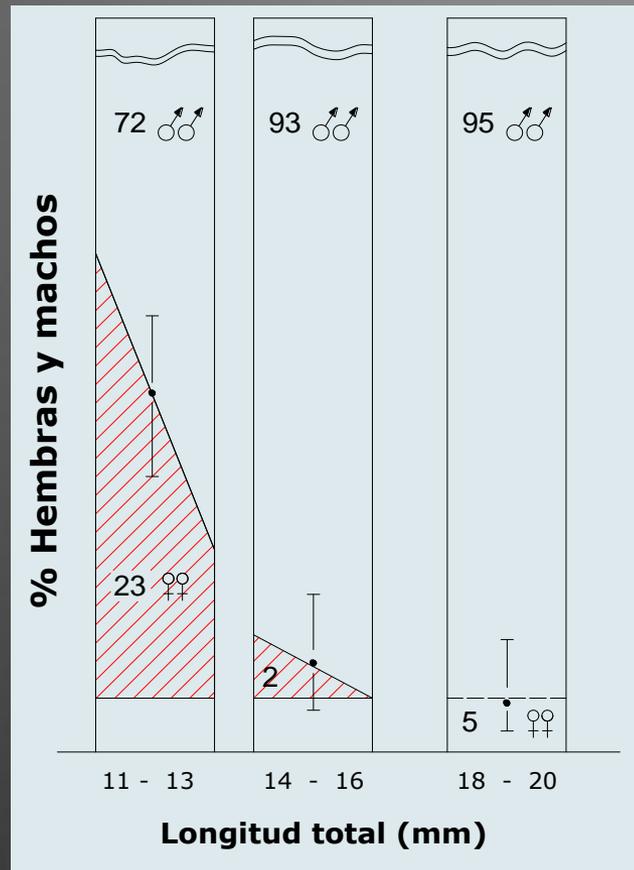


Gráfico #6. Porcentaje de machos y hembras fenotípicas en función del tamaño final, después del tratamiento de la reversión química del sexo



(Tomado de Popma T., 1.987).

7.2 Tamaño final mínimo post tratamiento (cont.)

- ▶ Parte de la población de los individuos más pequeños (conteniendo 7% hembras) continuaron con el tratamiento hasta que todos alcanzaron una longitud mínima de 17mm. El resultado fue un valor final de solamente el 1% de hembras fenotípicas ($P < 0.01$) (Gráfico #7).

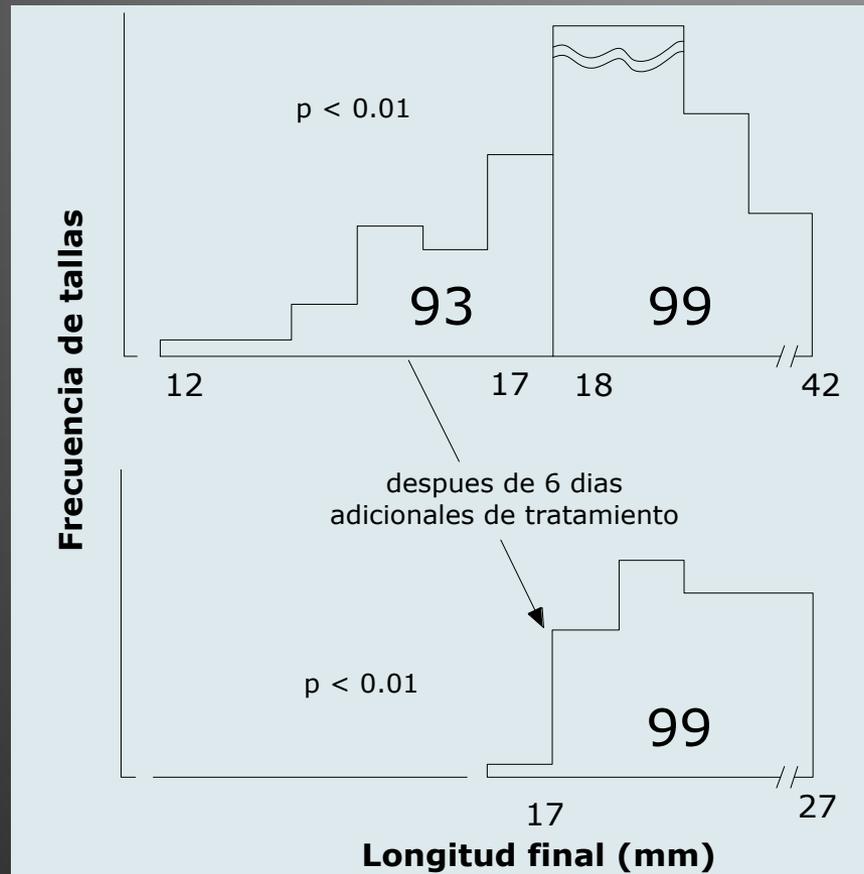


Gráfico #7. Porcentaje de machos y hembras fenotípicas. Efecto de la longitud final (final tratamiento) en la eficiencia de la reversión química. Se puede notar la influencia del tiempo sobre la longitud y su reflejo en el incremento del porcentaje de machos



(Tomado de Popma T., 1.987).

7.3 Duración mínima del tratamiento

- ▶ El análisis estadístico de los ensayos sugiere, que a pesar de que la reversión del sexo puede estar completa después de 21 días de tratamiento, la tasa promedio de éxito se mejora extendiendo el procedimiento a un mínimo de 25 días.
- ▶ En dos de seis ensayos, 99% de los peces resultaron machos fenotípicamente después de 21 días de tratamiento, pero la tasa promedio de éxito para este grupo fue solamente 95% machos. En 2 ensayos de tratamiento, con duración de 25 a 28 días, la frecuencia promedio de machos fenotípicos se incrementó a más del 98% ($P < 0.05$). Cuatro pares de comparaciones entre esos ensayos sugirieron ($P = 0.10$) que los tratamientos con menos del 95% de machos después de 21 días puede ser mejorado extendiendo su tratamiento con hormonas durante una semana. (Gráfico #8).

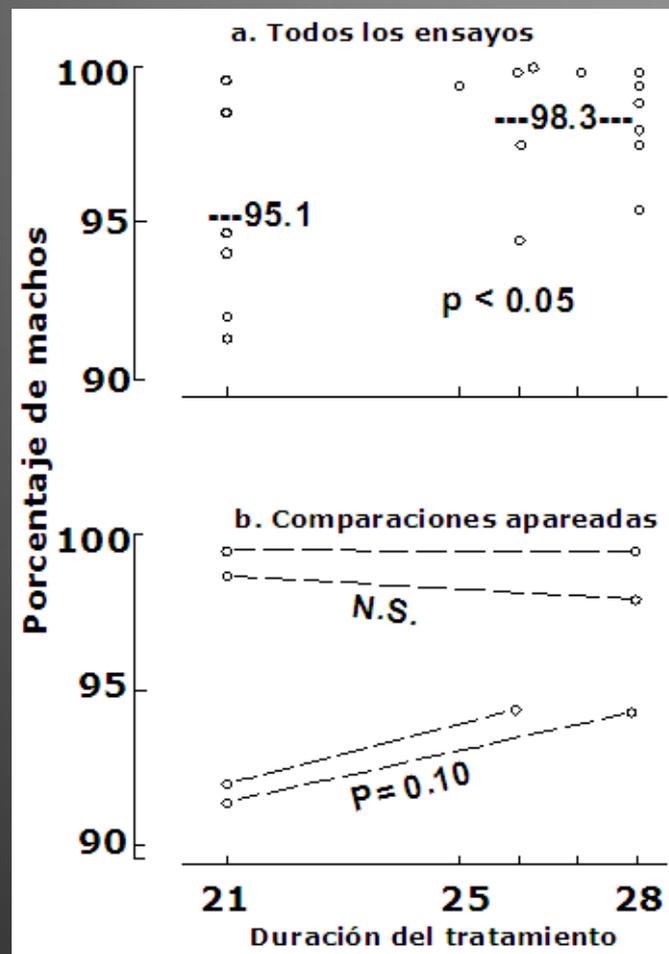


Gráfico #8. Porcentaje de machos fenotípicos de acuerdo con la duración del tratamiento.
 A: Promedios de todos los ensayos a los 21 y 28 días independientemente.
 B: Promedios de los resultados de los mismos ensayos (apareados) pero llevados a 28 días.
 NS = no significativo (150–200 postlarvas/grupo).

(Tomado de Popma T., 1.987)

7.3 Duración mínima del tratamiento (cont.)

- ▶ Se concluye tentativamente que, bajo las condiciones prevalecientes en la estación "El Chame", el alimento tratado con hormona debería ser suministrado por lo menos 25 días, inclusive si los peces hubieran alcanzado el tamaño normalmente considerado como aceptable.

7.4 Frecuencia de alimentación

- ▶ En peces, la maduración y posiblemente también la elaboración de los gametos, requieren la presencia de las hormonas sexuales, las cuales son producidas por células especializadas en los ovarios y en los testículos, en niveles determinados, bajo la influencia de la gonadotropina, proveniente de la hipófisis (Lagler *et al.*, 1.984).
- ▶ En el caso del género *Oreochromis*, que nacen indiferenciados fenotípicamente, necesitan, a lo largo de su desarrollo gonadal, pequeñas cantidades de hormonas que son suministradas por glándulas específicas, las mismas que estimulan el desarrollo gonadal; y que se encuentran en forma constante en la sangre, hasta la inducción de nuevos estímulos que provoquen liberación de otras hormonas.

7.4 Frecuencia de alimentación

- ▶ Es de suponerse de este mismo modo que, los niveles de metiltestosterona podrán permanecer en la sangre, sin la necesidad de aportaciones muy frecuentes, tal como se puede apreciar en los trabajos de R. Johanstone, D. J. Macintosh and R. S. Wright (1.983). Pero como es comprobado por los mismos autores y por Chery Ann Gaudie (1.984), esta capacidad de retención de la 17 alfa-metiltestosterona en la sangre es sólo de una hora.
- ▶ En los procesos de reversión química del sexo, el alimento tratado con hormonas es normalmente administrado 4 veces durante el día, 7 días por semana, para poder asegurar un adecuado nivel hormonal en la sangre. Si la frecuencia de alimentación pudiera ser reducida, sin comprometer la eficacia de la reversión del sexo, se beneficiarían las operaciones comerciales por la reducción en mano de obra y logística de trabajo.

7.4 Frecuencia de alimentación

- ▶ Landívar (1.989), en su estudio de frecuencia de alimentación, establece que la dieta para la reversión química del sexo, puede suministrarse durante 6 días a la semana con 2 dosis diarias, obteniendo un porcentaje de machos significativamente igual al tratamiento de 7 días a la semana y en 4 dosis diarias ($P=0,05$). (Gráfico #9).

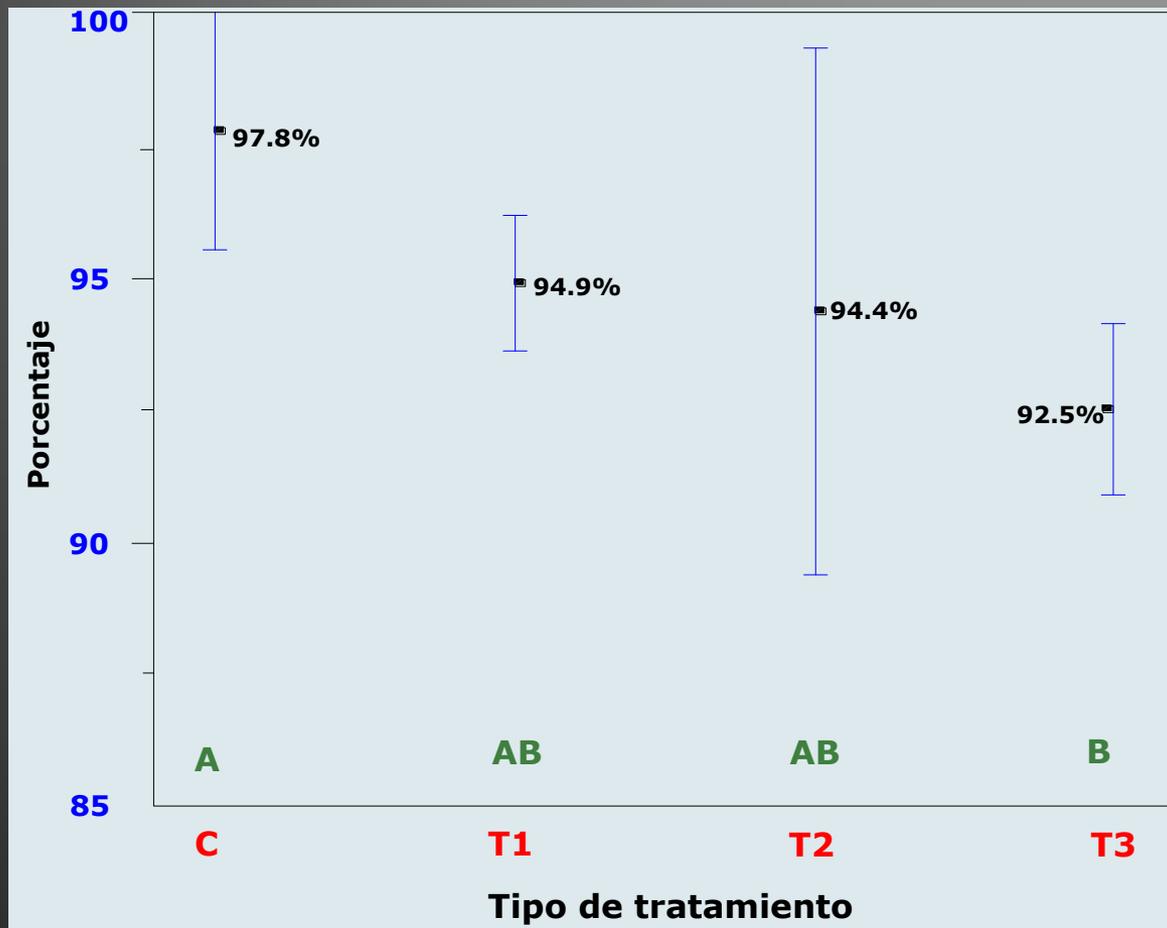


Gráfico #9. Efecto de la frecuencia de alimentación en la eficiencia de la reversión química. C = control: 4 veces al día de lunes a domingo; T1=2 veces al día de lunes a domingo; T2 = 2 veces al día de lunes a sábados y T3=2 veces al día de lunes a viernes. Letras no iguales indican diferencia significativa ($P < 0,05$) entres los tratamientos.



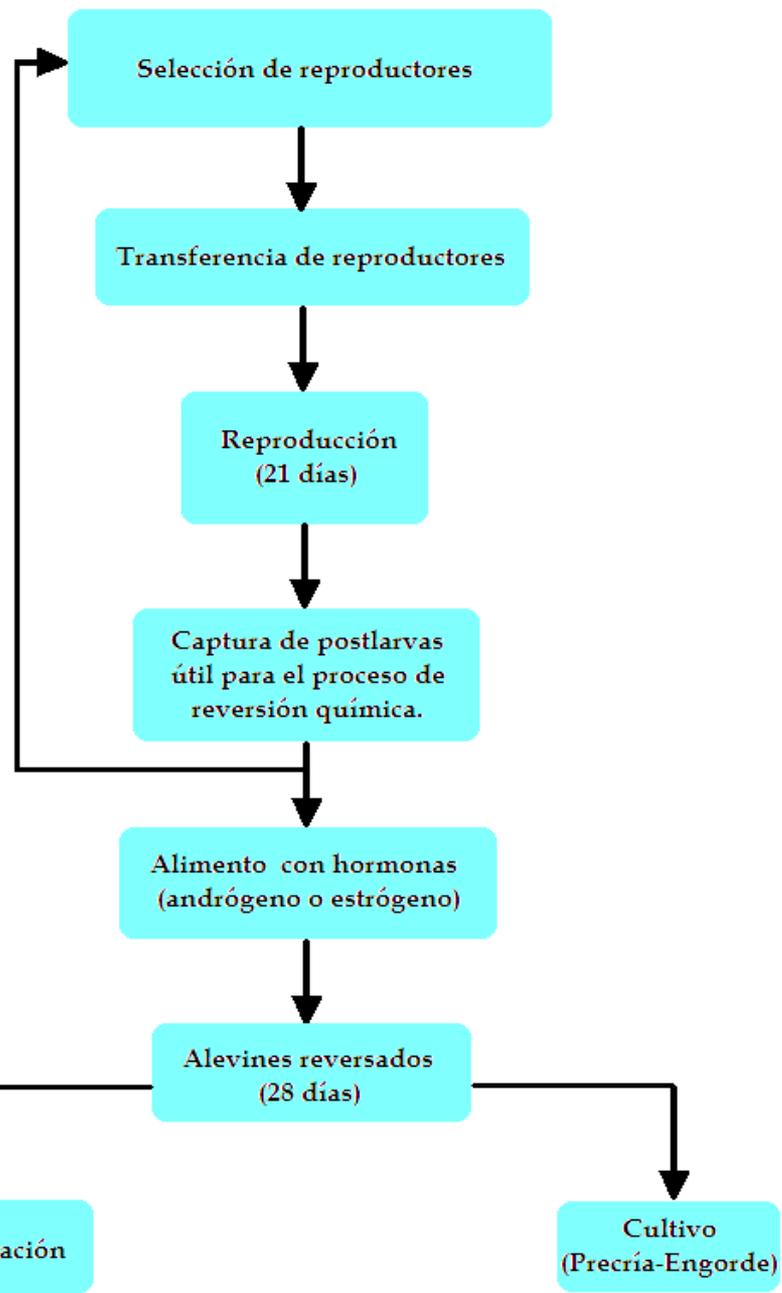


Figura # 18. Esquema de producción de alevines monosexo de tilapia.

8 SEXADO CON LA TÉCNICA SQUASH (Morales, 1.991)



Es un procedimiento que permite conocer con prontitud el resultado (porcentaje) de machos obtenidos, una vez finalizado el tratamiento de reversión química de sexo.

8 SEXADO CON LA TÉCNICA SQUASH (Morales, 1.991)

- ▶ Para aplicar esta técnica, es necesario mantener en cultivo una submuestra de ejemplares revertidos, los que posteriormente serán sacrificados; el paso siguiente será extraer las gónadas de los ejemplares en estudio.
- ▶ El colorante, empleado para la tinción del tejido gonadal, es el aceto-carmin, el mismo que se detalla en la tabla # 8.
- ▶ Agregar 0.5g de rojo carmín en 100ml de ácido acético glacial al 45%, hervir por espacio de 2 a 4 minutos, enfriar la solución, al final tamizarla en papel filtro para retener las moléculas de mayor volumen.

8 SEXADO CON LA TÉCNICA SQUASH (Morales, 1.991) (cont.)

- ▶ Las gónadas a analizar, serán tratadas con rojo carmín, el cual debe actuar por un lapso de 3 a 5 minutos. El tinte es rápidamente absorbido por el tejido gonadal; las placas montadas con las gónadas son observadas al microscopio.
- ▶ Según el análisis microscópico, el tejido ovárico de la hembra es claramente identificado por la presencia de oocitos con núcleos ligeramente teñidos y rodeados de un citoplasma más oscuro. (Foto #7).

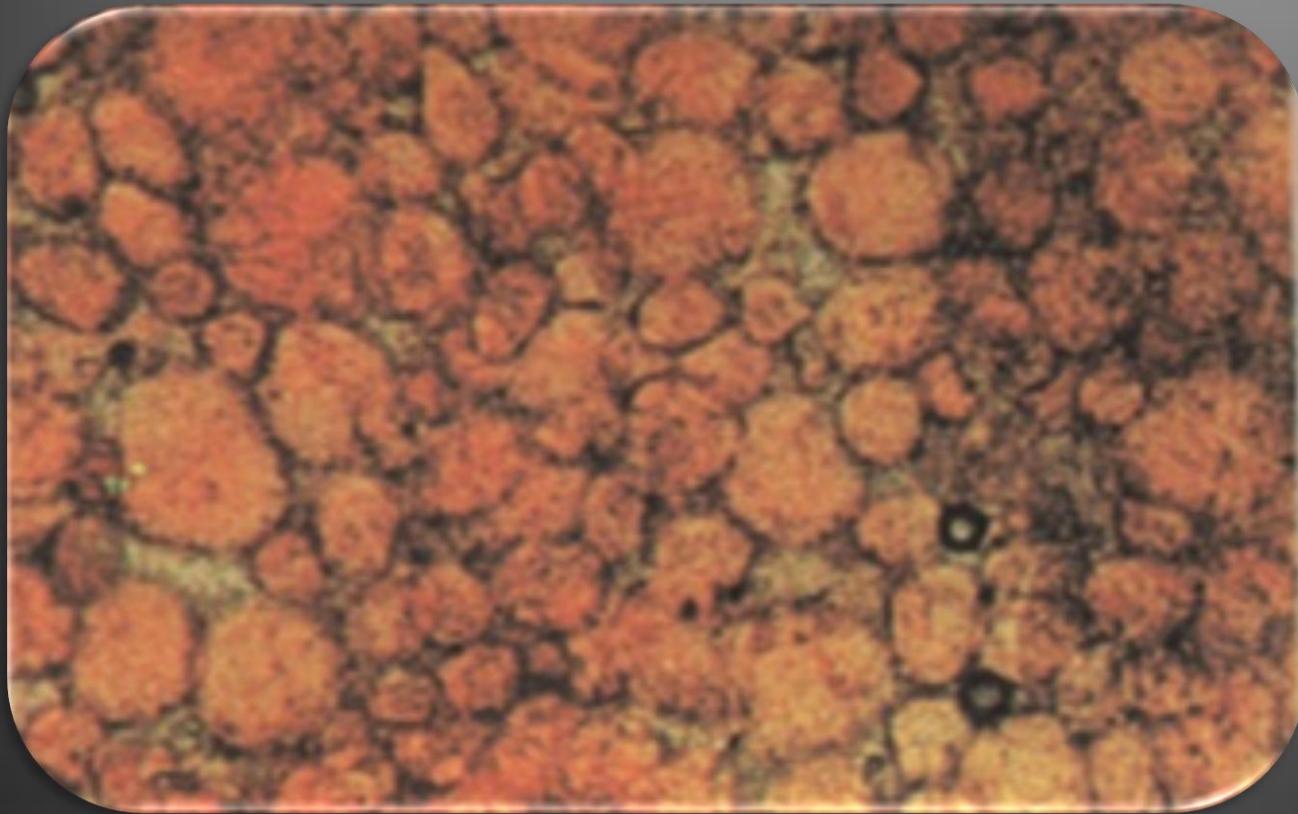


Foto #7. Observación Microscópica de Gónadas Femeninas, donde se aprecian oocitos en etapa de desarrollo. >>>

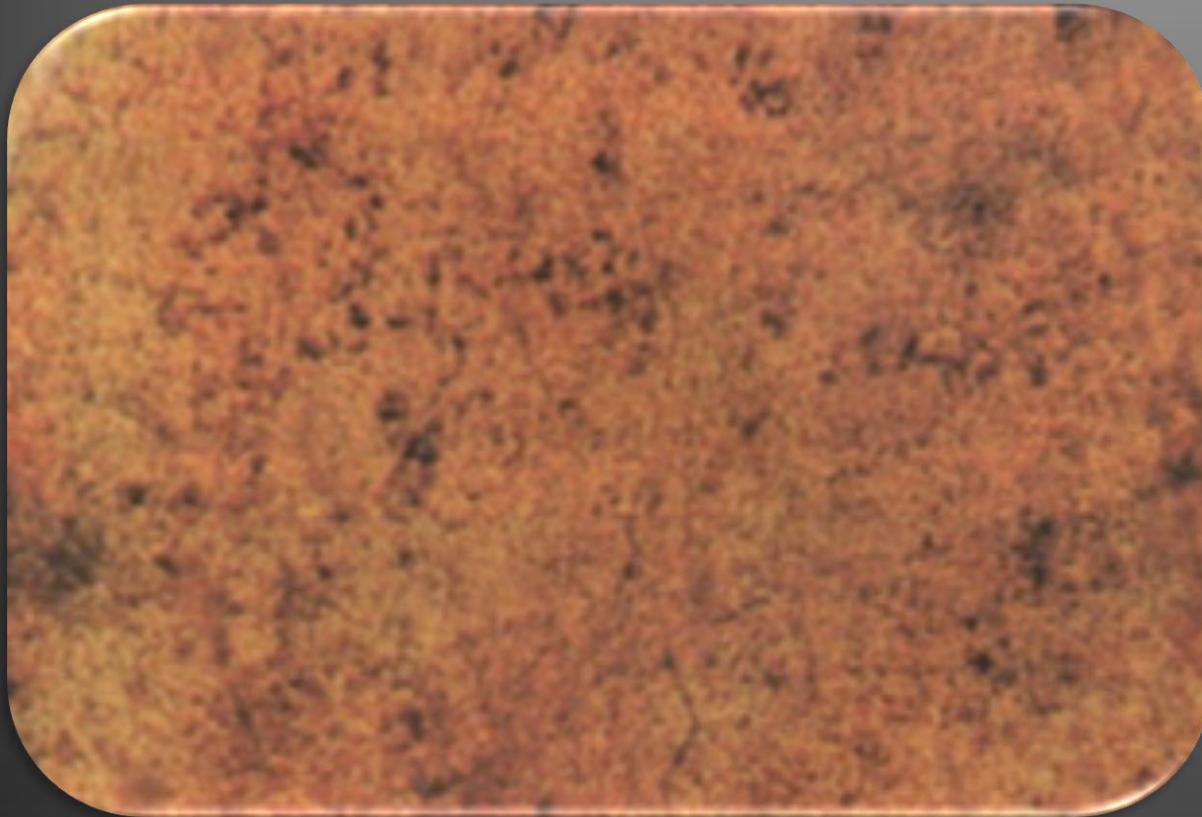


Foto #8. Observación microscópica de gónadas masculinas de textura granular.



El tejido testicular presenta un aspecto grumoso (Foto #8). En las observaciones se puede registrar la presencia de ovotestis, las cuales son consideradas estériles (Arias, 1.995).

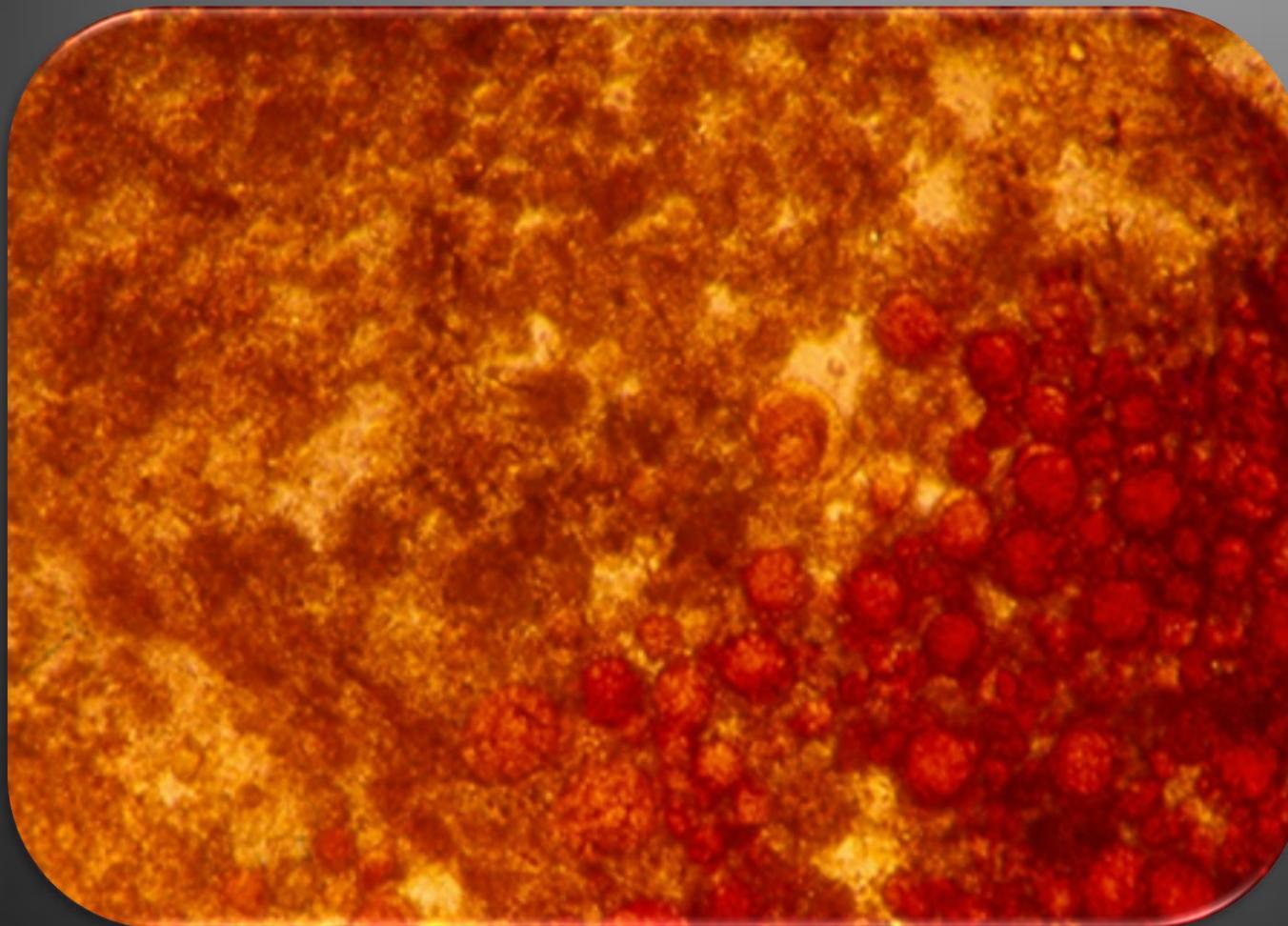


Foto #9. Observación microscópica de ovotestis, donde se aprecian oocitos en formación y testes de aspecto granular.



La aparición de ovotestis, son considerados normales cuando resultan de la insuficiencia de las dosis o de la duración impropia y no sincronizada del tratamiento (Yamamoto, 1.962; Nakamura and Iwahashi, 1.982). (Foto #9).

9 EFECTO DE LA REVERSIÓN SEXUAL EN LAS HEMBRAS



Establecido el éxito de la reversión química del sexo en machos, los investigadores empezaron trabajos preliminares de uso de los estrógenos para la producción de alevines hembras de tilapia.

9 EFECTO DE LA REVERSIÓN SEXUAL EN LAS HEMBRAS

- ▶ El cultivo de poblaciones hembras no fue llamativo para los productores, porque tuvieron incrementos en longitud poco significativos; además, se presentaron desoves por la introducción accidental de machos en los cultivos.



9 EFECTO DE LA REVERSIÓN SEXUAL EN LAS HEMBRAS (cont.)

- ▶ La aplicación de estrógenos también se ha empleado en la producción de machos, pero estableciendo un camino indirecto en la producción. Las especies que son susceptibles de ser empleadas para estos fines son: *Oreochromis aureus* y *Oreochromis hornorum*. En estas especies, los machos presentan homogametismos. Los estrógenos utilizados para estos procesos han sido: estrión, estrona y 17 beta estradiol.
- ▶ El desarrollo de la tecnología de producción, implica elaborar una dieta con el estrógeno y suministrar el alimento a postlarvas con gónadas indiferenciadas, las cuales son observadas durante el tratamiento de la reversión sexual, en el estadio juvenil hasta que alcanza la talla de madurez en el cultivo.

9 EFECTO DE LA REVERSIÓN SEXUAL EN LAS HEMBRAS (cont.)

- ▶ En la continuidad de los trabajos, se procede a realizar un “cruce de prueba” con cada una de las hembras, llevando paralelamente un control de los alevines que produce cada una de ellas, evitando que se mezclen para que cada camada de alevines se desarrolle hasta una talla de sexado; y de esta manera, identificar a las hembras con genotipo homocigótico que produzcan solo machos. Estas hembras son seleccionadas y nuevamente cruzadas con machos normales para de esta manera obtener alevines de gónadas conocidas, que serán tratadas con hormonas femeninas hasta la madurez sexual. Estas hembras servirán como lotes de producción a gran escala de postlarvas.

9 EFECTO DE LA REVERSIÓN SEXUAL EN LAS HEMBRAS (cont.)

- ▶ Las ventajas relevantes de este sistema de producción son:
 - Obtención de 100% de machos.
 - Se descarta el temor con respecto al consumo de peces tratados con hormonas, puesto que las post-larvas no son tratadas con las hormonas establecidas en los tratamientos químicos (Arredondo *et al.*, 1.994).

10 EFECTIVIDAD DE LA REVERSIÓN SEXUAL EN CICHLIDAE



La familia *Cichlidae* es una de las más importantes en acuicultura, la cual cuenta con aproximadamente 1.000 especies (Goldstein, 1.988; Stiassny, 1.991).

10.EFECTIVIDAD DE LA REVERSIÓN SEXUAL EN CICHLIDAE

- ▶ Los cíclidos nativos comprenden aproximadamente el 50% de la ictiofauna de América Central y alrededor del 60% de estos son del género *Cichlasoma* (Miller, 1.966, tomado de Luna-Figueroa y Figueroa 2.000). Varias de estos ejemplares alcanzan tallas comerciales adecuadas y son muy apetecidas por los consumidores.

10.EFECTIVIDAD DE LA REVERSIÓN SEXUAL EN CICHLIDAE (cont.)

- ▶ El cíclido ideal es el que presenta hábitos alimenticios herbivoros que muestren crecimientos rápidos, tolerancia a concentraciones bajas de oxígeno y la capacidad de reproducirse en condiciones controladas. Entre las especies que se destacan de la ictiofauna de las aguas dulces ecuatorianas, presentando estas características son: *Aequidens rivulatus* y *Cichlasoma festae* (Barnhill *et al.*, 1.966). El guapote (*Cichlasoma dovii* y *C. managüense*) se utiliza en policultivos, sin embargo es una especie que no ha sido explotado comercialmente, ya que presenta la complejidad de que no se ha podido lograr la reversión sexual (Mora, 2.001).

10.EFECTIVIDAD DE LA REVERSIÓN SEXUAL EN CICHLIDAE (cont.)

- ▶ El éxito de reversión química del sexo en tilapias, está basado primordialmente, en los resultados positivos obtenidos con *Oreochromis niloticus*. Con el mismo procedimiento hormonal, se ha tratado otras variedades de tilapia como: *Oreochromis mossambicus*, *Oreochromis aureus*, *Oreochromis hornorum* y el híbrido rojo de tilapia. Los estudios de la reversión química del sexo para las especies de tilapia *rendalli* y *zilli* aún no tienen buenos resultados.

11.EFECTOS EN EL HOMBRE DEBIDO AL CONSUMO DE PESCADO TRATADO CON HORMONAS



El justificativo para el uso de los compuestos androgénicos en la reversión química, se basa en las consideraciones de la cantidad total de hormonas que ha sido suministrada a los peces durante el proceso.

11.EFECTOS EN EL HOMBRE DEBIDO AL CONSUMO DE PESCADO TRATADO CON HORMONAS

- ▶ La dosis mínima recomendada de testosterona, para el hombre es 100 veces mayor que para el total consumido por la tilapia durante la reversión química del sexo. En realidad, la mayor cantidad de dosis de hormona es metabolizada y eliminada antes que el pez alcance su tamaño comercial. Paralelamente, el hígado convierte al compuesto androgénico en sustancia más soluble; y al final es eliminado en la orina o en la bilis.

11.EFECTOS EN EL HOMBRE DEBIDO AL CONSUMO DE PESCADO TRATADO CON HORMONAS (cont.)

- ▶ Cuando la metiltestosterona es suministrada oralmente durante el tratamiento de reversión química del sexo, el 90% de la hormona es excretada a las 24 horas siguientes, y sólo 3 semanas después menos del 1% de la hormona permanece en el cuerpo del pez (Cheryl, 1.984).
- ▶ Al pasar el pez por las diferentes fases de crecimiento como: alevín, juvenil y adulto, éste continúa eliminando el remanente del 1% de hormona restante.

11.EFECTOS EN EL HOMBRE DEBIDO AL CONSUMO DE PESCADO TRATADO CON HORMONAS (cont.)

- ▶ En el momento de captura de poblaciones revertidas, el contenido de hormona en los peces es insignificante, si ésta se toma en relación con la cantidad de hormona que los peces presentan en un medio natural para un macho adulto de tilapia.
- ▶ Investigaciones realizadas sobre la testosterona en el plasma, con ejemplares sexualmente activos, de machos no revertidos y con la presencia de hembras en ambientes naturales, presentaron niveles altos de andrógenos en determinadas edades.

11.EFECTOS EN EL HOMBRE DEBIDO AL CONSUMO DE PESCADO TRATADO CON HORMONAS (cont.)

- ▶ La aplicación de la técnica de reversión química del sexo en cultivos a escala comercial, considera que: la dosis hormonal suministrada en el tratamiento de reversión, tiene la eliminación del 90% de la hormona en 24 horas; así como, la eliminación de los remanentes de hormona durante la fase de crecimiento del animal. Por lo que, se duda que el bajo residuo hormonal del tratamiento sea peligroso para la salud de los consumidores.

11.EFECTOS EN EL HOMBRE DEBIDO AL CONSUMO DE PESCADO TRATADO CON HORMONAS (cont.)

- ▶ La reversión sexual de tilapia debería abarcar dos aspectos importantes como son: alimento seguro y el argumento medioambiental asociado con el uso de esteroides. Esta es la obligación del productor para asegurar que el consumidor obtenga un producto cultivado bajo técnicas que minimicen los efectos negativos sobre el medio ambiente. La FDA (Food and Drug Administration) de los EE.UU., organismo que regula el uso de drogas en la Acuicultura, se ha basado en numerosas investigaciones, para aprobar el uso de la metiltestosterona, mientras que aún son cuestionados otros andrógenos, debido a su poca información, en relación a este tratamiento (Phepls and Popma, 2.000).



Gracias...