

INVERSIÓN SEXUAL EN TILAPIAS

Revisión Bibliografica

NH ingenieros consultores

Nicolás Hurtado T.

Ingeniero Pesquero Acuicultor

Tel. (51 1) 2674610

E-mail : nhurtado3@yahoo.com

Lima – Perú, 2005



INTRODUCCION

El incremento de la población ha originado una excesiva demanda de alimentos, resultando el mar una fuente muy importante por proveer de alimento bueno y barato, hablando desde el punto de vista social, pero lamentablemente hemos terminado disminuyendo nuestras riquezas marinas, debido principalmente a una sobreexplotación de estos recursos ya sea para la industria: harineras, conserveras, etc. y para el consumo de la población, que en comparación a las industriales son muy pequeñas. Frente a esto nace una alternativa conocida como la Acuicultura, una nueva ciencia dedicada al cultivo-crianza de diferentes especies en ambientes acuáticos controlados, como una respuesta a la escasez de proteína animal de origen marino(peces), obtenidos mediante la extracción(pesca). Pero la acuicultura no nace como una ciencia nueva, ni como respuesta a la escasez de productos hidrobiológicos, ya que en los años 500 a. C. en el Asia ya se cultivaban especies como la Carpa en ambientes controlados, los mismos Asiáticos observaron que al realizar las cosechas en sus campos de arroz, encontraban peces de buen tamaño, que indudablemente no pudieron ingresar por los canales, así entendieron que estos peces ingresaban en etapas iniciales de larvas y alevines, criándose en los arrozales que eran cubiertos por agua hasta una talla considerable para su consumo, así es como desarrollan la piscicultura, que posteriormente se difundiría a otras especies.

En los años 90 la principal especie de cultivo a nivel mundial era el Langostino o camarón de mar, ya que significaba una actividad rentable por su gran demanda y buen precio a nivel mundial, pero, quizás por su excesivo manejo y manipulación, se llega a diseminar una rara enfermedad que terminaría por disminuir las producciones entre un 40 a 60% llegándose así ha obtener poco margen de ganancia con respecto a años anteriores,

que no alcanzaban ni para cubrir los costos de operación, es así como ingresa la Tilapia, como una especie diferente y alternativa de cultivo, que gracias a su fácil manejo, buenas características organolépticas y su demanda en desarrollo, la llevan a representar como la nueva alternativa social y económica del tercer milenio. Así en la actualidad la Tilapia se ha convertido en una de las principales especies de cultivo después del Langostino, y la tercera más importante mercadería de alimento importada a los Estados Unidos después del Langostino y el Salmón del Atlántico. Es casi por seguro, que en los próximos años la Tilapia llegue a ser la especie de mayor cultivo a nivel mundial.

En América Latina, el principal productor y exportador de Tilapia era Costa Rica, el cual en unos años llega a ser desplazado por un país vecino como el Ecuador, siendo en la actualidad el principal exportador de filete de Tilapia fresco refrigerado.

Es un hecho señores que la Tilapicultura, es una actividad en ascenso a nivel mundial, lamentablemente en nuestro país recién comenzamos a dar los primeros pasos, esa mas en algunas zonas es aun desconocida o vista con desconfianza, cuando se llevan años de experiencia en países vecinos de América.

Es por esto señores que si queremos participar en el cultivo de la Tilapia, es mas si es que pensamos en competir con nuestros vecinos, debemos contar con personal preparado y con centros de producción de semilla de buena calidad, llevados por profesionales capacitados y con experiencia en los sistemas de producción de semilla, en vista que no tenemos el tiempo para realizar ensayos y pruebas, mas aun cuando todo o casi todo ya esta dicho en cuanto al cultivo de la Tilapia, y solo nos queda adaptarlo a nuestro medio.

1. GENERALIDADES.

Los peces denominados genéricamente “Tilapias” han suscitado y recibido, quizás, mayor atención que cualquier otro grupo de peces en todo el mundo (Avault, 1995).

SPATARU et al. (1983) ya denominaba a la Tilapia del Nilo con su nombre científico actual, *Oreochromis niloticus*.

La Tilapia, nombre común que en el idioma “swahili”, significa pez, incluye los géneros Tilapia y Oreochromis entre otros, (con mas de 100 especies), que son originarios del frica; habiéndose extendido posteriormente hacia el norte de Israel y Jordán (Chimits, 1955). Luego de la Segunda Guerra Mundial, fueron introducidas desde su origen a varios países del Asia y América, diseminándose sin control alguno, donde hoy en día se

encuentra virtualmente en todo cuerpo de agua incluyendo diques y pozos inactivos donde pocos peces de valor pueden crecer. Este intento de introducir la Tilapia en los años 60, es reportado como una de las experiencias comerciales más catastróficas en la historia de la Acuicultura en los EE.UU.

Muchos autores han coincidido en que los miembros del genero Tilapia(familia Cichlidae), han sido una importante fuente de alimento para el hombre, así por ejemplo Bardaach, 1990, señala que los peces que San Pedro recogió en el Mar de Galilea y lo que Cristo dio a las multitudes eran Tilapia. Así mismo hace referencia que en un friso de una tumba egipcia, fechado 2 500 años a. C. se ilustra la cosecha de Tilapia y sugiere que debe haber sido obra de cultivadores.

Los cultivos iniciales de Tilapia en América Latina, fueron únicamente a pequeña escala familiar, utilizando nutrientes a bajo costo como abonos orgánicos y subproductos agrícolas.

En la década de los 80 la disponibilidad comercial de alimentos para animales acuáticos y el desarrollo de técnicas para la producción masiva de alevines monosexo, permitieron el crecimiento rápido de cultivos comerciales de Tilapia en América Latina y el Caribe. La producción comercial empezó en Jamaica en 1 983, se extendió a Colombia, poco después y posteriormente a Costa Rica, Brasil, Ecuador, Honduras, Nicaragua y Venezuela. Actualmente, se tiene información de su cultivo a nivel comercial en mas de 65 países, estando la mayoría de estos situados en los Trópicos y Subtrópicos.

En nuestro País, la introducción de tres especies Tilapia por instituciones como el IMARPE y a Universidad Agraria en los años 70, (T. Rendalli, T. Nilotica y T. Mossambica), permitieron diversas investigaciones que entre otros resultados, concluyeron en el establecimiento de numerosas unidades de cultivo comercial de Tilapia en varios lugares de país. La mayor parte de ellos, sin embargo, están concentrados en el departamento de San Martín, por las condiciones favorables que presenta esta zona del país.

Actualmente se estima que esta zona produce en conjunto alrededor de 1 100 TM mensuales, las cuales son comercializadas dentro de la misma región y cuenta con mas de 390 granjas operativas. Si embargo esta producción es aun muy rudimentaria y muestra rendimientos bajos de 1 500 a 2 500 kg./ha/año, ya que se maneja con población normal o sexada, no se aplica fertilización, se utiliza alimentos artesanales en polvo y se trabaja con

una sola etapa de producción, sin mencionar la mala calidad del materia genético de la zona.

El cultivo de Tilapia aun no ha logrado en el país un desarrollo a escala comercial, principalmente por el poco soporte técnico ocasionado por la prohibición del cultivo en 1991. A ello se suma la poca importancia otorgada a la acuicultura por el sector, al tener que competir con una poderosa actividad extractiva marítima. Las pocas iniciativas privadas que se intentaron en los últimos años fueron desalentadas por los propios funcionarios del sector, determinando finalmente el desaliento de las inversiones.

Sin embargo, esa situación ha variado significativamente en los dos últimos años en los que los empresarios peruanos ven como Ecuador y otros países latinos están logrando capturar el creciente mercado internacional, especialmente de los Estados Unidos. Una razón coyuntural que ha motivado el cultivo de Tilapia es la desafortunada caída de la producción langostinera de Tumbes.

2. ANTECEDENTES.

Todas las especies de tilapia son conocidas por su madurez temprana. Las especies de tilapia más comunes, *Oreochromis niloticus*, alcanzan su madurez sexual entre los 30-40 gr. En condiciones ambientales favorables las tilapias pueden crecer 30-40 gr. en un intervalo de 2-4 meses. Una vez que han madurado, las tilapias pueden realizar la puesta todo el año mientras la temperatura del agua sea superior a los 24 °C. Las tilapias hembras desovan en múltiples ocasiones. Normalmente, una hembra realiza 8-12 puestas en un año en condiciones favorables de temperatura. Cada puesta puede contener entre 200 y 2000 huevos. Después de la fertilización, uno o ambos padres vigilan cuidadosamente los embriones en desarrollo hasta que eclosionan y las larvas alcanzan el estadio de natación libre. Las tilapias se dividen en tres géneros principales dependiendo de su comportamiento referido al cuidado parental (Trewavas, 1983):

1. *Tilapia*: los huevos fertilizados son cuidados en nidos excavados en el fondo del estanque.
2. *Oreochromis*: los huevos fertilizados son cuidados por la madre manteniéndolos en su boca
3. *Sarotherodon*: los huevos fertilizados son mantenidos en la boca de la progenitor macho o hembra indistintamente.

De los tres géneros, *Oreochromis* es el más importante en acuicultura debido a que las principales tilapias más adecuadas para su explotación son de dicho género.

El comportamiento reproductor de las especies de *Oreochromis* se describe a continuación:

Cuando una hembra *Oreochromis* está lista para desovar, visita la zona de reproducción o *lek*. Esta zona consiste en una parte del fondo en la que varios machos han establecido nidos individuales bien defendidos. Después de un breve cortejo, la hembra deposita los huevos mientras que simultáneamente el macho los fertiliza. Entonces la hembra recoge los huevos fertilizados en su boca para *incubarlos* y abandona la zona de apareamiento. Después de un periodo de incubación de 10-15 días, los alevines eclosionados son liberados en aguas poco profundas. Luego la hembra reanuda su actividad alimenticia y reacondiciona sus ovarios durante 2-4 semanas y de nuevo está lista para una nueva puesta.

Los trabajos sobre inversión sexual (producción de organismos de un solo sexo), han sido ampliamente desarrollados por numerosos investigadores a través del tiempo y ha sido practicada, en anfibios y aves. Los primeros intentos de inversión sexual en peces tuvieron lugar en los años treinta, (Yamamoto, 1953).

La inversión sexual ha sido lograda, gracias al conocimiento preciso de los esteroides sexuales tanto andrógenos, como estrógenos, así como de los mecanismos de determinación sexual (Gonocodismo y Hermafroditismo) de las especies que han servido como objeto de experimentación. En el cuadro Nro. 1 se puede apreciar brevemente los primeros trabajos realizados en peces, los cuales son comentados por Yamasaki 1983. Estos trabajos fueron realizados generalmente en peces de importancia en la piscicultura, como son algunos pecilidos, *Carassius auratus*, *Orizias latipes* y Salmonidos, como *Salmo salar*, *Salvenus fontinalis*, *Oncorhynchus kisutch*, *O. Masou*, entre otros. (Yamasaki op. Cit).

Cuadro Nro 1

PRIMEROS TRABAJOS SOBRE INVERSIÓN SEXUAL EN PECES

AUTOR	AÑO	ESPECIE	ESTEROIDE	RESULTADOS
Willer y WWistchi	1942	Enviones de ave y anfibio.	Esteroides masculinos	Se logro inversión
Padoa	1937-1939	<i>Salmo irideus</i>	Inyección de hormonas foliculares de ovario y testiculo.	Inversión de hembras y machos
Berkowitz	1938-1941	<i>Levistes reticulatus</i>	Administración de estrogenos	Inversión de hembras
Okeda	1943	<i>Orizias latipes</i>	Inyección subcutánea de	Producción de ovotestes

			Estilbestrol.	en adultos
Okeda	1944	<i>madaka</i>	Implantación subcutánea de cristales de andrógeno (Metil de hidrostestosterona).	Cambio de ovario a ovotestes.
Yamamoto	1953	<i>Orizias latipes</i>	Inmersión de adultos y alimento con hormonas y crías Estrona Estil bestrol	Inversión sexual total a hembras

La experimentación en los pecilidos y salmónidos sirvieron para aumentar la producción y ha sido generada principalmente por Donaldson y Hunter según Yamasaki 1983.

Los trabajos en tilapias (Cichlidae) han sido hechos con los géneros de *Tilapia* y *Oreochromis*, con el fin de lograr una producción elevada de biomasa y conocer al detalle el desarrollo gonádico de algunas especies en las que se ha logrado la inversión pura, compararlas con el desarrollo gonádico normal, y conocer los tiempos mas adecuados de aplicación del esteroide lo cual se ha logrado por medio de estudios histológicos, Nakamura, 1973 y Yoshicawa, 1978). Trabajos sobre producción con individuos invertidos, son reportados principalmente por Shelton, 1981; Guerrero, 1976 y Buddle, 1984.

Los primeros intentos de producir tilapias de un solo sexo, son los hechos por Hickling en 1960, por medio de la hibridación; continuando posteriormente Wolfart y Hulata en 1981, quienes han informado sobre especies que al cruzarse producen un 100 % de machos, como fue señalado en párrafos anteriores.

Al mismo tiempo que la hibridación, se desarrollan los trabajos sobre inversión sexual a través del uso de esteroides para producir individuos monosexo. El cuadro Nro. 2 hace una síntesis de los trabajos hechos en tilapias sobre reversión sexual. Los mayores aportes hechas sobre inversión sexual en tilapia han sido por Shelton y Guerrero, que han generado técnicas especiales de preparación de alimento con hormonas y de preparación de gónadas de tilapias muy jóvenes para tener resultados de la inversión en tres o cuatro meses. Así mismo Nakamura y Yoshikawa de la escuela japonesa, han descrito a través de estudios histológicos, detallados el desarrollo gonádico de hembras y machos no tratados y tratados, como de organismos intersexuales, que son aquellos en los que no se da la inversión sexual completamente, que presentan caracteres sexuales secundarios mal definidos y en cuya gónada presentan tejido ovárico y testicular. Estos estudios se han logrado para *Tilapia mossambica*, *T. nilotica* y *T. zilli*.

Cuadro Nro. 2

TRABAJOS DE INVERSIÓN SEXUAL EN TILAPIAS

AUTOR Y FECHA	ESPECIE	ESTEROIDE Y DOSIS (mg/kg de alimento)	TIEMPO (días)	RESULTADO
Clemens e Inslee 1968	<i>T. mossambica</i>	Metiltestosterona 30 y 60 Mg.	69	100%-100% de inversión
Nakamura y Takahashi 1973	<i>T. mossambica</i>	MT 50-100 Mg.	19 – 40	100% inversión precoz y reversión a hembras
Jalbert et al. 1974	<i>T. nilotica</i>	MT 40 Mg.	60	100% de inversión
Guerrero 1975	<i>T. aurea</i>	MT 15-30-60 Mg.	21	85-96-100%
Nakamura 1975	<i>T. mossambica</i>	Etinilestradiol 50 Mg.	10 - 25	100% de feminizacion
Guerrero 1976	<i>T. mossambica</i>	MT	14 – 21 – 28	69-93-98%
Guerrero 1976	<i>T. mossambica</i>	MT 50 Mg.	40	100% masculinizacion
Hopkins 1979	<i>T. aurea</i>	Etinilestradiol 25 Mg.	42	50 % de feminizacion
Jansen 1979	<i>T. aurea</i>	Estrona y 17 estradiol 30-60-120 Mg.	21 – 35	62-50-42% feminizacion
Shelton 1981	<i>T. aurea</i>	MT 60 Mg.	16 – 19 21 – 28	83 – 93% 98 – 97%
Owsu Frimpong 1981	<i>T. nilotica</i>	MT 50 Mg.	28 – 42	100 – 100%
Macintosh 1985	<i>T. mossambica</i>	MT 30 Mg.	30 – 60	79 – 94%
Quintero 1985	<i>T. mossambica</i>	MT 60 Mg.	21	96 – 100%

Así mismo Moreno y cols., 2003, mencionan que los primeros trabajos de inversión sexual se desarrollaron por primera vez en la Universidad de Auburn, en Alabama, EE.UU. Posteriormente, Jalbert y cols., 1974, realizaron la reversión sexual de la Tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus*, utilizandola hormona 17- α -metiltestosterona (MT), en dosis de 40 mg de la hormona incorporada a un kilogramo de alimento balanceado. En 1978, Tayamen y Shelton evaluaron los andrógenos Etiniltestosterona (ET) y la MT, así como los estrógenos Dietilestilbestrol (DEB) y Estrona (E), Administrados oralmente, encontrando que se podrían obtener poblaciones 100 % machos utilizando ET y MT en una dosis de 30 mg por kilogramo de alimento, durante 30 y 59 días de tratamiento respectivamente. McGeachin y cols., 1987, realizaron pruebas con la hormona Etiniltestosterona (ET) a concentraciones de 60, 90, 120 y 240 mg por kilogramo de alimento y con la MT a concentraciones de 60, 90 y 120 por kilogramo de alimento, ambas por un periodo de 22 días, obteniendo para ET un 100 % de reversión para los cuatro tratamientos y para la MT 99, 98 y 96 % de machos respectivamente.

Vera Cruz y Mair 1994, probaron la MT en dosis de 40 mg por kilogramo de alimento en la Tilapia del Nilo (*O. niloticus*) a una densidad de 1 000 alevines por metro cuadrado en estanques y hapas, obteniendo porcentajes de machos de 98.4 y 95.4

respectivamente. Probaron también, una dosis de 60 mg por kilogramos de alimento a densidades de 1 000, 3 000 y 5 000 alevines por metro cúbico en hapas, obteniendo porcentajes de reversión de 91.2, 96.7 y 99.4 respectivamente, Jiménez Badillo y cols. probaron la efectividad de la MT, la Fluoximesterona (FM) y el Propionato de Testosterona (PT), a una dosis de 40, 1 y 5 mg por kilogramos de alimento, obteniendo un porcentaje de machos de 98.9, 80.6 y 67.6 respectivamente. Jiménez y cols., 1998, encontraron que una dosis de 5 mg de FM en un kilogramo de alimento en 35 días de tratamiento permite obtener hasta 100 % de machos. Phelssps y cols., 1992, probaron la hormona FM en dosis de 0.2, 1.5 y 25 mg / kg de alimento, encontrando una producción de 100 % machos en las concentraciones de 1.5 y 25 mg. Otros datos indican que el tratamiento hormonal se debe iniciar con alevines menores de 11 mm de longitud total, un peso de 0.1 gr y de cinco días de edad, para que este sea eficiente, aunque también se han logrado buenos resultados con alevines con una edad menor a los 19 días.

Moreno y cols., 2003, evaluaron la producción de alevines de Tilapia del Nilo masculinizados con la hormona FM a una concentración de 5 mg/kg de alimento, en un periodo de 35 días, en sistemas cerrados de recirculamiento obteniendo un 95.8 % de machos en promedio.

El impulso definitivo a la producción comercial de tilapia evitando el sobrepoblamiento de los estanques y disminuyendo las áreas requeridas para los reproductores y alevinaje, se inicia con los trabajos de Clemens en 1968, quien emplea por primera vez un estrógeno masculinizante, la 17 alfa Metiltestosterona adicionada al alimento (10 - 40 mg/kg) para producir progenie 100 % machos en *O. mossambicus*, trabajos complementarios en forma independiente con las tesis de grado de Guerrero (1975) y Nakamura (1975) adicionando 60 mg/kg de alimento, (Castillo, 2001).

Vega (1984), aplica el método usado por Guerrero en nuestro país, utilizando la hormona mesterolona, conocida como Provirón, determinando una cantidad de 40 a 60 mg de hormona por kilo de alimento.

Hoy en día se tiene conocimiento que existe gran diferencia entre la hormona Metiltestosterona y la mesterolona, sobre todo en la eficiencia y cantidad, recomendándose 90 mg/kilo de alimento de hormona mesterolona o Provirón a usar en la inducción sexual.

En cuanto a la Metiltestosterona, trabajos realizados por Rodríguez (1989), con la aplicación de diferentes cantidades de hormona en la inducción sexual de tilapia roja(15,

30 y 60mg), dieron resultados fuera de lo común, al concluir que las mejores producciones (y mejor eficiencia de inducción sexual), se dieron con las de menor cantidad.

Esto nos lleva a pensar que aun no esta definido este punto, y mas aún si hoy en día el reducir costos con menos insumos, es lo que se busca para obtener mayores rendimientos.

Así mismo, se tiene conocimiento por experiencia que ya no solo se puede confinar la inducción sexual al uso de sofisticados laboratorios y tanques de concreto, ya que también se puede realizar la inducción sexual en estanques de tierra usando jaulas (hapas), aprovechando la productividad primaria como fuente de nutrientes y vitaminas que no se encuentran en los alimentos balanceados, tal como se comprobó en trabajos realizados por el autor en la ciudad de Piura.

Según Marcillo & Landivar (2000), para la producción al nivel comercial de alevinos machos (monosexo) de Tilapia, se aprovecha la condición lábil primitiva en la definición del sexo de estos peces, las características biológicas de las tilapias que permite la aplicación de la inducción sexual son:

- a. El sexo en las Tilapias es muy inestable poco después de la eclosión de 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 de la post larva, en una longitud que puede variar dependiendo de la especie de entre 18 y 20 mm (Hepher & Pruginin, 1985) o 15 y 18 mm (Popma, 1987); citados por Marcillo & Landivar, 2000.

La inestabilidad sexual de las larvas recién eclosionados permite poder intervenir para determinar el sexo final en toda o casi toda la población de peces descendientes. Para la obtención de una población de machos es común la aplicación de una hormona andrógena por vía oral, lo cual nos permite obtener una descendencia de entre 95 y 99% machos, los cuales servirán para un cultivo monosexual con un alto rendimiento en la producción por hectárea en piscigranjas comerciales, (marcillo & Landivar, 2000)

Zoila Abad Marquez, en el 2002 presenta un trabajo en el evento sobre Biotecnología en la Habana, sobre producción de alevinos machos en Tilapia aurea, la cual consiste en la suministración de hormonas femenizantes a los padres (machos), para

convertirlos en hembras (manteniendo los cromosomas de machos), al cruzarlos con machos normales nacerán alevines 100 machos libres de hormonas.

3. DATOS BIOLÓGICOS BÁSICOS.

3.1. Morfología externa

La familia *Cichlidae* se caracteriza por presentar especies de coloración muy atractiva, principalmente las nativas de África, América Central y la parte tropical de Sudamérica. Los cíclidos se diferencian de la gran mayoría de los peces dulceacuícolas por la presencia de un sólo orificio nasal a cada lado de la cabeza y que sirve simultáneamente como entrada y salida de la cavidad nasal.

El cuerpo es generalmente comprimido y a menudo discoidal, raramente alargado. En muchas especies, la cabeza del macho es invariablemente más grande que la de la hembra. Algunas veces con la edad y el desarrollo, en el macho se presentan tejidos grasos en la región anterior y dorsal de la cabeza. La boca es protráctil, generalmente ancha, a menudo bordeada por labios gruesos; las mandíbulas presenta dientes cónicos y en algunas ocasiones incisivos. Pueden o no presentar un puente carnoso (conocido como freno), que se encuentra en el maxilar inferior, en la parte media debajo del labio. Presentan membranas branquiales unidas por 5 ó 6 radios branquióstegos y un número variable de branquiespinas según las diferentes especies. La parte anterior de las aletas dorsal y anal siempre es corta y consta de varias espinas y la parte terminal tiene radios suaves, que en los machos suelen estar fuertemente pigmentados. La aleta caudal está redondeada, trunca o muy raramente escotada, según la especie, La línea lateral en los cíclidos está interrumpida y se presenta generalmente dividida en dos partes. La porción superior se extiende desde el opérculo hasta los últimos radios de la aleta dorsal, mientras que en la porción inferior aparecen varias escamas por debajo de donde termina la línea lateral superior hasta el final de la aleta caudal. Presenta escamas de tipo cicloideo; el número de vértebras puede ser de 26 a 30.

Principales características de la Tilapia.

ESTRUCTURA	DESCRIPCION
Dientes de la mandíbula.	Típicamente grandes y gruesos, externos

	bicúspides, en algunos casos tricúspides.
Espinas anales	III, 9-11 radios
Hueso faríngeo	Longitud de tallo menor con respecto al tamaño inferior del diente. Área dentada de mayor densidad
Branquiespinas en la parte inferior del primer arco branquial	6-12
Número de vértebras	26-30
Escamas sobre la línea lateral	28-29
Coloración	Cuerpo predominante gris plata y rosa hacia los lados; en época de reproducción la coloración se torna más obscura. Aleta caudal sin franjas verticales.

La tilapia posee una gran habilidad para colonizar lagos y otros cuerpos de agua, aún en presencia de depredadores y de una fuerte competencia. Esta adaptación evolutiva puede ser atribuida a una característica morfológica de máxima versatilidad, el complejo mandibular-faríngeo.

Esta especialización altamente integrada es inherente a los cíclidos y no solo sirve para la deglución y preparación del alimento, sino que, además, se han involucrado numerosas especializaciones hacia la colecta de diferentes tipos de alimentos. Esto ha dado una ventaja evolutiva sobre otras familias de peces (Liem, 1974).

3.2. Morfología Interna.

El sistema digestivo de la tilapia se inicia en la boca, que presenta en su interior dientes mandibulares (que pueden ser uní cúspides, bicúspides y tricúspides según las diferentes especies) y continúa con el esófago y el estómago. El intestino es en forma de tubo que se adelgaza después del píloro diferenciándose en dos partes; una anterior, corta, que corresponde al duodeno, y una posterior más larga aunque de menor diámetro.

El intestino es siete veces más largo que la longitud total del cuerpo, característica que predomina en las especies herbívoras. Presenta dos glándulas importantes asociadas con el tracto digestivo: el hígado, que es un órgano grande y de estructura alargada y el páncreas,

en forma de pequeños fragmentos redondos y difícil de observar por estar incluidos en la grasa que rodea a los ciegos pilóricos.

El sistema circulatorio está impulsado por un corazón generalmente bilocular y de forma redonda, compuesto por tejido muscular y localizado casi en la base de la garganta. La respiración es branquial, estando estas estructuras constituidas por laminillas delgadas alojadas en la cavidad opercular.

Posee una vejiga natatoria que se localiza inmediatamente bajo la columna dorsal y que tiene forma de bolsa alargada, la cual funciona como un órgano hidrostático que ayuda al pez para flotar a diferentes profundidades.

El sistema excretor está constituido por un riñón de forma ovoide que presenta un solo glomérulo; unos uréteres secretan en la vejiga y ésta descarga a su vez en la cloaca.

El aparato reproductor está constituido por un par de gónadas que en las hembras son ovarios de forma tubular alargada de diámetro variable. En los machos los testículos también son pares y tienen el aspecto de pequeños sacos de forma alargada.

Requerimientos ambientales y alimentación

Variable	Rango	Optimo
Temperatura	10 a 42° C.	25 a 35 ° C.
pH	6 a 9	7 a 8
Oxígeno disuelto	Mínimo 1 ppm	5 ppm
Salinidad	0 a 40 ‰	25 ‰
Alimentación	Omnívora, fitoplanctófaga, herbívora.	

3.3. Desarrollo embrionario y crecimiento.

Desarrollo Embrionario.

La penetración del espermatozoide en el óvulo es llamada *impregnación*, presentándose una reacción cortical para evitar la entrada de otro espermatozoide. El huevo pasa a través de un proceso de dilatación para posteriormente formarse dos partes de la masa central,

que se distingue por su forma y color. El polo animal se alza como un pequeño glóbulo sobre la masa vitelina y adquiere una coloración amarillo oscuro; tras un breve intervalo cuya duración depende de la temperatura del agua, comienza la segmentación del polo animal, dividiéndose sucesivamente en dos, cuatro, ocho, dieciséis y treinta y dos células respectivamente. En esta fase el embrión presenta el aspecto de "mora", conociendo por lo tanto este estadio como *mórula*; en esta etapa el embrión es muy sensible a las sacudidas y las células pueden desprenderse de su superficie causando su muerte. Más tarde, aparece un espacio entre el vitelo y la masa celular, denominándose a ésta la etapa de *blástula*. A medida que avanza la división celular las células comienzan a envolver el vitelo hasta rodearlo completamente dejando en el extremo una abertura llamada *blastoporo*, que más tarde se cierra.

La masa celular adquiere mayor espesor y se dispone en forma de diadema en el lado opuesto del blastoporo, apareciendo simultáneamente los brotes correspondientes a la cabeza y a la cola.

En la cabeza se desarrollan los ojos y el brote de la cola empieza a crecer longitudinalmente. A mitad del proceso de desarrollo se forma el corazón y empieza a latir; simultáneamente se forma un sistema capilar en la superficie de la masa vitelina.

El embrión empieza a agitar la cola ocasionalmente y más tarde agita todo el cuerpo; posteriormente comienza también a girar dentro del espacio peri-vitelino, movimientos que se hacen más enérgicos poco antes de la eclosión. Los metabolitos del embrión contienen algunas enzimas que actúan sobre la membrana del huevo y la disuelven desde adentro, permitiendo al embrión romperla fácilmente y salir (Morales et al., 1988).

El crecimiento es isométrico en todas las etapas de su desarrollo a partir de alevín y depende de varios factores como son temperatura, densidad de individuos en el ambiente y tipo de alimento disponible principalmente.

Las etapas de crecimiento que se reconocen son las siguientes:

Alevín.

Se llama así al pez recién salido de el huevo y que aún conserva el saco vitelino, el cual es la fuente de alimentación del pez durante varios días.

Cría.

Se denomina de esta manera al pez cuando absorbió por completo el saco vitelino y comienza a alimentarse por sí mismo.

Juvenil.

El organismo sigue creciendo; sus necesidades nutritivas se van diferenciando y se asemejan más a las de un organismo adulto.

Adulto.

El pez alcanza su madurez sexual y presenta todas las características distintivas de su especie.

Tabla de talla y peso aproximado en diferentes estadios de desarrollo de la tilapia.

ESTADIO	TALLA (cm)	PESO (gr)	TIEMPO EN DIAS
Huevo	0.2 -0.3	0.01	3 -5
Alevín	0.7-1.0	0.10-0.12	10-15
Cría	3-5	0.5-4.7	15-30
Juvenil	7-12	10-50	45-60
Adulto	10 –18	70 –100	70- 90

4. PRODUCCION ACTUAL DE SEMILLA

Durante la década de la prohibición de la Tilapia, el único centro de producción de alevinos revertidos fue la Unidad de Acuicultura de San Juan en Lima, el cual se concluyo en su construcción en Junio de 1 988, como una unidad experimental, ocupando un área de 4 has aproximadamente, se construyo inicialmente con el propósito de lograr una producción durante todo el año de alevinos revertidos, el cual se lograría aprovechando en los meses de verano la temperatura ambiental de la zona, y en los meses de baja temperatura, con la ayuda de potentes calentadores, que después demostraría un excesivo costo, restringiéndose solo la producción de semilla a los meses de verano. Esta Unidad se mantuvo trabajando gracias al proyecto de Acuicultura con Aguas Residuales Tratadas que

manejo el MTCVC con el soporte técnico del CEPIS/OPS y el financiamiento de PNUD, BM y GTZ de Alemania. Sin embargo, solo se ha mantenido como unidad piloto con una producción anual fluctuante entre 100 y 350 millares de alevinos revertidos. A partir del 2000 es trasladado a Villa el Salvador, donde actualmente es administrado por el Ministerio de vivienda y Construcción.

Como respuesta a la demanda suscitada por el cultivo en los últimos tiempos, la Empresa Tilapia Perú SRL instaló un módulo piloto de producción de semilla en Piura, cuya producción iba en aumento y cuyo único objetivo primordial era el de proporcionar alevinos revertidos de Tilapia durante todo el año así como la de incentivar y promover el cultivo de la Tilapia, lamentablemente por falta de apoyo y en vista que el mercado era muy fluctuante y todavía no existía una política de cultivo nacional de tilapias, tuvo que parar sus instalaciones en el 2002.

Hoy en día existen empresas dedicadas al cultivo de la tilapia que producen su propia semilla como una forma de asegurarse un suministro constante en cantidad y calidad de alevinos revertidos.

También existen algunos productores de semilla como la Universidad Agraria La Molina y La estación de tambo de Mora de FONDEPES; y otros particulares de los cuales no se conocen con exactitud la calidad de sus reproductores y mucho menos la calidad de su semilla revertida, ofertando en muchos casos en cantidades pequeñas.

Actualmente no existe un centro de producción de semilla de tilapia que maneje cantidades industriales de semilla de calidad reconocida tanto por instituciones públicas como privadas.

5. ESPECIES CULTIVADAS DE TILAPIA

La Tilapia es uno de los géneros más recientes dentro de la escala evolutiva (unos 40'000,000 de años), en comparación con otras especies, lo que significa que aun no se encuentra de todo definido, lo que ha dado consecuencia a numerosas especies y subespecies.

Para la Acuicultura comercial, se llegaron a mencionar como las especies más importantes de Tilapia a: T. rendalli, T. zilli, T. mossambica, T. hornorum y T. nilótica, de las cuales la más aceptada resultó ser a Tilapia nilótica, tal como lo indican los datos estadísticos de producción de diferentes especies de Tilapia, según FAO, para 1994. La razón indudable de la preferencia en el cultivo de la Tilapia nilótica, se basa en que esta

posee una serie de atributos favorables para el cultivador, como son: resistencia a bajas concentraciones de Oxígeno, rangos variados de salinidad, resistencia física(al manipuleo), acelerado crecimiento, es fuerte a la acción de los agentes patógenos(enfermedades), aprovecha bien la producción natural del estanque (microalgas), hace buen uso de los subproductos agrícolas(polvillo, afrechillo, etc.) y de las dietas balanceadas(alimento preparado). Las excelentes características que presenta su carne, tales como: textura firme, coloración blanca, poca cantidad de grasas, pocas espinas intramusculares y un buen sabor exótico; hace que se presente como un producto de alta calidad muy apreciado por los consumidores nacionales y extranjeros.

Una variedad nueva que ha recibido particular atención a partir de los 80, denominado Tilapia roja, (*Oreochromis sp.*) es un híbrido producto de dos o más especies de Tilapia, cuyo origen todavía no estaba bien documentada.

En general existen un sin fin de antecedentes sobre la aparición de esta nueva variedad, que no difiere mucho de la Tilapia nilótica cuya coloración natural es gris(llamada también plateada), salvo en la coloración roja y en ciertas propiedades en cuanto al cultivo intensivo.

Hoy en día se sabe que la Tilapia roja es un tetrahíbrido, es decir un cruce híbrido entre cuatro especies representativas del género *Oreochromis*: *O. mossambicus*, *O. niloticus*, *O. hornorum*, y *O. áureos*; y en vista de que cada uno de estas especies, aporta al híbrido sus mejores características, resulta el pez con mayor potencial para la acuicultura comercial en el mundo. En general esta variedad resulto ser una buena alternativa; por presentar una coloración de la mezcla del rosa, amarillo y dorada, siendo preferida sobre el resto de las Tilapias, llegándose a denominarla como “La Gallina de Agua”, por su exquisito sabor, fresco y agradable, con pocas espinas y con un buen nivel de proteínas, mas elevada que en el presentada en las carnes roja.

A pesar de todas las cualidades de esta variedad de Tilapia, su cultivo estuvo limitado, debido a que es necesario contar con líneas puras genéticamente, para poder obtener los alevinos de Tilapia roja, lo cual es muy difícil de mantener. Así al no contar con los organismos puros genéticamente se ocasionarían en los descendientes híbridos, enanismo y colores pocos llamativos al consumidor.

Esto motivo que algunos países como Israel han mejorado estas especies para la producción masiva de híbridos de diversas líneas de Tilapia roja, siendo actualmente la

Tilapia roja más cultivada la trihíbrida y tetrahíbrida, que se manejan con reversión sexual como la nilótica gris.

Recientes investigaciones están tratando de masificar la producción de supermachos (YY) para obviar la reversión sexual, pero esto aun no se ha desarrollado al nivel comercial, es mas no ha dado buenas expectativas.

En nuestro país ingresaron en los 60' lotes de tilapia rendalli, tilapia nilotica. Tilapia hornorum y tilapia mossambica, posteriormente en 1996 ingresan lotes de tilapia roja y tilapia nilotica con fines de producción y renovación de reproductores.

Otras empresas han ingresado ha partir del 2001 lotes de reproductores de tilapia aurea y tilapia roja con fines de producción, como son Melis Fishery y American Quality Acuaculture.

También se han ingresado semilla de tilapia roja revertida de Ecuador, Colombia, etc. con fines de producción en el país.

6. MATERIAL GENETICO EXISTENTE EN EL PERU

La producción indiscriminada de alevinos en la Amazonia no permite asegurar que actualmente se cuente con un material genético de buena calidad en esta zona, es mas seria irresponsable trabajar con estas especies degeneradas por falta de control y aun más grave comercializar la semilla de dudosa calidad.

En la costa se trabaja actualmente con una línea Panameña de Tilapia nilótica variedad gris, mejorada en San Juan(Lima) respecto a su rusticidad, ya que ha sido expuesta a condiciones ambientales difíciles durante 5 años, dando como resultado una línea adaptada a nuestra realidad que hasta la fecha no ha reportado problemas. Igualmente sé esta manejando la línea Costarricense de Tilapia Roja tetrahíbrida, material que inicialmente se trabajo en San Juan y que ahora sé esta reproduciendo en el Hatchery de Tilapia Perú SRL. En el departamento de Piura.

Como ya se menciona anteriormente otras empresas también han ingresado lotes de reproductores de tilapia roja, tilapia áurea, entre otros para la producción de semilla revertida a machos.

7. METODOS PARA CONTROLAR LA REPRODUCCION EN TILAPIAS

El principal problema en el cultivo de las Tilapias es su proliferación. Se reproducen fácilmente a una temprana edad (3 a 6 meses) aun cuando todavía son

pequeñas y a partir de ahí tienen desoves múltiples durante todo el año, lo que implicaba una mala producción por competencia de alimento y espacio entre padres e hijos, lo que al final no representaba una buena inversión para los piscicultores.

Así mismo se conocía que en la mayoría de las Tilapias, los machos tienen mayor capacidad de crecimiento que las hembras, aun así se crían por separado, esto asociado a que las hembras al llegar a la madurez sexual (2 a 3 meses), siendo aun pequeñas se reproducen y en especial en las de incubación bucal, dejan de alimentarse por todo este periodo en que cuidan a sus huevos fecundados hasta a la incubación o nacimiento de las larvas (5 a 8 días) y continúan así por unos días más, existiendo así un gasto de energía dedicada solo a la reproducción, no desarrollando en vista que continúan reproduciendo. Por esto, es preferible el cultivo de una población monosexual de machos, lo cual se puede obtener por diferentes formas.

a.- Cosecha periódica de larvas y alevinos.

Este método consiste en realizar pescas continuas de las crías que se producirían al criar peces de ambos sexos, el cual es efectivo solo en estanques pequeños, en vista que en los estanques grandes estos tendrían más espacio para esconderse, este método no es muy efectivo, por que siempre va a quedar una pequeña cantidad de alevinos sin pescar, además de exigir mucho trabajo, o una labor muy intensiva (diaria) para la pesca de los alevinos, los cuales podrían ser criados o usados como alimento para otros animales. Lo bueno de este método es que no exige mucha destreza en la labor.

b.- Cultivo monosexual, separación por sexos.

Este método, es similar al anterior, consiste en producir grandes cantidades de semilla o alevinos, los cuales posteriormente son cosechados y sembrados en otros estanques, donde desarrollarán hasta un tamaño apropiado para poder ser sexados (20 a 30 gr.), que según el lugar puede durar de 1 a 2 meses, esto se fundamenta en que el macho desarrolla más que la hembra, este trabajo exige muchas horas de trabajo continuo, así como una destreza en la labor del sexado, que en muchas ocasiones solo llega a un 90 % de eficiencia, lo que involucra un riesgo al tener peces hembras en los estanques de cultivo. Los peces hembras pueden ser cultivados o como en la mayoría de los casos usados como parte de la dieta de peces.

c.- Cultivo en estanques con altas densidades.

Este método se fundamenta en que a mayores densidades, los peces no tendrían el tiempo ni el espacio suficiente para dedicarse a la reproducción, al tener grandes cantidades de animales significaría mantenerlos con una buena cantidad de alimento de buena calidad (balanceada), con un flujo de agua de buena calidad y cantidad, así como contar con energía eléctrica con el propósito de proporcionar un sistema de aireación, lo que significaría llevar un buen manejo con personal capacitado. Este sistema no es muy apropiado, primero por el costo, sobre todo si se va a crías machos y hembras que no desarrollan igual y segundo por que este sistema se podría utilizar en otros métodos más ventajosos.

d.- Cultivo con peces depredadores.

Cuando los juveniles de Tilapia se crían en granjas pequeñas y tecnológicamente especializadas, un método apropiado de control de población es el confinamiento de peces depredadores. El uso de depredadores es muy común en África y en otras partes, donde el cultivo de poblaciones de ambos sexos originan una reproducción indiscriminada, que significa una competencia por el alimento y el espacio entre padres e hijos, este sistema también libra de los peces malformados que no son vistos con agrado. Este método es difícil, en vista que se debe conocer el número apropiado de peces depredadores, que no vayan a dañar a los de cultivo.

e.- Cultivo en jaulas flotantes.

Se tiene conocimiento de que el temprano interés por el cultivo de Tilapia en jaulas se basó en la suposición de que el desove natural no ocurriría en las jaulas o, si ocurría, la descendencia no permanecería en las jaulas de modo que no habría sobrepoblación, como en los estanques. Se supone que los huevos y la esperma pasan a través del fondo de la red. Este método serviría posteriormente para el cultivo de poblaciones de peces machos (monosexo), con buenos resultados, aprovechándose los lagos, lagunas, represas, reservorios, etc.

f.- Hibridación.

Este método se basa en el cruce de dos especies genéticamente diferentes en ambientes controlados.

El entrecruzamiento es realizado con la finalidad de: producir organismos solo machos, los cuales evitan los problemas de sobrepoblamiento y enanismo que se presentan en los cultivos de ambos sexos de Tilapia, ocasionado por la precocidad reproductiva de estos peces; por el incremento de vigor híbrido, con especies que tienen mejores atributos que sus progenitores (longitud, altura, peso, crecimiento, hábitos alimenticios etc.); y por la coloración externa más atractiva de estos peces.

Inicialmente los trabajos de hibridación de Tilapia tuvo como objetivo la producción de híbridos estériles, obteniéndose híbridos 100% machos.

Para la producción de 100% de alevines machos de Tilapia, se debe contar básicamente con reproductores genéticamente puros, lo cual dado las condiciones son difíciles de mantener y es muy complicado.

Los híbridos de Tilapia en algunos casos, alcanzan longitudes mayores que las de sus padres, tienen ventaja de aprovechar mejor los alimentos, soportan altas densidades en cultivos y atractiva presentación externa (Tilapia roja).

Sin duda no será necesario mencionar lo complicado y tedioso de este método, que necesariamente necesita de personal preparado y capacitado en esta labor, así como contar con una buena infraestructura (Hatchery)

Mecanismo de la Hibridación.

La base de la genética de la Hibridación, radica en que existen diferentes especies de Tilapias con variantes en la distribución de los cromosomas sexuales, existiendo especies contrarias, así:

1. Similar a la especie humana:

XY para el macho (heterogamético)

XX para la hembra (homogamética)

Donde es el macho el que presenta diferentes gametos y es el que determina el sexo de la descendencia, así tenemos a la T. nilótica, y a la T. mossambica.

2. Lo opuesto al caso anterior:

ZZ para el macho (homogamético)

WZ para la hembra (heterogamética)

La hembra que presenta gametos diferentes, es la que determina el sexo en la progenie, así tenemos a la T. hornorum y a la T. áurea.

Así al realizar el cruce tenemos:

1. T. hornorum(macho) x T. nilotica(hembra)

ZZ

XX

ZX, ZX, ZX, ZX, **100% machos**

2. T. hornorum(hembra) x T. nilotica(macho)

WZ

XY

WX, WY, ZX, ZY,

25% **75%** 25% Hembras, **75% Machos.**

Tabla # 3. Hibridación de Tilapia

Hembra	Macho	%Machos	Año	Estado	Referencia
O. mossambicus	O. u.hornorum	100	1960	-	Hickimg,1960
O. niloticus	O. u.hornorum	100	1968	Israel	Hepher y Pruginim, 1985
O. niloticus	O. aureus	100	1967	Israel	Yashouv y Halevey, 1967
O. aureus	O. mossambicus	75	1976	Oaxaca	Delgadillo TMD 1975 Pub.
O. mossambicus	O. hornorum	75	1984	Nayarit	De la Paz O. 1985 Publicado
O. mossambicus	O. hornorum	75	1983	Guerrero	Mercado C. 1987. Con. Per.
O. niloticus	O. mossambicus	80	1987	Tabasco	Galvan V, 1987. Con. Per.
O. mossambicus	O. hornorum	83	1982	Morelos	Castañeda C. 1987, Con. Per.
O. niloticus	O. hornorum	80	1987	Oaxaca	Perez Galicia 1987, Con Per.

Fuente: Armando Morales (CIB) 1991 y Castillo, 1994.

g.- Arrastre de cadenas.

Payne (1970) (citado por Balarin, 1979), supone que arrastrando cadena por el fondo, mientras se muestrea, remueve el substrato, causando altas mortalidades en los huevos y alevinos embrollándoos de las distintas especies de tilapia por un daño físico, por enterramiento o como resultado de la desoxigenación causada por el revolviendo del limo. Por esto, recomienda periódicos movimientos del fondo. Este método requiere de nuevas investigaciones para lograr una mayor y relativa técnica especializada, la puede ser usada efectivamente en el control de la población de peces que necesitan substrato para reproducirse. Estanques de cemento pueden también ayudar a garantizar que las especies de tilapia no incuben, debido a que no pueden construir nidos. Esto actualmente no es del todo práctico ya que el autor a sido testigo de la reproducción en estanques de concreto.

h.- Ginogénesis.

Balarin (1979), opina que este método puede ser aplicado a las especies de tilapia y sarotherodon, ya que Cross (1976), logro buenos resultados en la carpa herbívora *Ctenopharygodon idella*. Este método se basa en la utilización de la luz ultravioleta para estimular a los huevos a desarrollarse inactivando al esperma. El resultado es que solamente los cromosomas sexuales femeninos desarrollan y producen hembras normales. Este proceso también permite la selección de características deseables; sin embargo, a causa del pobre desarrollo de la hembra, es dudoso que pueda desarrollarse esta técnica para tilapia.

i.- Secado de estanques.

Chau & Dhari (1967) (citado por Balarin, 1979), describen un método empleado en Indonesia por medio del cual la reproducción de los peces es controlada con la extracción de los alevinos.

El método consiste en el secado del estanque a su nivel mas bajo, donde se mantienen a los alevinos, mientras que a los reproductores se les mantiene en el nivel mas alto.

Esta operación permite extraer a los alevinos para ser utilizados en un nuevo cultivo o para ser mantenidos en estanques para ser clasificados antes de su uso en un reestoqueamiento. Esta operación se repite quincenalmente y nos permite mantener la

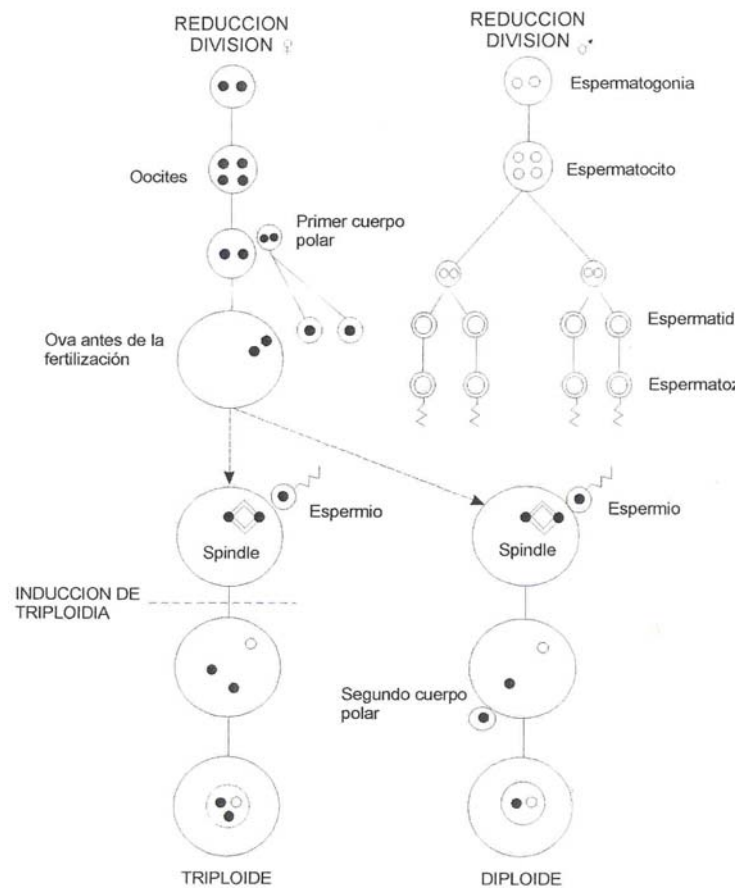
población del estanque a una densidad establecida. (Meschkat, 1967; citado por Balarin, 1979).

j.- Triploidia.

Un triploide es un individuo que presenta tres, en lugar de dos, juegos de cromosomas en sus células somáticas, como generalmente ocurre en la naturaleza. La triploidia se logra cuando los procesos normales de reproducción son interrumpidos de manera tal que se previene la expulsión del segundo cuerpo polar luego de la segunda división meiótica en la ova. De esta forma; dos juegos de cromosomas maternos son retenidos en ella, los cuales se fusionan con un tercero aportado por el espermio del macho dando origen a un embrión triploide.

La inducción a la poliploidia, se realiza aplacando choques termicos, este choque termico inhibe la formación del cuerpo polar secundario y produce un 75 % de poliploidia, lo que ocasiona que estos individuos no sean aptos para la reproducción.

Representación esquemática de la inducción de triploidia.



k.- Producción de peces supermachos (YY machos)

Este método busca reducir o limitar el uso de andrógenos en la producción monosexo de tilapia y produce únicamente descendientes machos (Scout et al., 1989; citado por Hillary, 1997).

Dado que el sexo fenotípico de la tilapia puede ser invertido, esto es posible en el caso de *O. niloticus* y *O. mossambicus*. La feminización de los machos (XY) por tratamiento con estrógenos los cuales posteriormente serán cruzados con un macho normal XY, la feminización de machos producen descendientes con proporciones de los siguientes genotipos : 1XX hembra; 2XY machos ; 1YY macho, este ultimo genotipo es viable (YY macho), están identificados en algunos estudios (Mair et al., 1991; citado por Hillary, 1997).

Teóricamente únicamente descendientes machos resultan del cruce de hembras (XX) con machos (YY).

Similarmente, la feminización de *O. aureus*, machos (ZZ hembras) y subsiguiente el cruce con un macho normal se obtiene como resultado descendientes todos machos (Lahar, 1993; citado por Hillary, 1997).

1.- Otros métodos.

- Poliploidia en Tilapias.
- Androgenesis.
- Castración química.
- Irradiación para esterilización.
- Inmersión en esteroide para la masculinización de tilapia: MDHT, MT, ET, TBA, etc.

II.- Reversión sexual o inducción sexual.

Este es uno de los métodos mas usados, para la producción de alevinos machos de Tilapia y el principal método del que vamos a hablar.

8. METODOLOGÍA PARA INVERSIÓN SEXUAL EN TILAPIAS.

Los pasos a seguir son los siguientes:

- a. Selección y características de los organismos para la reversión sexual.
- b. Selección del esteroide, dosis y tiempo de aplicación.

- c. Métodos de aplicación del esteroide.
- d. Comprobación de la reversión sexual.

8.1. Selección y características de los organismos para la reversión sexual.

Es deseable que los peces que vayan a ser tratados, sean gonocóricos o hermafroditas, que son formas de definición sexual en peces, la primera se caracteriza por que el organismo presenta la potencialidad de definir su gónada hacia ovario o testículo, y la segunda es en la que los peces poseen tejido ovárico o testicular en la misma. Las formas de definición sexual hacen posible que en los peces el sexo sea manipulable por medio de esteroides. Así mismo, es necesario que la especie presente dimorfismo sexual por medio del cual podrán identificarse los cambios de acuerdo a las características sexuales propias de machos y hembras de las especies que se estudien, así como por el comportamiento sexual que asuman, (Yamamoto, 1969).

En general para todas las investigaciones se han usado crías las cuales aun no absorben el saco vitelino, con la finalidad de que el primer alimento artificial que consuman contenga el esteroide deseado que iniciara el cambio fisiológico dentro del organismo que traerá como consecuencia la inversión sexual de la gónada.

Para *Tilapia* y *Oreochromis*, han sido utilizadas solamente crías que no excedan los 12 mm de longitud lo cual se debe a que la gónada normalmente se forma en tallas posteriores a la indicada y por lo tanto si el tratamiento no es aplicado en los primeros días de desarrollo, este resulta obsoleto.

Jansen y Shelton 1979, indican que la gónada de *tilapia aurea* se define entre los 18 y 22 mm que los animales alcanzan entre los 49 y 56 días de edad, Buddle 1984, trabajo con crías de *Oreochromis sp.* de 11 mm obteniendo buenos resultados.

8.2. Selección del Esteroide, dosis y tiempo de aplicación.

La reversión sexual de hembras genéticas a machos fenotípicos ha sido llevada a cabo en especies como *Orizias latipes*, *Carassius auratus*, *Tilapia* y *Oreochromis*, *Peocilia reticulata*, *Zebradanio rerio*, *Salmo gairdneri*, *S. Salar*, *Oncorhynchus kisutch*, *O. Masou*, *O. Gorbuschia*, *O. Tshawytscha*, (Yamazaki, 1983). Los andrógenos más usados para lograr la inducción sexual a machos son los siguientes:

- 17 metiltestosterona.
- 11 ketotestosterona.

17 etiniltestosterona.
Testosterona-propionato.
Androsterona.
Metil-androstandiol.
Otros

La potencia de estos esteroides para producir la inversión sexual varia y se ha visto que tienen una mayor eficiencia los sintéticos que los naturales, según indican varios autores expertos en el tema. Yamamoto & cols. 1953, han calculado el AD₅₀, que es la dosis específica de esteroide que debe usarse para lograr la inversión sexual completa y el ED₅₀, que es la dosis de esteroides necesaria para producir en los organismos solamente los caracteres sexuales secundarios, mencionan como ejemplo de esteroide natural mas potente a 11 ketotestosterona y como esteroide mas potente entre los artificiales a 17 metiltestosterona.

Yamasaki, 1983; cita los AD₅₀ para las siguientes especies: *Carassius auratus* 25 mg/kg. *T. Mossambica* 25 mg/kg y *T. Nilotica* 30 mg/kg y *T. Aurea* 30-60 mg/kg (en todos los casos son muy bajas 0.5 a 3 mg/kg. El esteroide masculino mas usado ha sido la 17 metiltestosterona, ya que es eficaz y fácil de conseguirse. En el cuadro Nro. 2 podemos ver que la mayoría de los autores han utilizado el esteroide mencionado para lograr la inversión a machos.

Los estrógenos mas usados para lograr la reversión sexual a hembras, son los siguientes:

17 –estriol.
Estrona
Estradiol
Diestilbestrol
Etinilestradiol
Estradiolbutiril-acetato.

La feminización ha sido ampliamente lograda con la 17 estradiol en salmónidos, (Johnston & cols, 1979 citado por Yamamoto 1983) dicho autor reporta que al tratar alevines de 5 días de nacidos con una dieta con 20 mg/kg de dieta por 60 días se obtuvo un 100% de feminización en *Salvelinus fontinalis*. El mismo autor indica que con la misma especie, haciendo inmersiones de dos periodos de 20 horas por 30 días en agua con una

concentración de 250 mg/l del compuesto hormonal y alimentado a los peces por el mismo tiempo con 20 mg/kg de dieta, logra 100 % de feminización. La estrona ha sido usada para lograr la inversión en especies como *Orizias latipes*, *Carassius auratus*, *Salmo gairdneri* y *Tilapia nilótica*. Esta hormona ha tenido 100% de efectividad, solamente en la primera y la tercera especies mencionadas usando 125 y 100 mg/kg de dieta en 240 y 60 días de tratamiento respectivamente; las otras especies presentan porcentajes de inversión de 54 a 95% con dosis que van desde 30 hasta 300 mg/kg de dieta y por periodos de 25 a 180 días. Para *T. nilótica* se reportan 100 y 200 mg/kg de dieta de 25 a 59 días de tratamiento para producir de 62 a 78% de feminización. Los esteroides femeninos sintéticos más usados han sido Diestilbestrol, etinilestradiol y estradiolbutiril-acetato. Con *T. nilótica*, Tayamen y Shelton (1978); citados por Yamazaki 1983, experimentaron dosis de 25 mg/kg de dieta de dietilestilbestrol por 25 a 59 días de tratamiento obteniendo un 73 a 90% de feminización. El mismo autor indica que Nakamura y Takahashi 1973, logran un 100% de feminización al aplicar a la dieta 50 mg/kg de etinilestradiol por 19 días a partir del primer alimento en animales de 6 a 25 días de nacidos. El porcentaje de hembras que se obtuvo en *Tilapia nilótica* al aplicar 25 mg/kg de dieta por 25 a 59 días de tratamiento fue de 73 a 90% y se obtuvo el mismo cuando se aplicó a la dieta 100 mg por el mismo tiempo. En el cuadro Nro. 3 se sintetizan la información consultada sobre feminización en tilapias; cabe señalar que a diferencia de la masculinización que se practica ampliamente, la feminización ha sido difícil tanto en la selección del esteroide, como en las dosis que deben aplicarse.

Cuadro Nro. 3

TRABAJOS SOBRE INVERSIÓN SEXUAL A HEMBRAS EN TILAPIAS

ESPECIE	ESTEROIDE	DOSIS mg/kg dieta	TIEMPO (días)	0 0 %	AUTOR
Tilapia nilotica	Estrona	100 mg/kg	25 – 59	62-78-28.1	Tayamen y
		200 mg/kg	25 – 59	62-78-28.1	Shelton 1978
Tilapia nilotica	Diestilbestrol	25 mg/kg	25 – 59	73 a 90	Tayamen y
		100 mg/kg	25 – 59	73 a 90	Shelton 1978
T. mossambica	Etil Estradiol	50 mg/kg	100	N6 a 25	Nakamura y Takahashi 1973
T. aurea	Ciproton acetato	25 mg/kg	35	60	Nakamura y
		100 mg/kg	35	63	Takahashi 1973
T. aurea	EE + metalibur*	25 mg/kg	42	50	Hopkins y
		100 mg/kg	42	51	Shelton 1979

* Bloqueador de la pituitaria

En relación a los tiempos en que se debe iniciar el tratamiento y la duración del mismo, es necesario aclarar que estarán dados particularmente para cada especie, de acuerdo a los tiempos en que se inicien y se termine de formar la gónada. De tal manera que conociendo esta información el tratamiento se iniciara en el momento adecuado para la especie con que se trabajo y terminara cuando la gónada se encuentre completamente definida.

En los cuadros 2 y 3 se aprecia claramente que para tilapia los tiempos de inversión sexual se encuentran definidos y estos se han podido dar gracias a numerosos estudios y estos se han podido dar gracias a numerosos estudios histológicos que han hecho posible saber que en las crías de 18 a 22 mm de T. áurea por ejemplo la gónada ya esta definida. Por lo cual Shelton y Guerrero recomiendan que se usen animales menores a 12 mm para iniciar el tratamiento. El tiempo mas largo de tratamiento es de 60 días, pero en el se asegura, si la dosis de esteroide es correcta un éxito total de la inversión.

8.3. Métodos de aplicación del esteroide.

De acuerdo a la bibliografía consultada, se definen tres formas principales de aplicación de los esteroides en peces:

La Inyección subcutánea o introducción de los cristales de esteroide bajo la piel (Okeda 1943 y 1949, citado por Yamamoto, 1953), la cual fue muy usada antes de que se fabricaran los esteroides sintéticos, pero que no se reporta dentro de las nuevas experimentaciones.

La Inmersión de los organismos en agua que contenga los esteroides. En párrafos anteriores se ha comentado que este tratamiento es frecuente en Poccilidos y en los salmónidos.

Dar alimento balanceado tratado con el esteroide. Este método es el mas frecuente para la mayoría de las especies en las que se ha hecho inversión sexual y muy especialmente en la tilapia, por lo que es necesario indicar que Guerrero y Shelton (1975), proponen la técnica de preparación de alimentos con hormonas. Esta preparación es muy sencilla y consiste en disolver en 1 litro de alcohol etílico de 95° la cantidad de hormona que se desee probar. Esta solución se agrega a 1 Kg. de alimento balanceado y se da un secado de 2 horas a 80°C, después de lo cual estará listo para ser usado. Algunos autores, como Quintero (1985), han modificado la técnica agregando al alimento preparado como se describió

antes, un complejo vitamínico, ácido ascórbico y un antibiótico, con la finalidad de que el alimento tenga una calidad deseable.

8.4. Formas de comprobación de la reversión sexual.

La forma más frecuente de comprobar la inversión sexual es por medio del análisis de los caracteres sexuales secundarios que las especies presentan. Estas pueden ser modificaciones en las aletas, presencia de accesorios en alguna parte del cuerpo, modificación de las mandíbulas, etc. Estas características se pueden apreciar cuando los peces han crecido, por ejemplo en la tilapia se puede definir el sexo por medio de la observación de los poros ventrales, ya que las hembras presentan tres y los machos solamente dos y una papila bien definida. Estos caracteres se definen claramente cuando los animales miden 5 cm. Harper y Pruginin (1985), indican que a los tres cm. pueden ser apreciables las diferencias pero que es conveniente teñir con azul de metileno el vientre del pez para tener mayor seguridad de apreciación. Guerrero y Shelton (1974), desarrollan una técnica para poder observar la gónada en *T. aurea* de 25 a 35 mm. La técnica consiste en retirar el tejido gonádico del pez que se encuentra cerca de la vejiga natatoria, ponerlo en un portaobjetos y macerarlo para posteriormente hacer observaciones al microscopio. El tejido ovárico, ovocitos. Los autores comentan que la observación del testículo resulta complicada y recomiendan que antes de practicar la técnica se haga un buen número de disecciones hasta localizar el tejido gonádico perfectamente.

Nakamura (1973) y Yoshikawa (1978), definen el sexo por medio del estudio de cortes histológicos transversales de pez en los que es posible observar la gónada a ambos lados de la vejiga natatoria y se puede ver claramente si el tejido corresponde a testículo o a ovario. Han tomado muestras cada tres a cinco días, y han observado el desarrollo de la gónada y definen el sexo con seguridad, la desventaja de este método es que los animales deben ser sacrificados.

9. FACTORES QUE AFECTAN LA REVERSION SEXUAL.

9.1. La selección inadecuada de los esteroides y su aplicación.

Es necesario seleccionar un esteroide adecuado, que se puede conseguir fácilmente, que sea barato y bastante potente, que no se vea afectado al ponerlo en el agua o al pasar por el tracto digestivo. Se deben conocer las características reproductivas de la especie que se va

a trabajar para seleccionar adecuadamente el método de aplicación, como se comento el mas eficaz ha sido la ingestión oral en la mayoría de las especies estudiadas.

9.2. Tiempos de tratamiento.

Como se indico anteriormente es necesario el tiempo de definición gonádica de la especie, para iniciar el tratamiento antes de que esta se empiece a formar y es deseable que el tratamiento termine cuando la gónada se encuentre totalmente formada. Generalmente el tiempo de tratamiento se prolonga con la finalidad de asegurar la inversión. Para tilapias, como ya se había mencionado el periodo de inicio debe ser entre 9 y 11 mm y el tiempo de tratamiento que se considera el mas seguro son 60 días, Guerrero (1976).

9.3. Variaciones de temperatura.

La inversión sexual se da relativamente fácil a la temperatura optima a la cual se desarrollan las especies que se tratan. Pero no todas ellas reaccionan de igual forma a la inversión cuando hay cambios en la temperatura. Esta también es determinante para el crecimiento de los organismos, y para los fines comerciales que en muchos casos persigue la inversión sexual, es necesario que las crías se desarrollen rápidamente para poder trasladarlas a sistemas en donde el crecimiento sea acelerado. Shelton y Hopkins (1978) y Shelton y Rodrigues (1981), trabajan variando la temperatura a *T. aurea* y *T. nilotica* y obtienen los siguientes resultados:

- Para la primera especie, dando tratamientos por 4 semanas con ET 30mg/60dias entre 21 y 23°C obtienen 100 % de inversión sexual y una talla de peces de 23.7 mm.
- Para la misma especie, dando el tratamiento entre 27 y 29°C por 3 semanas, obtienen 97 % de inversión, con animales de 20.7 mm.
- Para *T. nilótica* tenemos que a la primera temperatura mencionada arriba y con el mismo tratamiento pero, por 5 semanas los resultados fueron 100 % de inversión y 23.5 mm de talla en los peces.
- Para la misma especie dando el tratamiento indicado entre 27 y 29°C los resultados son 91 % de inversión con animales de 23.6 mm.
- Ahora comparado las dos especies dando el tratamiento solo por 3 semanas a temperaturas entre 21 y 23 °C se obtienen resultados completamente diferentes.

Para t. áurea 50 % de inversión y animales de 16.5 mm y para T. nilótica 99 % de inversión y crías de 16.8 mm.

Las experimentación anterior, nos indica lo importante que es la temperatura, Yamamoto (1969), comenta que los mecanismos de definición sexual son afectados por la temperatura y que resulta favorecida la proporción de hembras en diferente especies, cuando recién nacidas se les pone a temperaturas mas altas de las que requieren para su desarrollo.

9.4. Tasa de alimentación.

Es recomendable alimentar a las crías con un 10 a 12 % del peso total de la biomasa, en tres o cuatro veces al día con la finalidad de mantener los niveles de esteroides en una proporción constante a lo largo tratamiento, Shelton (1978). El mismo autor, comenta que cuando el crecimiento de las crías no es parejo pueden encontrarse algunas diferencias en la respuesta a la inversión sexual. Cuando se alimenta en esta forma es necesario llevar un control de peso longitud para hacer los cambios adecuados en la cantidad de alimento.

Dentro de la bibliografía revisada algunos autores recomiendan alimentar a saciedad y sin control de peso, con la finalidad de evitar el manejo de las crías que trae como consecuencia mortalidad.

10. TECNOLOGIA DE PRODUCCION.

10.1. Estanque de reproducción.

Los estanques usados para la etapa reproductiva varían en tamaño de entre 100 a 500 m² existiendo aun de mayores tamaños, prefiriéndose los más pequeños por ser más manejables (100 m²), así nos permite tener lotes diferentes de reproducción a la vez, siendo la profundidad media de un 1 m. es necesario contar con un buen suministro de agua de buena calidad, el fondo del estanque debe presentar una caída hacia el desagüe (pendiente de 1 a 5 %), para permitir un desaguado rápido y completo del estanque cuando se requiera, el ingreso del agua debe ser preferentemente en caída y el desaguado debe ser por una estructura manejable(arqueta, monje, tubo flexible).

a. Preparación y llenado del estanque.

Antes de realizar el llenado de los estanques, se debe proceder a la poda de la vegetación, el cual circunda el estanque e evita que se erosionen los diques, porque

dificultan el acceso para la pesca, así como reduce el espacio y sirven de refugio para insectos que se alimentan de alevinos. Así mismo se debe limpiar el fondo del estanque y si es necesario nivelarlo.

Se debe evitar en lo posible el ingreso de peces e insectos depredadores, colocando una rejilla en el ingreso de agua, en zonas de selva es preferible colocarlo en la toma de agua colocando una manga de malla fina para evitar que se obstruya constantemente. También es recomendable instalar una malla fina en la salida del agua del estanque, para evitar el escape de las larvas o los reproductores.

En lugares con presencia de aves, es recomendable instalar una red que cubra el estanque o una red al contorno que evite que las aves intenten capturar a los reproductores.

Luego de la preparación del estanque se recomienda mantener un nivel del agua entre 50 a 70 cm, dependiendo de la zona (Temperatura ambiental) y del tamaño del estanque. El agua debe ser de buena calidad y se debe mantener un ingreso constante para proporcionar las mejores condiciones para los reproductores; la composición de agua debe ser la apropiada para el crecimiento de los peces y que su temperatura promedio no sea menor de 22 grados C, ni superior a 32 grados C. La salinidad debe ser inferior a 10 partes por mil.

b. Selección de reproductores.

Uno de los aspectos más importantes en todo sistema de producción piscícola en gran escala, es la selección y el manejo de los reproductores. Los caracteres externos de importancia dentro de la selección de los reproductores en general son:

- Buena talla y peso.
- Ejemplares saludables.
- No debe presentar heridas o ulceraciones en el cuerpo.
- Ausencia de deformaciones en el cuerpo o en las aletas.
- Libre de parásitos.
- Distribución normal de escamas.
- Buena coloración.

Un buen reproductor debe sobrepasar los 200 gramos de peso (para hembras).

c. Relación sexual.

Se recomienda trabajar con una relación de 2 a 1 de hembras con respecto a macho, e incluso una relación de 3 a 1 daría buenos resultados. El tamaño entre ambos sexos debe ser lo más parejo, se suele cruzar a las hembras con machos de menor edad, con la finalidad de evitar el maltrato del macho a la hembra.

d. Duración del ciclo de reproductores.

Efectuada la instalación de los reproductores en el estanque de reproducción, el tiempo establecido para la obtención de larvas va a depender de las condiciones ambientales (temperatura, radiación solar, etc.), que normalmente es de 9 a 13 días. Durante el periodo de reproducción se le suministra a los peces alimento balanceado con más de 30% de proteína, tratando en lo posible de no molestarlos.

e. Captura de larvas.

i. Captura diaria.

Transcurrido de 9 a 13 días, se procede a la captura diaria, dependiendo de la cantidad de larvas que se observe, hasta que se aprecie una significativa reducción de producción de larvas (30 a 60 días), tiempo en el cual se procede a la desmantelación de los reproductores para someterlos a un periodo de descanso (separados por sexos), la pesca se realiza pasando una red pequeña por todo el contorno del estanque. Esta operación es más laboriosa, pero garantiza más del 95% de larvas con buen tamaño para la reversión (menos de 14 mm).

ii. Captura total.

Este método consiste en esperar unos 21 días, cuando el día de mayor producción de larvas ocurre para proceder a un vaciado del estanque y el retiro de los reproductores, para capturar las larvas en un solo día. Este método es menos laborioso y permite recolectar más larvas en un solo día, pero existe una marcada diferencia de tallas entre ellas.

f. Selección y conteo de larvas.

Las larvas recolectadas son recogidas en recipientes (tinajas), procediendo a aclimatarlas al agua de los tanques de reversión, acto seguido se limpia de impurezas (plantas, restos de alimento, excremento, etc.) y de insectos (motonectas, chinches, larvas de liberula, etc.). Las larvas con más de 14 mm son separadas (podrían tener el sexo definido), utilizando una pequeña coladera, o en el caso de existir mucha diferencia de tallas, utilizando un seleccionador o clasificador (de malla metálica), con un diámetro de 3.2 mm. Posteriormente son contadas utilizando diferentes técnicas: de uno en uno, de 5 en 5, por volumen, por comparación, etc.

g. Transferencia de larvas a los tanques de reversión.

Las larvas recolectadas son instaladas en tanques de cemento a razón de 5 a 10 millares por metro cúbico. Allí se mantienen con un flujo continuo de agua cristalina (agua potable) y aire insuflado (Blower) durante un periodo de cuatro semanas. Diariamente se recambia por lo menos el 20% del volumen de agua y se extraen con sifón los residuos orgánicos (restos de alimento y excretas) y peces muertos.

Un alimento balanceado en polvo (45% proteína) es elaborado para la alimentación de las larvas, agregando en este la hormona que permitirá la reversión sexual. Dosis crecientes se proporcionan durante las cuatro semanas, aplicando seis raciones diarias con una frecuencia de dos horas durante el día. La supervivencia en esta etapa varía de 8 a 22%.

Los alevinos terminan la reversión con 0.3 – 0.5 gr. de peso promedio, y en la mayor parte de los casos pasan a una pre-cría hasta su venta. No es preferible mantener pre-crías largas, debido al poco espacio y competencia entre ellos que originarían mortalidades considerables. En el caso de pre-crías largas se recomienda hacerlos en los estanques de tierra o en tanques de mayor tamaño, se debe aclarar que los alevinos con mayor pre-cría tienen un costo superior al de los que recién terminan la reversión, así como mencionar que para embarques a provincias y viajes largos no es recomendable hacerlos con animales precriados (en todo caso disminuir el número por bolsa).

h. Administración de la hormona para la reversión sexual.

Históricamente, las operaciones de la reversión química del sexo estuvieron restringidas a las instalaciones con agua limpia, o en tanques internos para evitar la proliferación de microalgas que pudiesen disminuir el consumo de solo el alimento con hormona y así disminuir la eficiencia de la reversión sexual. Sin embargo hoy en día se sabe que la presencia de microalgas en los tanques de reversión (proporcionada), no interfiere en la acción de la hormona, es mas proporciona ciertos nutrientes que no se encuentran en los alimentos balanceados, que hacen que las larvas desarrollen más rápido y sanas.

i. Ingredientes utilizados en la dieta para la reversión sexual.

Los insumos a usarse para la elaboración de la dieta con hormona deben ser fáciles de adquirir en los mercados locales, para contar con ellos siempre que se necesiten, salvo la hormona que es más difícil de adquirirse, ya que solo se expenden en el extranjero, el cual se debe realizar con anticipación.

Actualmente se usan diferentes insumos y alimentos para peces, los cuales deben ser molidos a polvo, tamizados antes y después de la preparación del alimento, garantizando un tamaño homogéneo de las partículas del alimento, los cuales podrán ser cogidos por las larvas.

Un ejemplo practico de alimento para la reversión sexual es una mezcla de 4 harinas: trigo, maíz, soya y pescado(45 % de proteína), previamente la hormona es diluida en alcohol (60 mg/0.5 litro.), se mezclan y se deja secar a temperatura ambiente, removiendo de ves en cuando para un secado parejo hasta dejar de percibir el olor a alcohol.

j. Control en los tanques de reversión.

Es preciso una observación diaria de las larvas durante la reversión sexual, para vigilar su comportamiento y detectar con anticipación la presencia de parásitos, que nos permita tomar las medidas del caso a tiempo.

Es también necesario llevar un control de los parámetros físico químicos del agua(Temperatura, Oxígeno, pH, etc.), así como un registro diario del alimento suministrado desde el inicio de la reversión sexual.

k. Inducción sexual en hapas y estanques de tierra.

Con el fin de reducir costos y lograr la inversión sexual en lugares alejados, se logró desarrollar la inversión utilizando hapas en estanques de tierra, obteniéndose datos similares a los realizados en tanques de concreto y en ciertas variables como el tamaño final, los datos fueron positivos.

Por experiencia propia se conoce que ya no solo se puede confinar la inducción sexual al uso de sofisticados laboratorios y tanques de concreto, ya que también se puede realizar la inducción sexual en estanques de tierra usando jaulas (hapas), aprovechando la productividad primaria como fuente de nutrientes y vitaminas que no se encuentran en los alimentos balanceados, tal como se comprobó en trabajos realizados en la ciudad de Piura y continuación se comenta brevemente tal experiencia.

Al término del tratamiento, a los 28 días se realizó la cosecha de las hapas, obteniéndose los siguientes resultados: Para las hapas elaboradas con malla larvera roja, se obtuvo una sobrevivencia de 30,4 %, las tallas eran dispares (chicos, medianos y grandes) con una talla máxima de 1,8 cm a 2 cm. Para las hapas elaboradas de malla tipo mosquitera verde, se obtuvo una sobrevivencia de 84 %, con tallas parejas (95 % grandes y 5 % chicos), con una talla en promedio de 2,5 cm aproximadamente.

Es notable la diferencia significativa existente en los datos obtenidos en promedio entre los dos tipos de hapas, la mortalidad desde la segunda semana y la variación de tallas en las hapas elaboradas con malla larvera roja se debió al bloqueo de la red por las microalgas que se fijaban a ella, el cual no permitió una adecuada circulación del agua y a las no tan apropiadas condiciones que se tuvieron en los estanques como son: poco recambio de agua, 8,5 de pH, una salinidad de 11 ppm, 27° C de Temperatura en promedio y una variación de 4,5 a 1 ppm de O₂. Aun con estos factores las hapas elaboradas con malla tipo mosquitera dieron resultados más favorables, a la vez que por el hecho de tener mayor abertura de malla no se bloquean con las microalgas, permitiendo una mejor circulación del agua dentro de ella, lo que hace suponer que si se reduce la densidad a 5 000 larvas/m³ y se mejora la cantidad y calidad del agua, se podría obtener mejores resultados, sobre todo en la supervivencia.

Lamentablemente, no se pudo realizar una comprobación de la eficiencia de reversión a machos en los alevines, pero se estima un porcentaje de 80 a 95 % para hapas, 93 a 97 % para Tanques de Concreto y un 75 a 95 % para estanques de tierra (Torres,

2001); a diferencia de los 96 % de eficiencia dado para los tres por Espejo, 1997; citado por Vergara, 2001.

11. DESCRIPCIÓN DE LOS ANDRÓGENOS

Los andrógenos son compuestos derivados del ciclo pentano – per hidrofrenanteno, se encuentran estructurados por cuatro anillos unidos entre si, de designación literal; los anillos: A y B y C se encuentran conformados por seis átomos de carbono, mientras que el anillo D contiene cinco átomos de carbono. La numeración de los átomos de carbono se efectúan correlativamente, (marcillo & Landivar, 2000).

Los andrógenos pertenecen al grupo de los compuestos denominados C19 derivados del androstano. La testosterona, hormona sexual masculina en forma natural se caracteriza por presentar un grupo hidróxilo en la posición de C17, este compuesto sirve de referencia para la síntesis de algunos compuestos importantes que presentan efectos diferentes:

1. Mediante la esterificación con el ácido propionico o con el ácido enántico se obtiene compuestos androgénicos de elevada actividad con diferente duración de su efectividad.
2. Introduciendo un grupo metilo en posición C17 se obtiene la metiltestosterona, andrógeno de gran efectividad por vía oral.
3. Introduciendo un grupo etinilo en la posición del C17, y además eliminando en forma simultánea el grupo metilo en la posición de C19, se obtiene un gestágeno, que también presenta efectividad por vía oral. Los órganos testiculares y los ovarios segregan testosterona (Ufer, 1972).

12. ACCION HORMONAL

Los andrógenos actúan sobre los órganos y los caracteres sexuales secundarios, actúa en el sexo masculino, así como también en el femenino. Su acción fundamental consiste en el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios; comportamiento reproductor; maduración de los gametos en los machos (Lagler & cols., 1984; citado por Marcillo & Landivar, 2000), los andrógenos también contribuyen al crecimiento general y a la síntesis de proteína tal como acontece con las proteínas miofibrilares, presentado por la mayor masa muscular de los machos en relación a las hembras en muchos de los

vertebrados (Eckert & cols., 1992; citado por Marcillo & Landivar, 2000). En el sexo femenino se produce el fenómeno de virilización y puede inhibir y suprimir la maduración de los folículos ováricos.

13. ANDRÓGENOS UTILIZADOS EN EL PROCESO DE LA INDUCCIÓN 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 que varían entre 40 a 80 miligramos por cada kilo de alimento, dependiendo del tipo de hormona empleada, así:

- Metiltestosterona (Mt)
- Etiltestosterona (Et)

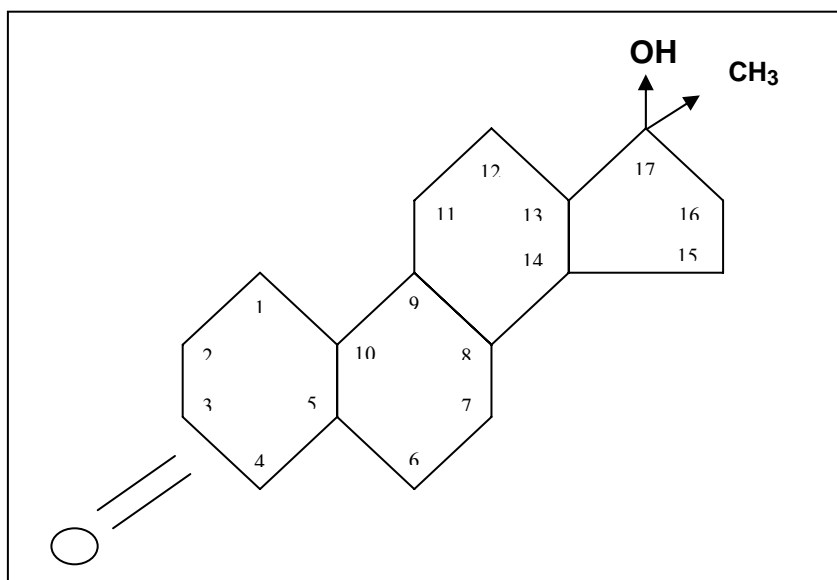
17 α - Metiltestosterona (17 α - hidroxí – 17 - α - metil 4 – androstan 3 – ona).-

Es el andrógeno que mas se emplea en los procesos a escala comercial, por las ventajas que presenta este fármaco, como es la inmediata disolución de sus cristales en el alcohol.

El 17 – alfa – metiltestosterona, se caracteriza porque posee el grupo metilo en el carbono 17.

Cabe mencionar que este medicamento se encuentra aprobada por la FDA de los EE.UU.(Figura 1)

Figura 1. Estructura química de la 17 alfa-metiltestosterona

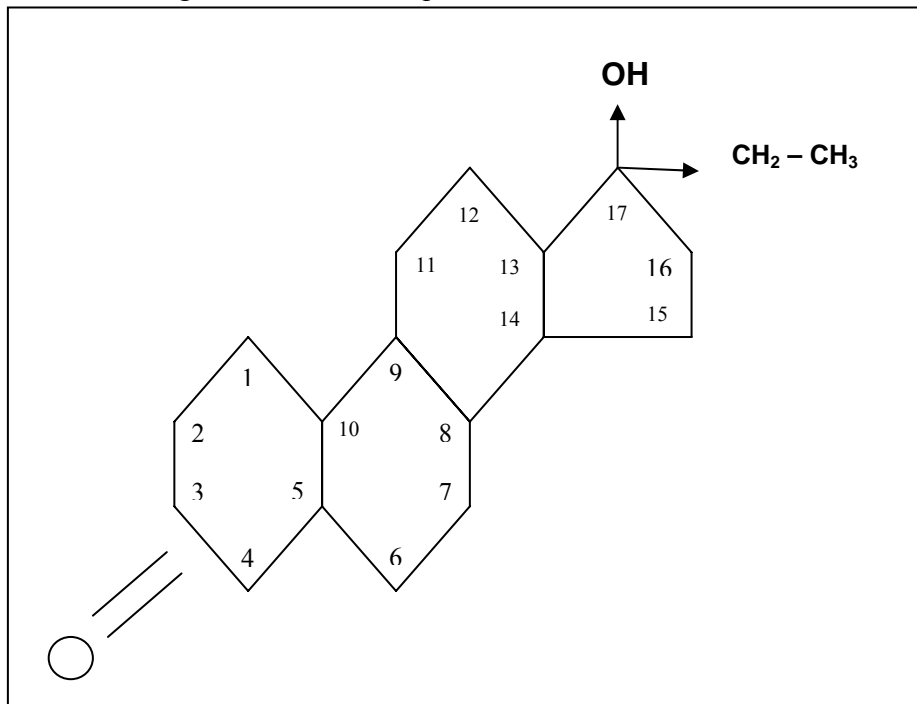


Fuente : Tomado de A. Arias, 1995; citado por Marcillo & Landivar, 2000

Etiniltestosterona (17 α - hidroxil - 17 - α - etil 4 - androstan 3 - ona).-

La etiniltestosterona, da resultados análogos a la Metiltestosterona, se caracteriza porque requiere de varias horas para que los cristales puedan disolverse en el alcohol con temperaturas del medio ambiente (Hepher y Pruginin, 1985; citado por Marcillo & Landivar, 2000)(Figura 2)

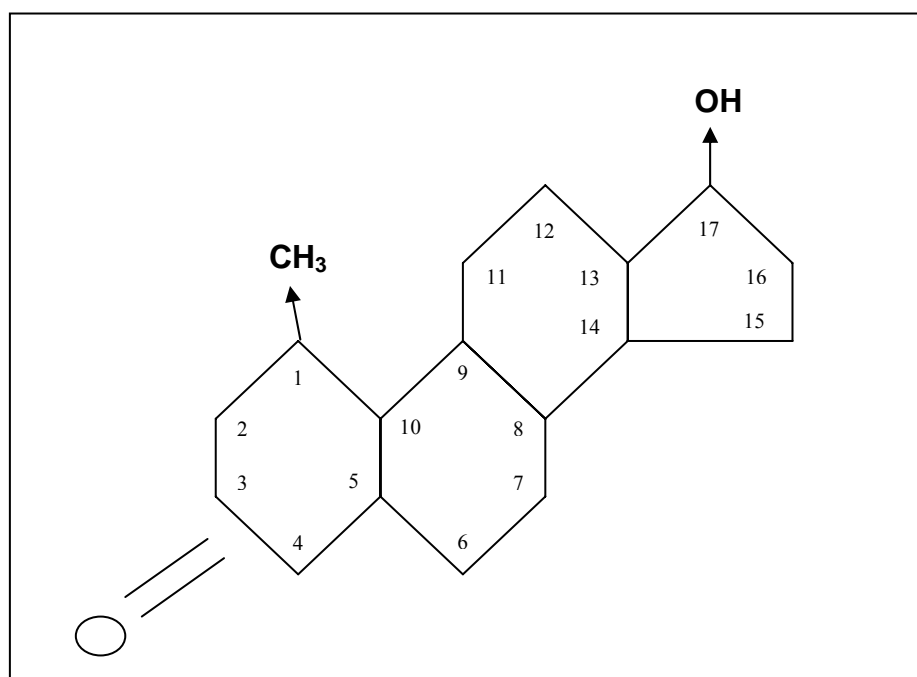
Figura 2. Estructura química de la etiniltestosterona



Fuente : Tomado de A. Arias, 1995; citado por Marcillo & Landivar, 2000

Arias (1995; citado por Marcillo & Landivar, 2000), demostró la eficacia de Mesterolona (ME), como hormona sustituta de la 17 α - Metiltestosterona, la Mesterolona (17 α - hidroxil - 1 - α - metil 5 - androstan 3 - ona), tiene la característica de poseer un grupo metilo en el carbono 1.(Figura 3)

Figura 3. Estructura química de la mesterolona



Fuente : Tomado de A. Arias, 1995; citado por marcillo & Landivar, 2000

14. EFECTIVIDAD DE LA INDUCCION SEXUAL EN LOS CICHLIDAE

El éxito de la inducción química del sexo de las tilapias, está basado principalmente en los resultados positivos obtenidos con *O. niloticus*, con el mismo procedimiento hormonal se ha tratado otras variedades de tilapia como: *O. mossambicus*, *O. aureus*, *O. hornorum* y el híbrido rojo de tilapia.

15. EFECTOS QUE TIENE EL CONSUMO DE PESCADO TRATADO CON HORMONA EN LA ALIMENTACIÓN DEL HOMBRE

El justificativo uso de los compuestos androgénicos en la inducción química del sexo en las tilapias, que establece que sea apto para el consumo humano, se basa en las consideraciones de la cantidad total de hormona que es suministrado a los peces durante el proceso y la tasa de eliminación, finalizado el tratamiento de la inducción, es pequeña en comparación con las dosis normales usados en los humanos, (Marcillo & Landivar, 2000)

La dosis mínima recomendada de testosterona, para el hombre es 100 veces mayor que para el total consumido por la tilapia durante la inducción química del sexo. En realidad, la mayor cantidad de la dosis de hormona es metabolizada y eliminada antes que el pez alcance su tamaño comercial; paralelamente el hígado convierte al compuesto

androgénico en sustancias más solubles, y al final es eliminado en la orina y en la bilis, (Marcillo & Landivar, 2000).

Cuando la Metiltestosterona es suministrado oralmente durante el tratamiento de la reversión química del sexo, el 90% de la hormona es excretado en las 24 horas siguientes, y solo 3 semanas después menos del 1% de la hormona permanece en el cuerpo del pez, (Marcillo & Landivar, 2000).

En el engorde a tamaño comercial, alevinos, juveniles y adultos, el pez continúa eliminando el remanente de 1% de la hormona.

En el momento de captura de poblaciones inducidas, el contenido de hormona es insignificante en los peces, si se toman en relación con la cantidad de hormona que los peces presentan en un medio natural para un adulto macho de tilapia.

El uso de Metiltestosterona para la reversión química del sexo de los peces para consumo ha sido aprobado por el departamento de drogas y alimento de los EE. UU, (Popma & Greem, 1990).

16. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA INVERSION SEXUAL.

Ventajas.

- Se ejerce un control en la tasa de reproducción con lo cual se evitan pérdidas en la producción y la presencia de crías.
- La inversión sexual a machos es adecuada para la producción, debido a que los machos de tilapia tienen un crecimiento más acelerado que las hembras.
- La inversión sexual a hembras, es de gran ayuda para obtener líneas de machos con características deseables para la producción como es el caso de los llamados “súper machos”
- El costo del tratamiento es bajo y fácil de aplicar, siempre que se cuente con la experiencia apropiada.
- Los resultados se obtienen en un tiempo relativamente corto.
- Las hembras no se pierden, como en el método de selección de sexos, para cultivo monosexo..
- Se puede usar poblaciones con altas densidades de peces tratados.

Desventajas.

- La inversión sexual no tiene resultado al 100 % en todas las especies de tilapia utilizadas en acuicultura y en muchos casos un rango de 95 a 99 % es aceptable, es irreal hablar de 100 % de eficiencia en el campo. Sin embargo según el tiempo de crianza se da el % de hembras aceptables por cultivo:

• 3 meses	10 %
• 5 meses	5 %
• 10 meses	0 %
• Cultivos en Jaulas o con predadores	20 a 50 %

- Si hay fallas en la inversión sexual a machos para propósitos de producción a gran escala hay pérdidas, ya que un 5 % de hembras en la población afecta el rendimiento pesquero, Anderson y Smitherman (1978), siempre que el cultivo se realice en un solo estanque, lo que no se aplica si se realizan el cultivo en diferentes estanques ya que al pasarse de un estanque a otro se van eliminando los peces que no se desean, Hurtado (2001)
- Se desconoce con precisión el efecto que puede causar sobre los humanos el consumo de peces tratados directamente con diferentes esteroides, Shelton y Hopkins (1978). Actualmente se sabe que ciertos Andrógenos no causan ningún efecto ya que son eliminados por el pez antes de llegar a la talla comercial.

17. MERCADO ACTUAL Y POTENCIAL DE SEMILLA.

Para el 2001, se llegó a estimar una demanda de más de un millón de alevinos para la zona de la Costa, debido principalmente a los proyectos ejecutados en Tumbes, Piura y Lima.

Para el 2004, debido a malas experiencias con los Langostineros y la instalación de Hatcherys por empresas dedicadas al cultivo industrial de tilapias, redujo la demanda de semilla producida por particulares. Sin embargo el constante interés de los peruanos por la tilapia, el interés de diversificar y obtener el máximo rendimiento de sus tierras, al integrar la acuicultura a la agricultura, al turismo, etc. hacen cada vez mayor la necesidad de contar con semilla para actividades pequeñas y medianas que recién se inicien.

En la selva se mantiene la misma demanda de años anteriores y se estima que actualmente se están cultivando alrededor de 8.5 millones de alevinos, ya que se trabaja con un tamaño comercial de solo 200 gramos en promedio. Pensamos que la Selva Alta tiene un alto potencial para producir 15,000 TM en el año 2020, especialmente si se logra entender que es uno de los cultivos alternativos más viables. Mejorando la tecnología para obtener peces de 500 gramos, proyectándose un requerimiento de otros 40 millones de alevinos.

Finalmente podemos agregar que nos hace falta contar con laboratorios que produzcan semilla en forma industrial, en cantidad y calidad avalada por el sector público y privado.

BIBLIOGRAFIA.

Disponible por el autor.