



**Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia**

**Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión
en Ganadería Tropical**

P a r g o - U N A M



Orígenes, productividad y manejo

**MPA Germán Muñoz-Córdova
2020**

Autor

Biól. MPA Germán Muñoz Córdoba

Lic. en Biología. Facultad de Biología. Universidad Veracruzana.

Maestría en Producción Animal, Área Mejoramiento Genético Animal. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Profesor de tiempo completo adscrito al Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM.

Director del proyecto que dio origen al Pargo-UNAM: Comportamiento productivo y heterosis retenida en una línea sintética de tilapia (Clave: 00-01-005-V, Fondos Mixtos CONACyT – Gobierno del estado de Veracruz).

Editora

PhD Rosa Elena Riaño Marín

Médica Veterinaria Zootecnista. Universidad Veracruzana.

Maestría en Extensionismo Agrícola. Universidad de Reading.

Doctorado en Análisis de Género en el Desarrollo. Universidad de East Anglia.

Técnica Académica de tiempo completo adscrita al Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM.

Agradecimientos

Se agradece a las Instituciones que participaron en el financiamiento de las investigaciones que en su conjunto conformaron el proyecto Pargo-UNAM:

Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM.

Fondos Mixtos. Consejo Nacional para la Ciencia y Tecnología (CONACyT) – Gobierno del Estado de Veracruz.

Fundación Produce Veracruz (FUNPROVER).

Instituto Nacional de Pesca y la Coordinadora de Fundaciones Produce (COFUPRO).

Primera publicación, 2020.

El contenido del presente documento es responsabilidad del autor; por lo que el contenido no puede ser reproducido por ningún medio (electrónico, mecánico, fotocopiado, etc.) sin previo y expreso permiso del autor.

Escrito y editado en Tlapacoyan, Veracruz, México.
Agosto del 2020.

Contacto: Germán Muñoz Córdova *

* Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIEGT) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Km 5.5 Carretera Federal Martínez de la Torre-Tlapacoyan, municipio de Tlapacoyan, Veracruz. AP 136, Martínez de la Torre, Veracruz 93600, México. Teléfono 232 3243941. Correo electrónico: vonmusa@hotmail.com

C O N T E N I D O

	Página
1.0 Introducción	1
2.0 Elementos de genética	3
2.1 Genes y cromosomas	3
2.2 Genotipo y fenotipo	4
2.3 Rasgos cualitativos y cuantitativos	4
2.4 Componentes del fenotipo	5
2.5 Varianza aditiva y selección	7
2.6 Varianza de dominancia e hibridación	8
3.0 Orígenes del Pargo-UNAM	10
3.1 Cruzamiento terminal de dos grupos genéticos	13
3.2 Cruzamiento de tres especies	15
3.3 Poblaciones sintéticas o compuestas	18
4.0 Resultados productivos del Pargo-UNAM	23
5.0 Manejo zootécnico	28
6.0 Manejo genético	30
7.0 Consideraciones finales	32
8.0 Literatura citada	34

1.0 Introducción

En México, la acuicultura y la pesca se consideran como unas de las actividades de mayor crecimiento en el país, según informes del 2017 de la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA), entre los años 2013 al 2017, estos sectores en su conjunto mostraron una tasa de crecimiento del 22.7 %, siendo el crecimiento de la acuicultura del 13 % (Figura 1).

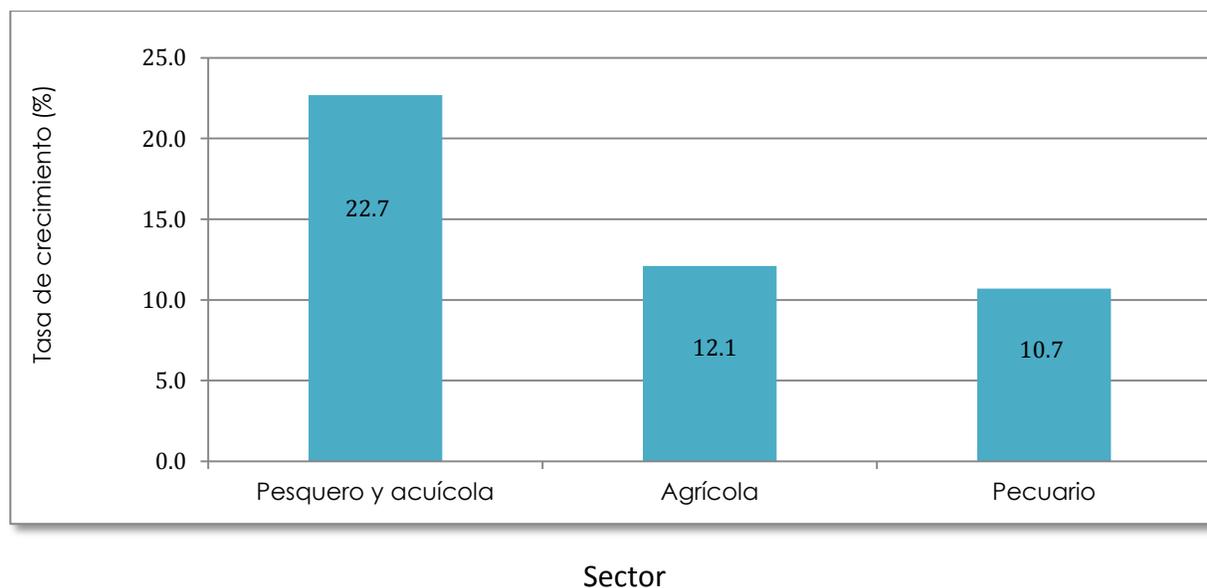


Figura 1. Tasa de crecimiento de sectores productivos en México, del 2013 al 2017.

Fuente: CONAPESCA (2017)

Dentro del sector acuícola destaca el grupo de peces denominado tilapias, importante producto en la economía de algunas regiones de México. El éxito del cultivo de estos peces se debe principalmente a la gran aceptación del producto por parte de los consumidores y al dominio de su tecnología de cultivo, logrando con ello, que en el 2017 la tilapia ocupara el tercer lugar por su volumen en la producción pesquera en México, con 179,919 t, solo superada por la sardina y el camarón; siendo los estados de Jalisco, Chiapas y Michoacán los principales productores de tilapia con 39,538, 26,759 y 25,873 t, respectivamente. Referente al valor monetario, la tilapia ocupa el segundo lugar, después del camarón (CONAPESCA, 2017).

Por otro lado, el grupo de peces conocido como tilapias rojas ha tenido un impacto positivo en algunos mercados, debido a que tienen una mayor preferencia por parte del consumidor, y en ocasiones, alcanzan un mayor precio con respecto a las tilapias de color gris o tipo silvestre (Mather *et al.*, 2001; Muñoz-Córdova y Garduño-Lugo, 2003). Sin embargo, diversos estudios han mostrado que especies e híbridos de tilapias de color rojo presentan un crecimiento inferior a algunas especies de tilapias de color gris (Matricia *et al.*, 1989; Muñoz y Garduño, 1994_a; Muñoz y Garduño, 1994_b; Muñoz y Garduño, 1996; Leao *et al.*, 2000; Muñoz, 2000; Moreira, 2005). Debido a ello, se planteó la idea de generar una tilapia roja que tuviese un crecimiento igual o superior a la tilapia gris del Nilo, la cual es la especie más utilizada a nivel mundial dentro del grupo de las tilapias debido a su gran capacidad de crecimiento (Jousupeit, 2007).

2.0 Elementos de genética

Se abordará en este apartado de manera básica algunos conceptos de genética con el objeto de que el lector obtenga un mayor entendimiento de los procesos de mejora genética que se abordarán en los apartados posteriores.

2.1 Genes y cromosomas

La unidad básica de la herencia en cualquier organismo es el **gen**, el cual contiene el código genético para la producción de una o varias características del individuo, determinando así en gran medida las características del individuo. Los genes se encuentran en una molécula llamada **ácido desoxirribonucleico (ADN)** y éste a su vez se organiza en estructuras denominadas **cromosomas**, los cuales se encuentran localizados en el núcleo de la célula. Por lo tanto, un gen ocupa un lugar determinado en el cromosoma, a ese lugar se le conoce como **locus** y al conjunto de lugares que ocupan diferentes genes se les denomina **loci** (Stansfield, 1992; Tave, 1986a; Van Vleck *et al.*, 1987).

Todas las células de las tilapias *Oreochromis spp.*, contienen en su núcleo 22 pares de cromosomas, es decir un total de 44 cromosomas (Carrasco *et al.*, 1999), con excepción de las células sexuales (espermatozoides y óvulos), los cuales contienen la mitad de esa cantidad, de manera tal, que al unirse un espermatozoide con un óvulo, darán origen a un huevo que contendrá nuevamente 22 pares de cromosomas, así todas las células que conformarán al pez tendrán el número completo de cromosomas, los cuales, una mitad se hereda del padre y la otra de la madre.

Un gen puede presentarse de una o más formas; cada forma se denomina **alelo** (Cabrera, 1991b). Cuando un gen se presenta en una sola forma, es decir, que solo tiene un alelo, se dice que es **monomórfico**, pero cuando presenta más de dos alelos, se dice que es **polimórfico**. Estos alelos presentan ligeras diferencias en su estructura, lo que produce diferentes mensajes que darán como resultado variaciones en una característica determinada (Stansfield, 1992). Por ejemplo, en la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) el color de su cuerpo se rige por un solo gen,

el cual presenta dos formas alternativas: el alelo **R** y el alelo **r**. El alelo **R** codifica para la coloración rosa del pez y el alelo **r** codifica para la coloración gris; tanto el padre como la madre solo pueden transmitir a sus hijos un solo alelo. De esta manera, si cruzamos una tilapia del Nilo rosa (**RR**) con una hembra gris (**rr**) producirán crías **Rr** y puesto que el alelo **R** domina al **r**, los peces serán de color rosa. En este caso, se dice que el alelo **R** es dominante y el **r** recesivo. Ahora bien, si esas crías **Rr**, se llevan a etapa de reproductores y se cruzan entre sí, darán como resultado crías rosas: **RR** y **Rr** y además crías grises: **rr**.

2.2 Genotipo y fenotipo

En el caso de la tilapia del Nilo, los individuos rosas pueden tener el par de alelos: **RR** o **Rr**, es decir presentan **genotipos** diferentes para el mismo **fenotipo** (color rosa); con ello queda evidenciado que una característica visible, como es el caso del color, no precisamente le corresponderá un mismo genotipo.

En términos generales se dice que el patrimonio genético constituido por el total de genes en un organismo constituye el **Genotipo** y la expresión visible o cuantificable de esos genes o dicho en otros términos, la manifestación física de los genes corresponderá al **Fenotipo** (Robles, 1995; Stansfield, 1992); el color de la piel, la capacidad de crecimiento, la forma del cuerpo y el comportamiento del pez, son algunos ejemplos de lo que es el fenotipo. A cada una de esas características normalmente se les denomina: **carácter** o **rasgo**.

2.3 Rasgos cualitativos y cuantitativos

Generalmente los caracteres o rasgos se dividen en dos tipos: **cualitativos** y **cuantitativos** (Cabrera, 1991a). Los primeros son fácilmente clasificables en distintas categorías fenotípicas, como el color del pez (rojo, rosa, blanco, gris, etc.), es decir, el pez pertenece a cualquiera de esos colores, sin considerar puntos intermedios. Los rasgos cualitativos están controlados por uno o pocos genes, en donde el ambiente generalmente poco interviene (Stansfield, 1992), por ejemplo, si el genotipo de la tilapia del Nilo es **rr**, el pez será gris, independientemente de la calidad del agua, alimentación, fotoperiodo, entre otros factores. Por otro lado, los rasgos cuantitativos se caracterizan porque pueden medirse en forma continua

como es el caso del peso, longitud, o altura. Son rasgos que presentan variabilidad continua y están controlados por muchos genes, 10, 100 o más (Stansfield, 1992). En los rasgos cuantitativos existe una intervención importante del ambiente (Falconer, 1989; Tave, 1986a), por ejemplo: la ganancia diaria de peso es una característica cuantitativa y está fuertemente influenciada por aspectos ambientales tales como: la alimentación, calidad del agua, o el manejo del pez.

2.4 Componentes del fenotipo

Los diferentes componentes del fenotipo pueden representarse bajo la siguiente expresión:

$$(1) \quad \mathbf{F} = \mathbf{G} + \mathbf{Am} + \mathbf{G, Am}$$

En donde: **F**, es el fenotipo; **G**, el genotipo; **Am**, el ambiente y **G, Am**, la interacción entre el genotipo y el ambiente.

En el caso de los rasgos cuantitativos, se comentó que el factor ambiental tiene un papel importante, por lo que el efecto combinado de la acción de muchos genes y el aspecto ambiental produce una distribución continua de los rasgos. Debido a la variación continua de estos rasgos, una vía apropiada para su estudio se basa en el análisis de la variabilidad de determinado rasgo en la población estudiada (Cabrera, 1991a; Tave, 1986a) y con base en ello, determinar cuál es el componente del fenotipo que tiene mayor relevancia. Por lo tanto, podemos decir que la **varianza fenotípica** (V_F) es igual a la suma de la **varianza genética** (V_G) más la **varianza ambiental** (V_{Am}) más la **interacción** entre la **varianza genética y ambiental** ($V_{Am,G}$):

$$(2) \quad V_F = V_G + V_{Am} + V_{G, Am}$$

Desde el punto de vista genético, la V_G es la de mayor interés, debido a que es el componente que ofrece la materia prima para realizar la mejora genética de los rasgos productivos de interés comercial. La V_G a su vez es la suma de la **varianza aditiva** (V_A) más la **varianza de dominancia** (V_D) más la **varianza por epistasis** (V_E):

$$(3) \quad \mathbf{V_G = V_A + V_D + V_E}$$

La **varianza de dominancia** (V_D) resulta de la interacción de los alelos de cada locus (Tave,1986a). Debe recordarse que si un gen tiene un par de alelos, uno viene del padre y otro de la madre, por lo tanto la V_D se forma en cada nueva generación, cuando se une el par de alelos (para el caso del ejemplo de un gen con un par de alelos). Por ello, este componente no se hereda de padres a hijos, sino que aparece en el momento de la formación de los hijos, dado a que el par de alelos no puede ser transmitido en conjunto al hijo por uno de los padres.

La **varianza por epistasis** (V_E) es parecida a la V_D , pero aquí se refiere a la interacción de los alelos entre diferentes loci y por lo tanto, la mayor parte de la varianza por epistasis no se transmite de padres a hijos (Tave,1986a; Van Vlecket *al.*, 1987).

Por último tenemos la **varianza aditiva** (V_A), que es la suma de los efectos de cada uno de los alelos que producirán el fenotipo. La V_A no depende de la interacción de alelos, por lo que este tipo de varianza, si se transmite de padres a hijos. La mayoría de los genetistas asumen que la V_E poco contribuye a la varianza genética, por lo que la expresión (3) se resume como:

$$(4) \quad \mathbf{V_G = V_A + V_D}$$

Al implementar un programa de mejoramiento genético en cualquier especie, es importante conocer en principio, la magnitud con que contribuyen la V_A y la V_D a la varianza genética. De manera tal, que si la varianza aditiva es de mayor relevancia para un determinado rasgo, entonces el programa de mejora genética será mediante la **selección**, pero si es la varianza de dominancia la que contribuye en mayor medida a la varianza genética, el programa de mejora deberá basarse en la **hibridación**.

2.5 Varianza aditiva y selección

Un programa de mejoramiento basado en la selección, consiste en elegir de una población aquellos ejemplares que presentan uno o varios rasgos de interés para nuestro propósito (Van Vleck *et al.*, 1987), de manera que dichas características sean transmitidas a la siguiente generación. Es por ello, que la varianza aditiva tendrá que ser el componente más importante en la varianza genética, asumiendo que de esta última depende en gran medida la varianza fenotípica.

En un programa de selección se realiza indirectamente un aumento de la frecuencia de alelos deseables. Una manera de saber cuál es la proporción de la varianza fenotípica controlada por la varianza aditiva, es mediante el llamado **índice de herencia** o **heredabilidad (h^2)** (Falconer 1989; Van Vleck *et al.*, 1987), representado con la siguiente expresión:

$$(5) \quad h^2 = V_A / V_G$$

El valor de h^2 puede ser de 0 a 1. Un valor de 0 indica que el rasgo de interés no se hereda, mientras que un valor de 1, indica que dicho rasgo es altamente heredable, de hecho se heredaría en 100 %. A partir del conocimiento del valor de la h^2 , podemos predecir la respuesta esperada a un programa de selección para un rasgo determinado mediante la expresión:

$$(6) \quad R = S (h^2)$$

En donde **R**, es la respuesta a la selección (ganancia o pérdida) y **S**, es el diferencial de selección, que indica la ventaja o desventaja de la población seleccionada con respecto a la población original (Tave, 1986a).

Los valores de heredabilidad para peso final en un determinado periodo de cultivo, han resultado generalmente bajos para la mayoría de los diferentes grupos genéticos de tilapias.

2.6 Varianza de dominancia e hibridación

Cuando la varianza aditiva es el componente más importante en la varianza genética, se utiliza cualquiera de los tipos básicos de selección para el mejoramiento de una o más características de interés productivo. Sin embargo, cuando en la varianza genética es más importante la varianza de dominancia que la varianza aditiva, es aquí cuando el mejoramiento genético debe intentarse mediante la explotación de la varianza de dominancia, haciendo uso de algún programa de hibridación.

La varianza de dominancia se genera por la interacción de alelos (Tave, 1986a), los cuales provienen la mitad del padre y la otra mitad de la madre. Los efectos benéficos (mejor desempeño productivo) dependen en gran medida de la combinación fortuita entre alelos. Debe recordarse que muchas características negativas, desde el punto de vista productivo, están representadas por alelos recesivos cuyos efectos no se manifiestan al estar presentes ante alelos dominantes, los cuales representan la parte opuesta (característica positiva). De manera tal, que en el cruzamiento entre diferentes líneas, razas o especies (hibridación), se aumenta la probabilidad de que características no deseables sean ocultadas por las deseables (Warwick y Legates, 1988).

Uno de los objetivos de un programa de cruzamiento o hibridación es precisamente detectar cuales son los cruzamientos más adecuados que producen una combinación de alelos que resulten en una adecuada interacción en la progenie, lo cual producirá una mayor productividad.

Cuando la heredabilidad (h^2) es baja, un programa de selección sería ineficiente como herramienta de mejora genética, por lo tanto, la hibridación sería la única vía para lograr dicho mejoramiento (Tave, 1986a). Pero, debido a que la V_A y la V_D son independientes, pueden ser explotadas conjuntamente cuando ambas son importantes para la varianza genética. De esta manera, tendríamos una mejora genética por dos vías diferentes: mediante la explotación de la varianza aditiva utilizando un programa de selección y mediante la explotación de la varianza de dominancia utilizando un programa de hibridación, lo que maximiza

el grado de mejora genética. Este efecto conjunto puede observarse gráficamente en la figura 2.

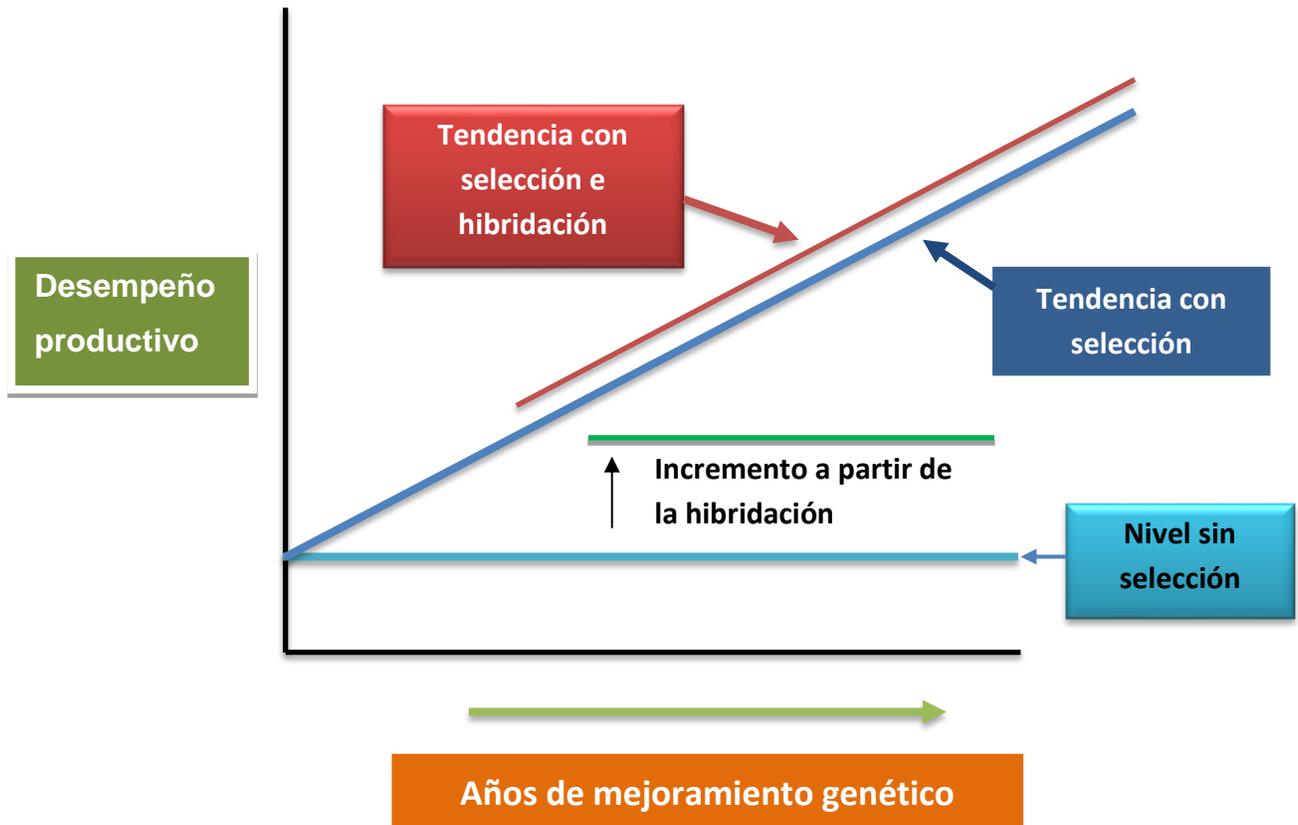


Figura 2. Esquema representativo de la combinación de la selección e hibridación en un programa de mejoramiento genético.

Fuente: Warwick y Legates (1988), con modificaciones.

3.0 Orígenes del Pargo-UNAM

En el año 1998, en el Módulo de Enseñanza e Investigación Acuícola (MEIA) del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIEGT), perteneciente a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), se iniciaron una serie de trabajos experimentales basados en esquemas de cruzamiento de tres grupos genéticos de tilapia (Muñoz, 2000), con la finalidad de obtener una tilapia roja con crecimiento similar a la tilapia del Nilo de tipo silvestre (gris).

En el año 2003, dichas investigaciones culminaron con la generación de una población sintética de tilapia, denominada Pargo-UNAM (PU), la cual debido a su buen crecimiento, conversión alimenticia, supervivencia y su atractiva coloración roja, se consideró como una nueva población de tilapia con potencial para lograr un incremento de la productividad de las unidades acuícolas destinadas a la producción comercial de tilapia roja (Jiménez *et al.*, 2004).

El Pargo-UNAM (Figura 3) es un híbrido de tilapia, conformado por tres grupos genéticos: tilapia roja de Florida (50 %), tilapia rosa del Nilo (25 %) y tilapia Rocky Mountain (25 %). A continuación se proporciona información general referente a estos tres grupos genéticos que dieron origen al Pargo-UNAM.

La tilapia roja de Florida (Figura 4) presente en México se considera un híbrido y su presencia en el país se remonta a 1981, cuando se introdujo una línea de *O. mossambicus* de color rojo, importada de Palmeto, Florida (Muñoz, 2000), manejándose en estaciones acuícolas de la entonces Secretaría de Pesca del Estado de Morelos. El objetivo de su introducción fue realizar cruzamientos de machos *O. urolepis hornorum* con hembras *O. mossambicus* de color rojo, de manera tal, que la progenie tuviera un alto porcentaje de machos de color rojo.

Esos híbridos de color rojo se distribuyeron en diferentes regiones de México y se realizaron cruzamientos entre estos híbridos; posteriormente, la característica atractiva del color rojo se fue transformando a peces de color rojo pálido y con una amplia incidencia de pigmento de melanina en la piel.

Con una muestra de peces de tilapia roja de Florida de una población distribuida en la región norte del estado de Veracruz, el CEIEGT-FMVZ-UNAM, inició en 1988 un programa de selección genética para la obtención de ejemplares completamente rojos y sin pigmento de melanina, lográndose dicho objetivo después de siete generaciones de selección. La tilapia roja de Florida utilizada en este proyecto procedió de un lote de esta población de peces mejorada genéticamente en su patrón de coloración (Muñoz, 2000).

La tilapia rosa del Nilo empleada en este proyecto (Figura 5), pertenece a la especie *Oreochromis niloticus* y fue producto de un trabajo de selección genética realizado en el CEIEGT-FMVZ-UNAM para la obtención de especímenes homocigóticos de color rosa sin manchas de melanina (Garduño-Lugo *et al.*, 2004), a partir de ejemplares de una línea rosa con amplias manchas de melanina en el cuerpo procedentes del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida, institución que a su vez los obtuvo a través de la importación de un lote de estos peces en el año de 1986 de la Universidad de Stirling, Escocia (Arredondo-Figueroa y Lozano-Gracia, 1996).

La tilapia Rocky Mountain (Figura 6) fue producto de trabajos de mejora genética realizados en los Estados Unidos, y en la década de los 90's, se importó a México; actualmente se encuentra confinada en instalaciones del sector oficial y privado. Esta población se obtuvo con el objeto de mejorar la resistencia a temperaturas menores a las que soportan las tilapias. Este grupo genético es aparentemente un híbrido obtenido de la cruce entre *O. aureus*, especie que soporta temperaturas bajas (10-12 °C), con la especie *O. niloticus*, la cual se caracteriza por su rápido crecimiento (Muñoz-Córdova y Garduño-Lugo, 2003).

En un estudio de identificación taxonómica, la tilapia Rocky Mountain diseminada en el estado de Veracruz, México, presentó características merísticas y osteológicas de las especies *O. aureus* y *O. niloticus*, lo que es un indicativo de su origen a partir de ambas especies, aunque los patrones de coloración se determinaron que eran característicos de *O. aureus* (Ortega, 2000).



Figura 3. Pargo-UNAM



Figura 4. Tilapia roja de Florida



Figura 5. Tilapia rosa del Nilo



Figura 6. Tilapia Rocky Mountain

A continuación se muestran los procesos para la obtención del Pargo-UNAM, basados en programas de cruzamiento como un proceso de mejora genética animal.

Un programa de cruzamiento, no necesariamente es un programa que contemple el cruzamiento de diferentes especies (hibridación), sin embargo es común considerar a la hibridación como una herramienta para mejorar rasgos de interés comercial, haciendo uso de la explotación de la varianza de dominancia (V_D). Dicha varianza se fundamenta en la interacción de alelos pero esta interacción puede dar resultados positivos o negativos sobre algún rasgo productivo. Por lo tanto, si se desea hacer un uso eficiente de la V_D para propósitos de mejora genética, se tendrían que detectar aquellos cruzamientos en los que exista una combinación de alelos que resulte en un fenotipo deseable en función al objetivo deseado.

Los tipos de cruzamientos empleados para generar al Pargo-UNAM fueron:

- a) Cruzamiento terminal de dos grupos genéticos (Cruzamiento simple).
- b) Cruzamiento terminal de tres grupos genéticos (Obtención de trihíbridos).
- c) Generación de una población sintética o compuesta.

3.1 Cruzamiento terminal de dos grupos genético (Cruzamiento simple)

El cruzamiento terminal más común es la hibridación entre dos especies o razas (cruzamiento simple) para la obtención híbridos F_1 , en donde estos, son precisamente el producto terminal y serán destinados normalmente a la engorda.

Desde el punto de vista genético, este cruzamiento tiene como objetivo principal la explotación de la varianza de dominancia, aunque en el cultivo de tilapia, se utiliza básicamente para producir progenies monosexo (solo machos).

La ventaja en crecimiento de híbridos F_1 en el género *Oreochromis*, ha sido atribuida al efecto de vigor híbrido o heterosis (Avault y Shell, 1968; Hephher y Pruginin, 1985; Muñoz, 2000).

El término **heterosis** fue propuesto por Schull en 1942, quien lo definió como el vigor extra o excedente que presenta la progenie, cuando se aparean dos diferentes líneas, razas, especies o líneas consanguíneas (Sheridan, 1981) y es una de las vías más utilizadas para mejorar la productividad en unidades de producción acuícolas (Pillay, 1990; Tave, 1986a).

No todas las características presentan el mismo grado de heterosis, normalmente se tiene un mayor grado de dicho efecto, en características de baja heredabilidad (h^2) (Frahm, 1975). De manera tal que cuando la heredabilidad es baja, la hibridación es a menudo la única vía para mejorar la productividad (Tave, 1986a). Por lo tanto, el primer paso para la obtención de la población sintética Pargo-UNAM fue determinar la presencia del efecto de vigor híbrido en cruza simples de tres diferentes grupos genéticos de tilapia que se encontraban disponibles en las instalaciones del MEIA-CEIEGT, en la zona centro-norte del estado de Veracruz, por lo que Muñoz (2000) realizó todas las cruza posibles entre: la tilapia rosa del Nilo (N), tilapia roja de Florida (F) y la tilapia Rocky Mountain (R) y evaluó las progenies durante 2 meses.

El híbrido que presentó valores importantes de heterosis fue NR*, en los rasgos peso final (39 %) y ganancia diaria de peso (44 %). La figura 7 muestra el peso de los peces al final del estudio, en donde se observa que los híbridos NR (51 g) y RN (46 g) presentaron pesos superiores a los grupos que les dieron origen: tilapia rosa del Nilo (37 g) y Rocky Mountain (36 g). También se reportó una escasa producción de crías en la cruce de machos de tilapia rosa del Nilo con hembras Rocky Mountain; la sobrevivencia más baja se encontró en la tilapia roja de Florida (77 %).

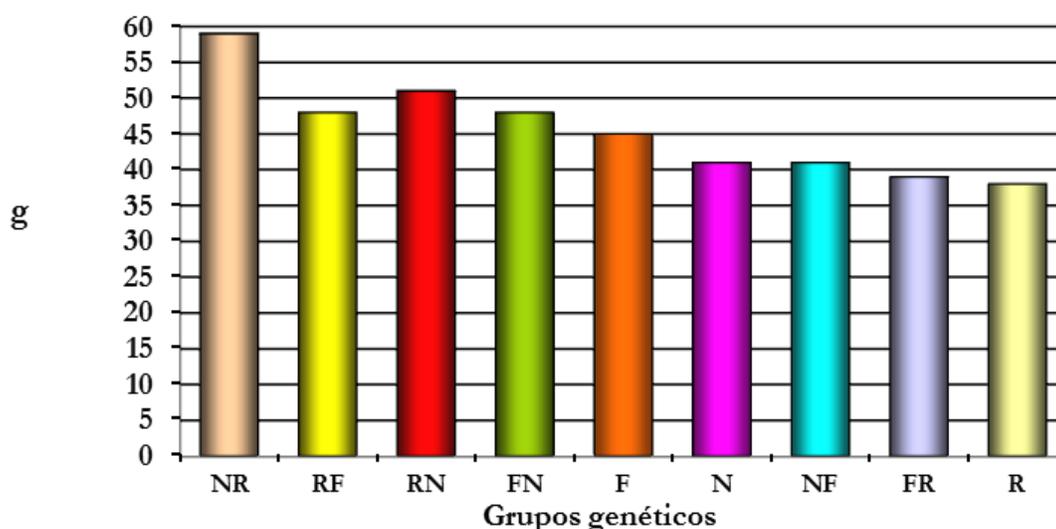


Figura 7. Pesos finales de nueve grupos genéticos de tilapia durante la fase de crianza (60 días). N = tilapia rosa del Nilo; R = Rocky Mountain; F = tilapia roja de Florida.

Fuente: Muñoz (2000).

Al finalizar la etapa anterior, se continuó con el desarrollo de machos de los nueve grupos genéticos hasta finalizar la etapa de engorda. Al final de 201 días de engorda, se reportó una superioridad de RN (537 g) sobre uno de los grupos que le dio origen: la tilapia Rocky Mountain (393 g), sin embargo no se encontraron diferencias entre RN con el resto de los grupos genéticos: F (476 g); N (473 g); NR (462 g); FR (461 g); RF (457 g); FN (456 g) y NF (402 g) (Figura 8). La sobrevivencia fue alta en todos los casos (93 a 100 %), sin diferencias entre grupos. La heterosis para los híbridos NR y RN fue de 10.2 % (Muñoz-Córdova y Garduño-Lugo, 2003).

*En lo sucesivo, para la representación de ejemplares híbridos se optará por mencionar primero a la especie que se utilizó como especie paterna para la obtención del híbrido.

Con base en los resultados de las dos últimas investigaciones mencionadas, se sugirió la producción de híbridos producto de la cruce de machos Rocky Mountain con hembras de la tilapia rosa del Nilo.

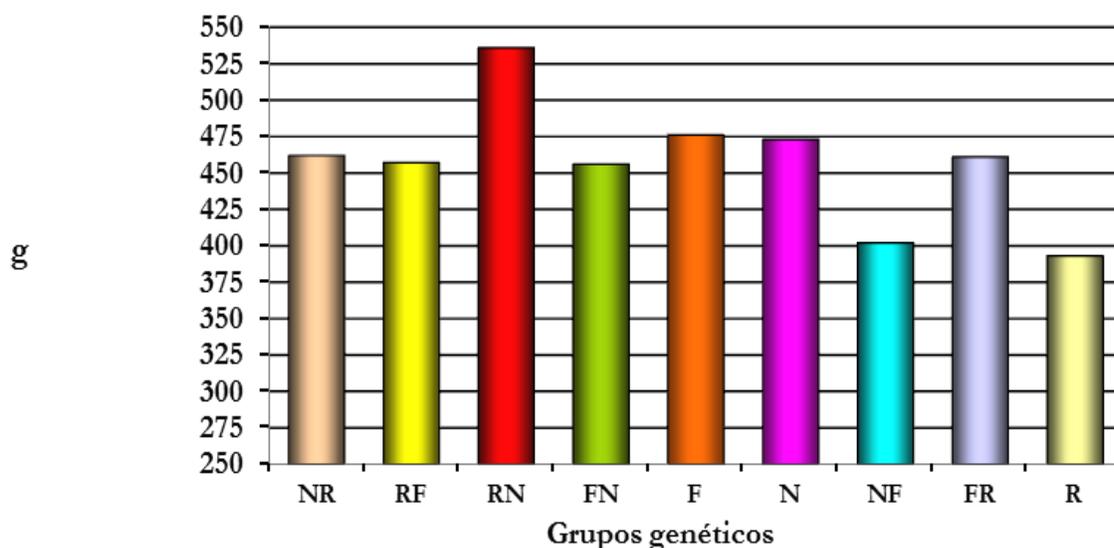


Figura 8. Pesos finales de nueve grupos genéticos de tilapia durante la fase de engorda (201 días). N = tilapia rosa del Nilo; R = Rocky Mountain; F = tilapia roja de Florida.

Fuente: Muñoz-Córdova y Garduño-Lugo (2003).

3.2 Cruzamiento de tres especies

Posterior a un cruzamiento simple, una manera de continuar el mejoramiento genético es mediante el cruzamiento del híbrido F_1 con un tercer grupo genético, con el objeto de que se manifieste nuevamente el efecto positivo de heterosis (Tave, 1986a). El resultado que se obtiene es un trihíbrido y se espera que mejore las características productivas de interés con respecto a las mostradas por el híbrido F_1 y a los grupos genéticos base.

El buen desempeño productivo en un híbrido dependerá de la combinación de alelos que resulte en una adecuada interacción en la progenie. Esto significa que esta hibridación no asegura en sí, que el trihíbrido sea mejor, sin embargo están dadas las condiciones para que muestre superioridad ante el híbrido F_1 y a

las poblaciones que le dieron origen. Para aumentar la posibilidad de que el trihíbrido resulte en un ejemplar de alto desempeño productivo, deberá asegurarse que el híbrido F_1 que le da origen, haya mostrado un efecto positivo de heterosis.

Con el objetivo de seguir con el proceso de obtención de una población sintética, Cano (2001) dio continuidad a la investigación iniciada por Muñoz (2000) y utilizó los híbridos recomendados por dicho autor para generar trihíbridos. En este comparó los rasgos productivos: peso final, conversión alimenticia y sobrevivencia durante la fase de crianza (120 días) de los trihíbridos: 1) tilapia roja de Florida x RN, 2) RN x tilapia roja de Florida y 3) FN x tilapia Rocky Mountain, así mismo se evaluaron los híbridos FN y RN, y se agregó la especie tilapia rosa del Nilo(N).

Los pesos finales más altos se encontraron en las cruza terminales de F(RN) (64 g) y (RN)F (62 g). Cano (2001) informó de una barrera reproductiva entre machos R con hembras FN, por lo tanto se descartó esa crusa para su empleo comercial. La crusa terminal de (FN)R (53 g) no fue diferente a los híbridos RN (57 g) y FN (57 g). Todos los grupos híbridos fueron superiores a la tilapia rosa del Nilo (44 g) y la sobrevivencia en todos los grupos genéticos fue similar (98 a 100 %). Los grupos genéticos mostraron una conversión alimenticia de 0.6 a 0.8. Además de la coloración de las líneas progenitoras (rojo, rosa y plata), en las progenes de algunos cruzamientos aparecieron uno o tres colores adicionales y en diferentes proporciones: perla, gris y perla-plata. Los grupos genéticos que presentaron los mejores rasgos productivos y coloraciones atractivas para el mercado fueron: (RN)F y F(RN) (Figura 9).

Posteriormente, se continuó con la engorda de machos de los grupos genéticos antes mencionados. La engorda tuvo una duración de 126 días, al final de los cuales encontraron que el peso final del trihíbrido (RN)F (407 g) fue superior al del híbrido RN (354 g), además de que todos los grupos híbridos volvieron a ser superiores a la tilapia rosa del Nilo (239 g) (Figura 10). La sobrevivencia fue desde 96 % en FN hasta 100 % en F(RN), no encontrándose diferencias entre grupos.

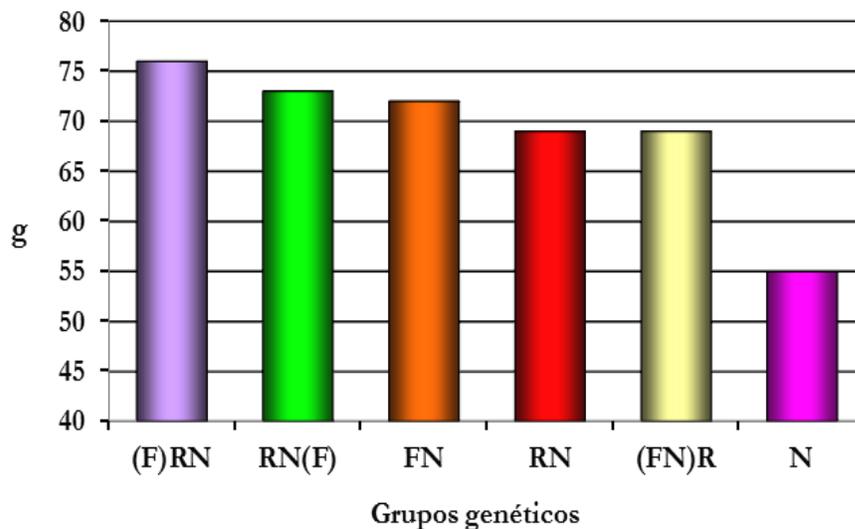


Figura 9. Pesos finales de seis grupos genéticos de tilapia durante la fase de crianza (120 días). F = tilapia roja de Florida; R = Rocky Mountain; N = tilapia rosa del Nilo.

Fuente: Cano (2001).

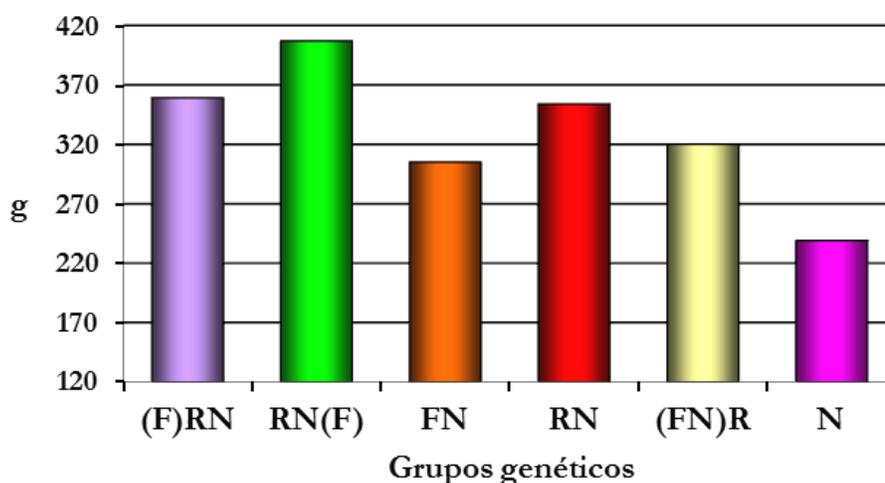


Figura 10. Pesos finales de seis grupos genéticos de tilapia durante la fase de engorda (126 días). F = tilapia roja de Florida; R = Rocky Mountain; N = tilapia rosa del Nilo.

Fuente: Muñoz-Córdova y Garduño-Lugo (2003).

En esta investigación Cano (2001) reportó la superioridad del híbrido F_1 : RN sobre la tilapia rosa del Nilo, ventaja que no había sido clara en el estudio de la

engorda realizada por Muñoz-Córdova y Garduño-Lugo (2003) mencionado en la sección anterior.

Los trihíbridos presentan la desventaja de mantener tres poblaciones dentro de una unidad de producción, lo requiere más infraestructura y un mayor manejo, por lo que en ocasiones sea difícil implementar programas de mejoramiento genético de tilapias basándose en un esquema de cruzamiento terminal de tres grupos genéticos.

3.3 Poblaciones sintéticas o compuestas

Para el manejo de dos o más especies en una misma unidad de producción, los sistemas de cruzamiento pueden ser imprácticos por todas las necesidades que se requieren. Por ello existen otros programas basados en sistemas de cruzamiento que pueden ser útiles en esas situaciones, como es el caso de la formación de poblaciones sintéticas (Davis *et al.*, 1994; Gregory y Cundiff, 1999).

Una población sintética o población compuesta, es obtenida a partir de dos o más líneas, razas o especies y ha sido diseñada con el objetivo de hacer uso del vigor híbrido, sin tener que realizar cruzamientos entre diferentes grupos genéticos (Bourdon, 1997). Sin embargo, es necesario considerar que la población híbrida de la cual se va a generar la población sintética, haya demostrado superioridad productiva con respecto a los grupos que le dieron origen.

Este esquema consiste en realizar cruzamientos entre los mismos grupos genéticos híbridos y desde un punto de vista genético se presentan las siguientes ventajas: a) aumento de la variabilidad genética; b) retienen parte de la heterosis (Adepo-Gourene *et al.*, 1997), y c) se mantienen caracteres de varias especies dentro de una misma población (Bourdon, 1997). Desde un punto de vista zootécnico, la principal ventaja consiste en que la población sintética no requiere de un manejo diferente al necesario para la producción de cualquier especie, ya que en lo sucesivo el apareamiento será entre individuos de la población sintética.

En la formación de una población sintética, se puede presentar una pérdida de la heterosis, la cual se habría acumulado hasta la obtención del trihíbrido; y esto

se debe a que en los apareamientos para formar la población sintética, no se cumple con el hecho de cruzar especies o grupos genéticos diferentes entre sí, que es lo que da lugar a la manifestación del vigor híbrido. Sin embargo, se sabe que una parte de la heterosis en dicha población sintética es retenida y por lo tanto el comportamiento productivo de esta nueva población podría ser semejante al del híbrido que le da origen.

La heterosis que se pierde ocurre en la primera generación de la población sintética y el desempeño productivo de la nueva población va a ser similar a partir de esa primera generación en adelante. Bourdon (1997) define la heterosis retenida como el vigor híbrido remanente en generaciones subsecuentes a la del primer cruzamiento y será mayor cuanto mayor sea el número de razas o especies involucradas en la formación de la población sintética.

Con base en lo informado por Cano (2001) y Muñoz-Córdova y Garduño-Lugo (2003), Jiménez (2002) realizó un estudio que contempló la formación de una población sintética de tilapia a partir del trihíbrido recomendado por los autores mencionados. En dicho estudio se comparó, durante la fase de crianza (152 días), el comportamiento productivo de la primera generación de una población sintética de tilapia respecto a otros cuatro grupos genéticos. La composición genética de la población sintética fue: Rocky Mountain (R) (25 %), tilapia rosa del Nilo (N) (25 %) y tilapia roja de Florida (F) (50 %) y fue producto del cruzamiento entre dos tipos de trihíbridos: el trihíbrido (RN)F de color rojo, se cruzó con su mismo grupo genético, para producir la población sintética 1 (RNF-1). Por otro lado, el trihíbrido (RN)F de color perla se cruzó con su mismo grupo genético para producir la población sintética 2 (RNF-2). Estas poblaciones sintéticas se compararon con los siguientes grupos genéticos: a) el trihíbrido (RN)F; b) el híbrido F_1 : RN; c) la tilapia roja de Florida; y d) la tilapia rosa del Nilo. Los pesos finales (PF) más altos se encontraron en el trihíbrido (RN)F (21 g) y en la línea sintética RNF-1 (20 g), entre quienes no hubo diferencias, seguidos de la línea sintética RNF-2 (18 g) y del híbrido RN (15 g). Los grupos genéticos: tilapia rosa del Nilo y tilapia roja de Florida, presentaron el PF más bajo: 11.2 g y 10.5 g, respectivamente (Figura 11). Todos los

grupos presentaron un índice de conversión alimenticia similar, entre 1.1 y 1.7. Los grupos híbridos y la tilapia rosa del Nilo presentaron una sobrevivencia superior al 96 %, mientras que la tilapia roja de Florida presentó la sobrevivencia más baja (86 %). El autor concluyó que la heterosis retenida en RNF-1, en la etapa de crianza, le permitió mantener un desempeño productivo similar al trihíbrido que le dio origen.

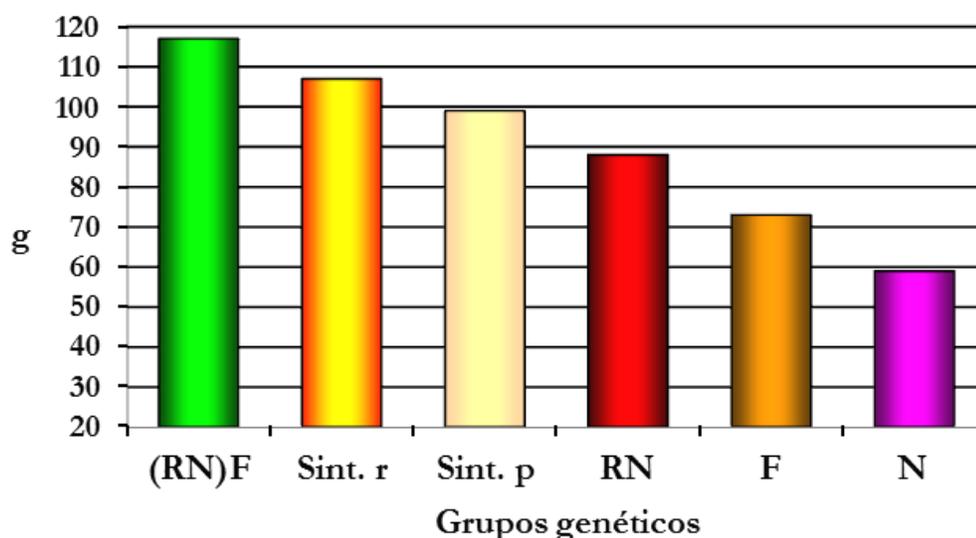


Figura 11. Pesos finales de seis grupos genéticos de tilapia en la fase de crianza (152 días). R = Rocky Mountain; N = tilapia rosa del Nilo; F = tilapia roja de Florida; Sint. r = Población sintética roja; Sint. p = Población sintética perla.

Fuente: Jiménez (2004).

Riego (2005) continuó el anterior estudio, llevando a machos de los mismos grupos genéticos a pesos comerciales durante la etapa de engorda (119 días). Los pesos finales más altos fueron para RNF-1 (325 g), RNF-2 (316 g) y el trihíbrido (RN)F (314 g), seguido del híbrido F₁ RN (277 g). Los grupos genéticos: tilapia roja de Florida y tilapia rosa del Nilo tuvieron los pesos más bajos, con 237 g y 181 g respectivamente (Figura 12). La sobrevivencia fue de 77 % en RNF-2 a 91 % en la tilapia rosa del Nilo, no encontrándose diferencias entre los grupos genéticos.

Debido a que la población sintética RNF-1 tuvo un desempeño productivo similar al trihíbrido (RN)F y a que la coloración de los peces fue de color rojo, esta nueva población sintética de tilapia se consideró como una nueva opción de producción para las granjas de tilapia, sin la necesidad de recurrir a programas de

cruzamiento que impliquen un aumento en la infraestructura y manejo de los peces. A esa población sintética de tilapia se le denominó Pargo-UNAM (PU).

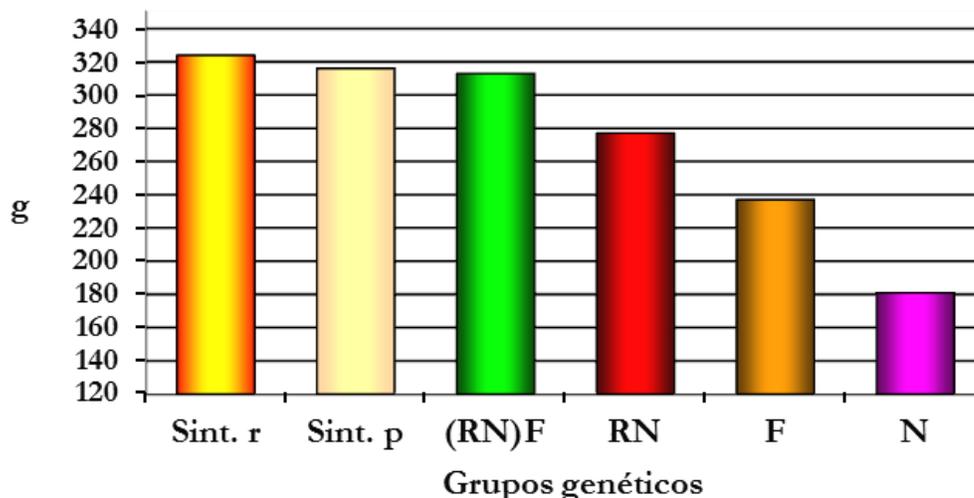


Figura 12. Pesos finales de seis grupos genéticos de tilapia al final de la fase de engorda (119 días). R = Rocky Mountain; N = tilapia rosa del Nilo; F = tilapia roja de Florida; Sint. r = Población sintética roja; Sint. p = Población sintética perla.

Fuente: Riego (2005).

El trihíbrido mostrado en la figura 12, tuvo un crecimiento superior a todos los grupos genéticos que le antecedieron, sin embargo, el hallazgo más relevante fue que al cruzar machos y hembras de esos trihíbridos se obtuvo un pez con el mismo componente genético y con el mismo ritmo de crecimiento que dicho trihíbrido. En experiencias con otras especies domésticas esto no siempre sucede así, es decir, que al cruzar híbridos consigo mismos el resultado puede ser una disminución de las características previamente mejoradas con los cruzamientos.

En la figura 13 se presenta el esquema de cruzamiento utilizado para la obtención del Pargo-UNAM donde se muestra que en el último cruzamiento se realizó una cruce entre una misma población híbrida, correspondiendo a machos y hembras de un mismo trihíbrido. Al producto de una cruce de estas características, y el cual es producido en forma subsecuente bajo el esquema de cruzamientos entre hembras y machos de este híbrido, se le conoce como población sintética.

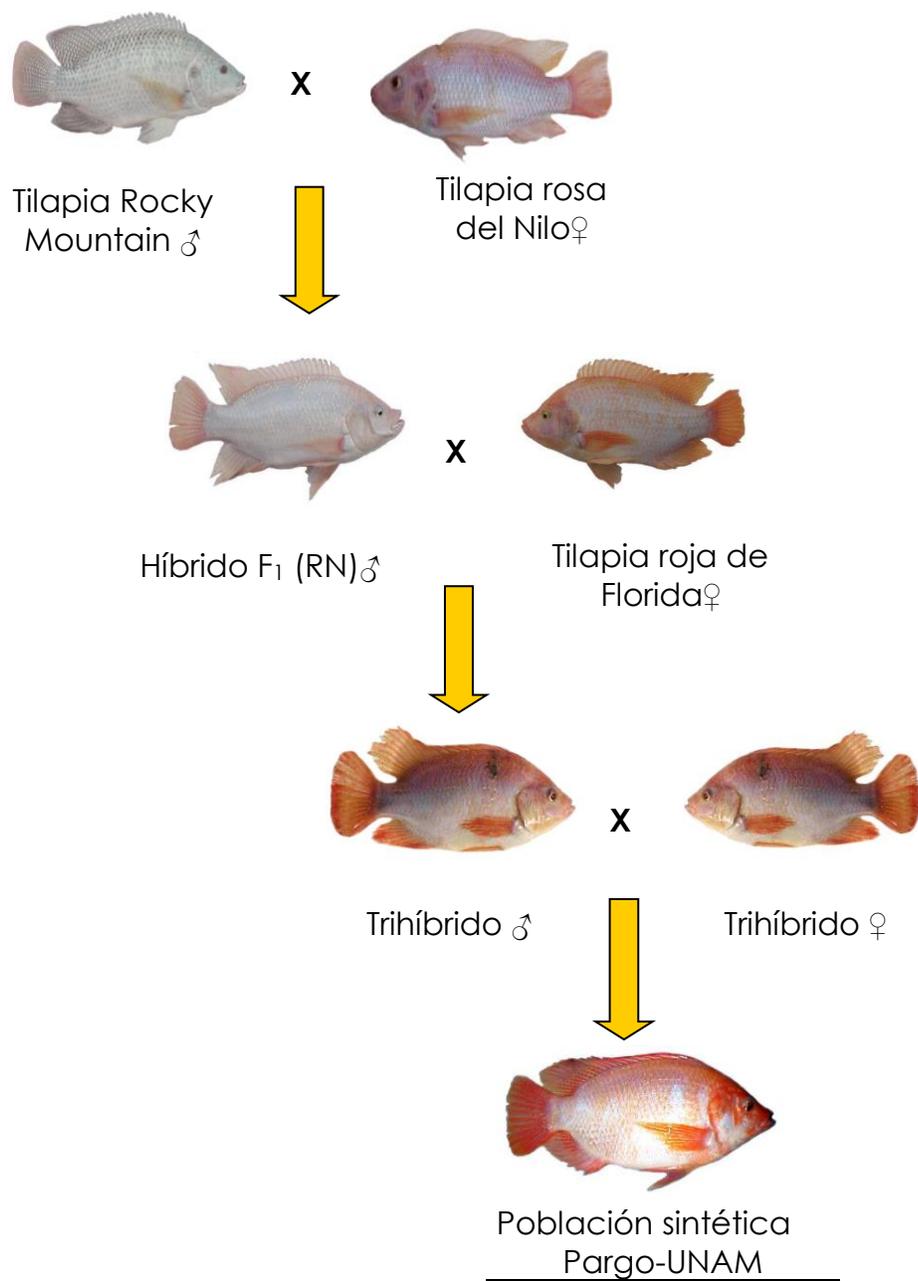


Figura 13. Esquema de cruzamientos para la obtención del Pargo-UNAM.

4.0 Resultados productivos del Pargo-UNAM

Conformada la población sintética de tilapia roja: Pargo-UNAM, se realizaron investigaciones para comparar su crecimiento con respecto a otras tilapias rojas que se producen en granjas comerciales del estado de Veracruz y con respecto a la tilapia gris del Nilo, la cual es la especie de tilapia más cultivada a nivel mundial debido a su rápido crecimiento (Jousupeit, 2007).

En un estudio realizado en las instalaciones del CEIEGT-FMVZ-UNAM, Morales *et al.* (2006) y Velázquez *et al.* (2006) compararon el crecimiento durante 214 días de cultivo, de machos de las tilapias: Pargo-UNAM, tilapia gris del Nilo, tilapia rosa del Nilo, tilapia Mosambica, el híbrido de tilapia rosa del Nilo (macho) X tilapia Mosambica roja (hembra) y el híbrido tilapia Mosambica (macho) X tilapia rosa del Nilo (hembra). Los resultados mostraron que el Pargo-UNAM y la tilapia gris del Nilo obtuvieron los mayores pesos después de 214 días de cultivo (Figura 14).

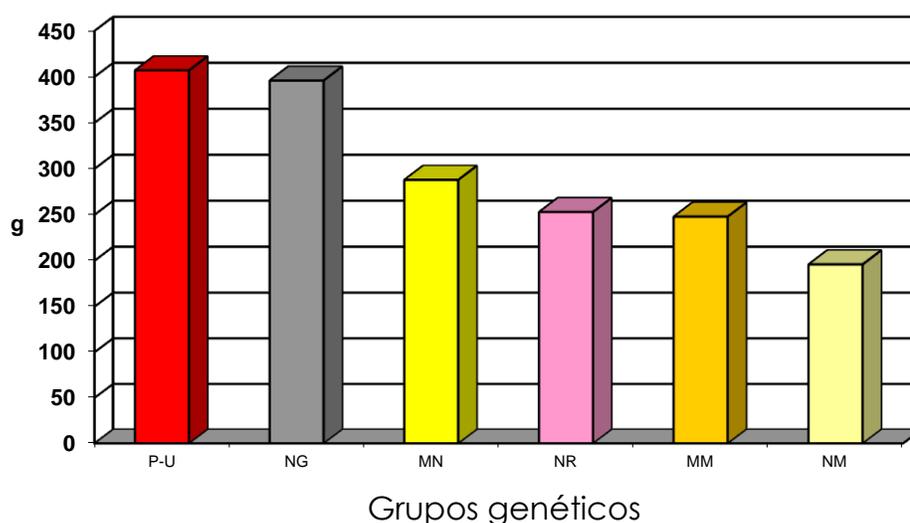


Figura 14. Peso final del Pargo-UNAM y tres grupos de tilapias rojas al término de un cultivo de 214 días. PU= Pargo-UNAM; NG = tilapia gris del Nilo; NR= tilapia rosa del Nilo; MN = tilapia Mosambica (macho) X tilapia rosa del Nilo (hembra); MM = tilapia Mosambica; NM = tilapia rosa del Nilo (macho) X tilapia Mosambica (hembra).

Fuente: Morales y *et al.* (2006) y Velázquez y *et al.* (2006).

Posteriormente, Salazar-Ulloa *et al.* (2008) compararon al Pargo-UNAM con la tilapia rosa del Nilo, tilapia Mosambica y la tilapia gris del Nilo, en un cultivo intensivo durante 332 días. El estudio se realizó en la Escuela Secundaria Técnica

Pesquera No. 90, en el municipio de Nautla, Ver., encontrando una similitud en los pesos finales del Pargo-UNAM y la tilapia gris del Nilo, mientras que la primera fue superior al resto de los grupos genéticos evaluados (Figura 15).

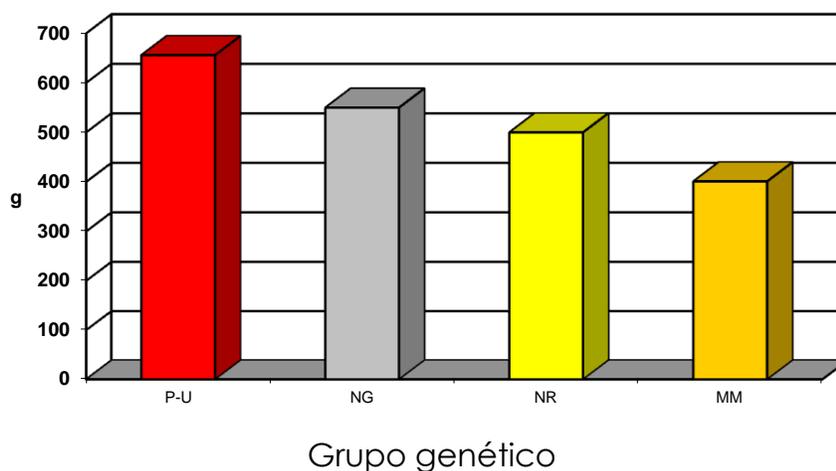


Figura 15. Peso final de tres grupos genéticos de tilapia, en 332 días de cultivo. PU = Pargo-UNAM; NR = tilapia rosa del Nilo; NG = tilapia gris del Nilo; MM = tilapia Mosambica.

Fuente: Salazar-Ulloa *et al.* (2008).

Peña-Delgadillo *et al.* (2008), en un estudio realizado en la granja piscícola La Rayana, en el municipio de Medellín de Bravo, Ver., reportó que la tilapia gris del Nilo mostró un peso superior al Pargo-UNAM y a la tilapia roja de Florida, sin embargo el PU fue superior a esta última tilapia, durante un cultivo de 157 días (Figura 16).

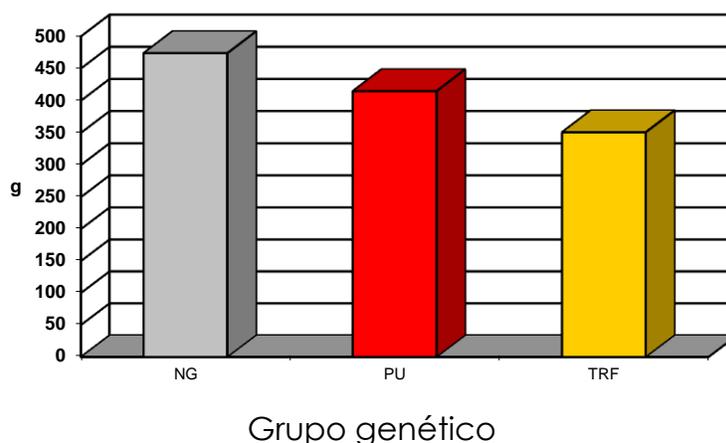


Figura 16. Peso final del Pargo-UNAM, la tilapia gris del Nilo y la tilapia roja de Florida, al término de 157 días de cultivo. PU = Pargo-UNAM; NG = tilapia gris del Nilo y TRF = Tilapia roja de Florida.

Fuente: Peña-Delgadillo y colaboradores (2008).

Montiel y colaboradores (2010) compararon el crecimiento del Pargo-UNAM y la tilapia Mosambica en agua marina por 104 días (Figura 17); en este estudio, se incluyó a la tilapia gris del Nilo gris, sin embargo la totalidad de los ejemplares de esta especie murieron debido a la salinidad del agua marina. El Pargo-UNAM obtuvo al término de la engorda un peso superior a la tilapia Mosambica.

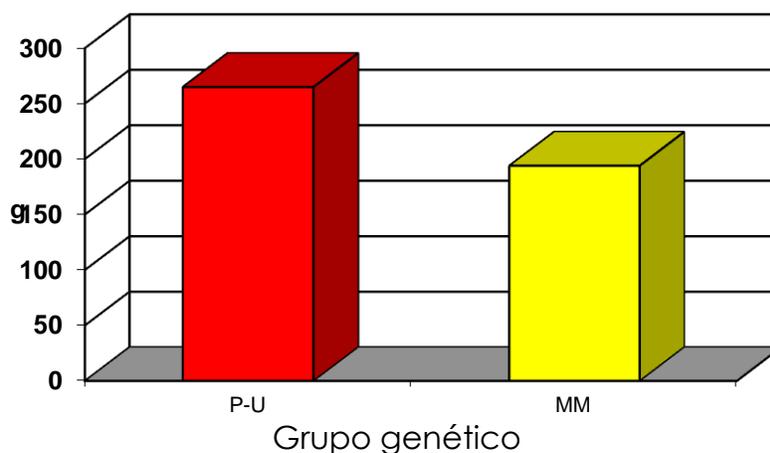


Figura 17. Peso final del Pargo-UNAM y la tilapia Mosambica en agua marina. PU = Pargo-UNAM; MM = tilapia Mosambica.

Fuente: Montiel-Leyva y colaboradores (2010).

Villarrue-Rico *et al.* (2010), realizó un estudio en las instalaciones del CEIEGT-FMVZ-UNAM sobre el crecimiento de la línea colombiana de tilapia roja denominada Jumbo Red y el Pargo-UNAM, en un cultivo de 211 días; en donde el Pargo-UNAM mostró un mayor peso final al término del cultivo (Figura 18).

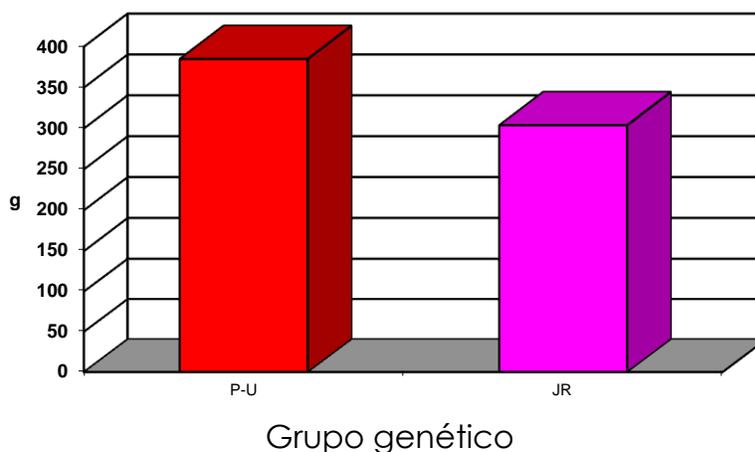


Figura 18. Peso final del Pargo-UNAM y la tilapia roja Jumbo Red. PU = Pargo-UNAM; JR = tilapia Jumbo Red.

Fuente: Villarrue-Rico *et al.* (2010).

En las investigaciones realizadas por Ortiz (2008), Medina (2009) y Ramírez-Paredes *et al.* (2011), se comparó el crecimiento del Pargo-UNAM y la tilapia gris del Nilo; los resultados de sus estudios mostraron un crecimiento similar entre ambos grupos genéticos (Figuras 19, 20 y 21).

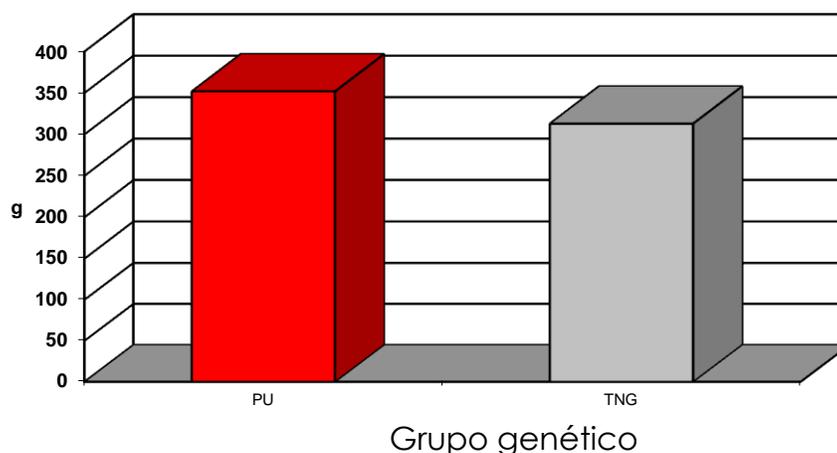


Figura 19. Peso final del Pargo-UNAM y la tilapia gris del Nilo, en cultivo de 153 días. PU = Pargo-UNAM; TNG = tilapia gris del Nilo.

Fuente: Ortiz (2008).

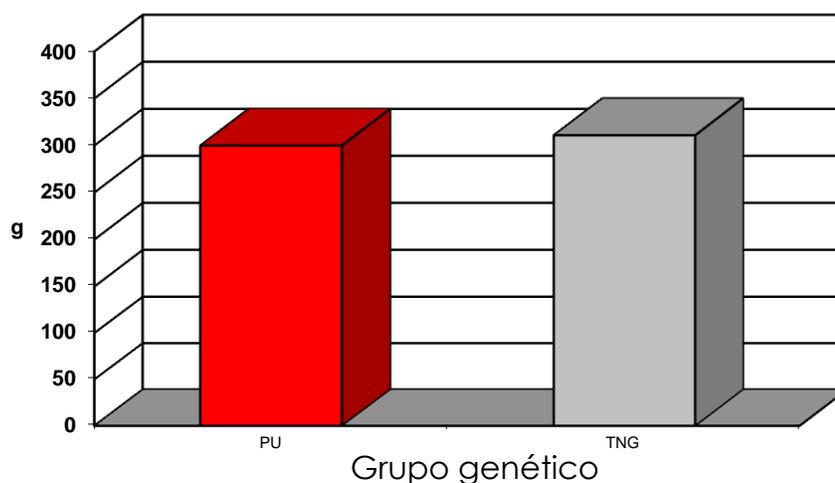


Figura 20. Peso final del Pargo-UNAM y la tilapia gris del Nilo, 207 días de cultivo. PU = Pargo-UNAM; TNG = tilapia gris del Nilo.

Fuente: Medina (2009).

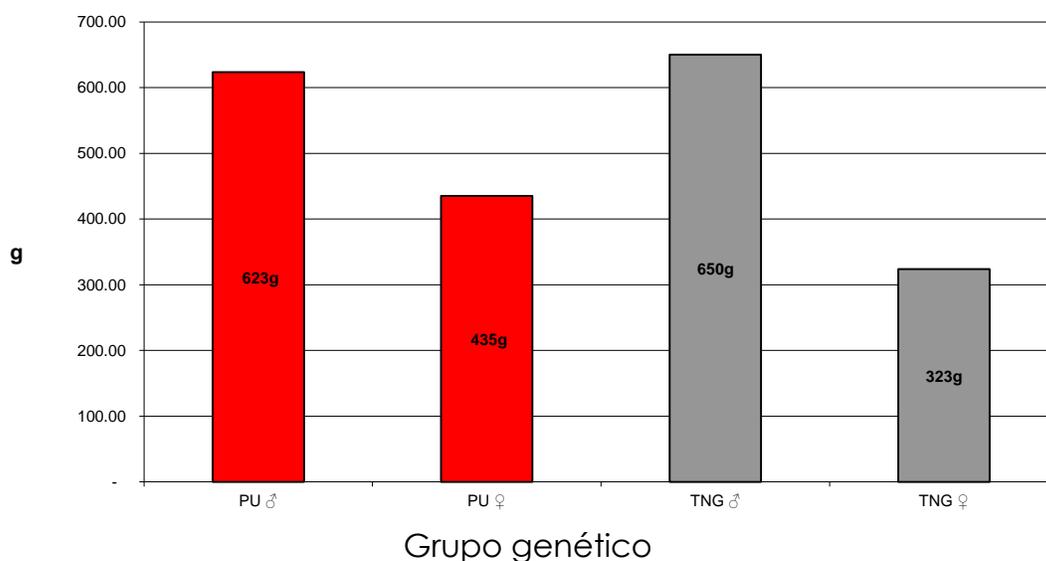


Figura 21. Peso final del Pargo-UNAM y la tilapia gris del Nilo, 342 días de cultivo. PU = Pargo-UNAM; TNG = Tilapia gris del Nilo.

Fuente: Ramírez– Paredes y colaboradores (2011).

El estudio de Ortiz (2008) se realizó en la granja piscícola Agroindustrias Pargo SA de CV, localizada en el municipio de Actopan, Ver., el trabajo de Medina (2009) en la granja piscícola Amazonas de la Selva ubicada en el municipio de Úrsulo Galván, Ver., mientras que el estudio de Ramírez-Paredes *et al.* (2011) en el Centro Acuícola y Turístico La Presa, localizado en el municipio de Martínez de la Torre, Ver.

Los resultados obtenidos en las investigaciones que se muestran en este manual, mostraron evidencias de que el Pargo-UNAM era una alternativa viable en la producción comercial de tilapia roja, sin el inconveniente del bajo ritmo de crecimiento que muestran la mayoría de los grupos genéticos de las denominadas tilapias rojas.

5.0 Manejo zootécnico

El Pargo-UNAM al ser una población compuesta de diversos grupos genéticos de tilapia, incrementa las posibilidades en el aumento en la variabilidad de rasgos de interés comercial, sin embargo también incrementa las posibilidades de realizar trabajos de selección aprovechando dicha variabilidad. Lo anterior puede explicar la amplia variación de pesos en el Pargo-UNAM al término de un cultivo.

Con el propósito de abordar esta temática, Galindo (2011) realizó un estudio para conocerla variación de pesos finales de Pargo-UNAM entre las poblaciones de este grupo genético al término de un cultivo de 157 días.

Estas poblaciones de Pargo-UNAM se obtuvieron de la siguiente manera: al término del proceso de inversión sexual, un lote de crías se separaron en dos grupos con base a sus pesos y un tercer grupo fue obtenido en forma aleatoria, de manera tal que se obtuvieron tres grupos cuyos pesos promedio fueron: 1.60 g, 1.20 g y 0.80 g, denominando los grupos como: a) grande, b) aleatorio y c) chico, respectivamente.

Los pesos finales de los tres grupos fueron los siguientes: 453 g para el grupo grande, 350 g para el grupo aleatorio y 222 g para el grupo chico (Figura 22).

En la figura 23 se observa la distribución de pesos del grupo aleatorio, al término del cultivo, en donde se observa que una parte importante de los peces cosechados no alcanzaron el peso de 350 g, peso mínimo requerido para el mercado de estos peces.

La investigación realizada por Galindo (2011) mostró que al seleccionar las crías de Pargo-UNAM de mayor peso posterior a la inversión sexual, se tienen como ventajas: a) peces de mayor peso al final de la engorda, b) disminución de permanencia de los peces en el cultivo, c) reducción de costos de mantenimiento, y d) optimización del uso de los estanques de engorda.



Figura 22. Diferencia de tallas al término del cultivo de tres grupos de Pargo-UNAM. De arriba a abajo: grupo grande, grupo aleatorio y grupo chico.

Fuente: Galindo (2011)

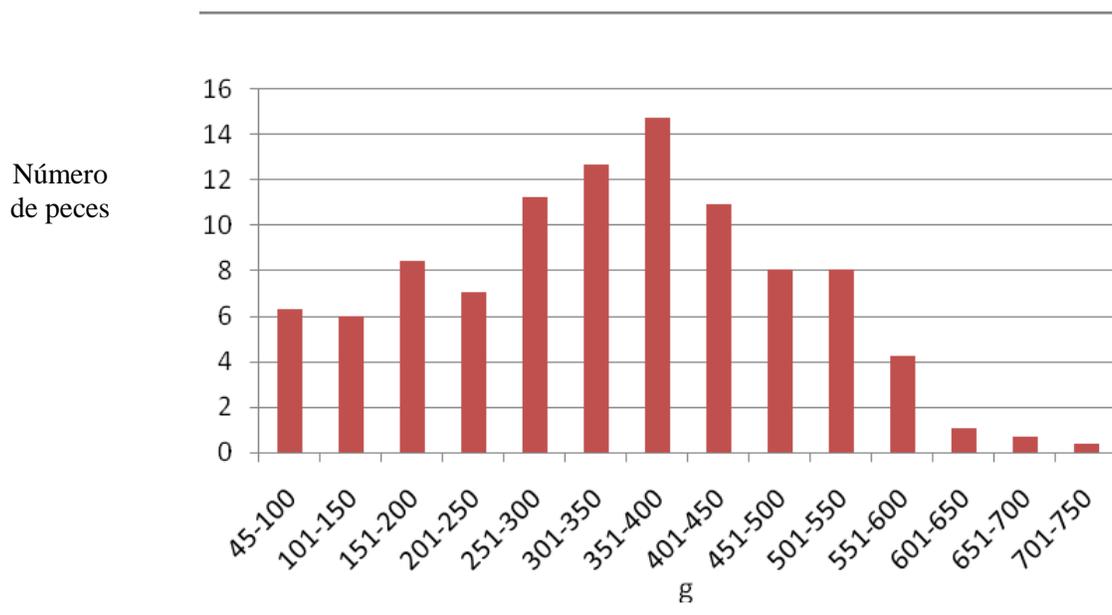


Figura 23. Variación de pesos de Pargo-UNAM de una población aleatoria, al término de 157 días cultivo.

Fuente: Galindo (2011)

6.0 Manejo genético

El Pargo-UNAM fue obtenido mediante un esquema de cruzamientos de tres grupos genéticos de tilapia (explicado en el capítulo 3), de manera tal que se aprovechó el efecto de vigor híbrido en el crecimiento del pez, así como la complementariedad de caracteres de los grupos genéticos involucrados. Sin embargo, para mantener en el Pargo-UNAM su característica de rápido crecimiento a través de las generaciones, es de gran importancia considerar la **consanguinidad** la cual se presenta e incrementa al cruzar peces emparentados, aumentándose a la vez la posibilidad de afectar negativamente características de importancia comercial como lo es el crecimiento (Tave, 1986a).

La consanguinidad puede reducirse por dos vías: primero, aumentando el número de reproductores y segundo, utilizando en la reproducción una proporción macho : hembra lo más cercano a 1:1.

Considerando unidades de producción con espacios limitados, y considerando lo recomendado por Kincaid (1975), Ryman y Stahl (1980) y Tave (1986b), se sugiere que el número de reproductores sea entre 50 machos y 50 hembras hasta 150 machos y 150 hembras, o más.

En un apareamiento aleatorio, en una primera generación, esa relación de reproductores produciría una consanguinidad de 0.50 % y 0.17 %, respectivamente. En el primer caso, si utilizamos una proporción de 50 machos con 50 hembras y el apareamiento siempre es aleatorio, tendremos en 50 generaciones una consanguinidad del 1 %. Si consideremos que un nivel de consanguinidad del 5 % sería suficiente para producir una depresión de los rasgos de interés comercial, la unidad de producción se encontraría muy alejada del valor crítico. Pero, si se utiliza una proporción de 25 machos con 25 hembras, se alcanzaría en la quinta generación 5 % de consanguinidad, lo cual pondría en riesgo el vigor de sus tilapias.

Por otro lado, un atractivo importante del Pargo-UNAM es su color rojo, el cual debe de ser sin pigmentos de melanina (manchas negras) ni amplias áreas sin pigmento rojo en el cuerpo. En la figura 24 se presentan las variantes de coloración

en el Pargo-UNAM: rojo, blanco, rojo con blanco, y rojo con pigmento de melanina en la piel (pintos) (Bejarano, 2006). Los pigmentos de melanina en piel de la población del Pargo-UNAM son producto de pocos genes que producen esta característica en la población, y una manera de erradicarlos es no utilizar reproductores que presentan dichas características y de esta manera se evita su transmisión a la siguiente generación.



Figura 24. Variantes de coloración en el Pargo-UNAM.

Fuente: Bejarano (2006).

Para eliminar los pigmentos de melanina en piel del PU, se sugiere emplear reproductores por arriba de 300 g y 400 g para hembras y machos respectivamente, ello permitirá hacer una valoración más efectiva de la coloración de los peces, antes de colocarlos en los estanques de reproducción.

7.0 Consideraciones finales

En el presente manual se han mostrado los elementos que sustentan la recomendación del Pargo-UNAM como una alternativa viable en los sistemas dedicados a la producción de tilapia roja.

En el capítulo 3, destinado a describir los orígenes del Pargo-UNAM, se mostró que esta nueva población presentó un importante efecto genético denominado heterosis retenida. Este efecto le permitió al PU presentar un crecimiento similar al trihíbrido cuyo cruzamiento *interse* que le dio origen, lo que implicó un importante hallazgo desde el punto de vista del manejo zootécnico. Si bien el trihíbrido mostró un crecimiento superior a las poblaciones de tilapia que le dieron origen, así como a los híbridos generados para su obtención, presenta el inconveniente de que para su generación son necesarios una serie de cruzamientos que hacen complejo su sistema de producción; sin embargo, la población sintética Pargo-UNAM, producto del cruzamiento *interse* del trihíbrido, no presenta dicho inconveniente. El Pargo-UNAM se maneja como cualquier otro grupo genético de tilapia roja.

Las investigaciones posteriores a la generación del Pargo-UNAM, que se muestran en el capítulo 4, mostraron la presencia de otro efecto genético importante, el de la complementariedad de caracteres. En este caso, la nueva población sintética mostró no tener un efecto negativo en su desarrollo en agua salobre y marina, característica complementaria que le fue heredada de uno de los grupos genéticos que le dieron origen: la tilapia roja de Florida. Dicha característica es de suma importancia, ya que en la actualidad la producción de tilapia en agua marina está sustentada en la utilización de la tilapia Mosambica de color rojo (*Oreochromis mossambicus*) o algunos híbridos en cuyo genotipo se encuentra presente dicha tilapia, grupos genéticos que toleran muy bien el agua marina pero presentan un crecimiento muy inferior a las tilapias utilizadas comúnmente en agua dulce como la tilapia del Nilo (*O. niloticus*). En estos sistemas de producción de tilapia en agua marina y salobre es en donde el Pargo-UNAM tiene un nicho importante debido a su rápido crecimiento y a tolerar condiciones de salinidad variable.

Otro hallazgo relevante del Pargo-UNAM es que muestra un crecimiento similar a la tilapia gris del Nilo bajo diferentes sistemas de producción en agua dulce. Sin embargo, debe de considerarse que esta última tilapia es en la que se basa la mayor parte de la producción mundial de tilapia debido a su aceptable desempeño productivo, entre los que destaca su tasa de crecimiento.

Con base en lo presentado, el Pargo-UNAM se proyecta como una alternativa viable en la producción de tilapia roja en México en sistemas de producción en agua dulce, salobre o marina.

8.0 Literatura citada

- Adepo-Gourene B, Teugels G, Agnese JF. Morphologic and genetic differentiation of natural populations of *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lacepede, 1803) (Siluroidei, Claroteidae). Proceedings of the Symposium Genetics and Aquaculture in Africa; 1997 April 1-4; Abidjan (Paris) France. Abidjan (Paris) France: ORSTOM, 1997: 277-284.
- Avault JW, Shell EW. Preliminary studies with the hybrid tilapia *Tilapia nilotica* x *Tilapia mossambica*. FAO Fish Rep 1968; 44: 343-345.
- Bejarano L. Reporte final de las actividades realizadas durante la estancia en el Módulo de Producción Acuícola del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM (tesis de licenciatura). México (D.F.): Universidad Nacional Autónoma de México, 2006.
- Bourdon R. Understanding animal breeding. New Jersey: Prentice Hall 1997.
- Cabrera GM. Genética aplicada en algunas especies de peces de ornato. Boca del Río (Veracruz) México: Instituto Tecnológico del Mar 1991a.
- Cabrera GM. Introducción a la genética acuícola. México (DF): FONDEPESCA 1991b.
- Cano X, Muñoz G, Garduño M. Cruzamientos terminales de tres especies de tilapia (*Oreochromis aureus*, *O. mossambicus* y *O. niloticus*). Memorias de la Décima Cuarta Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria del Estado de Veracruz; 2001 octubre 25-26; Veracruz (Veracruz) México. Veracruz (Veracruz): Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, 2001: disponible en disco compacto.
- Carrasco AP, Penman DJ, Bromage N. Evidence for the presence of sex chromosomes in the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) from synaptonemal complex analysis of XX, XY and YY genotypes. Aquaculture 1999; 173: 207-218.
- Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA). Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2017 (Serie en línea) 2017 (citado 2017); (300 pantallas). Disponible en:
https://www.conapesca.gob.mx/work/sites/cona/dgppe/2017/ANUARIO_ESTADISTICO_2017.pdf
- Davis GP, Arthur PF, Smith C, Gavora JS, Benkel B, Chesnais J, Fairfull W, Gibson JP, Kennedy B, Burnside EB. Crossbreeding large ruminants in the tropics: current knowledge and future directions. Proceedings of 5th World Congress on

Genetics Applied to Livestock Production; 1994 August 7-12; Guelph (Ontario) Canada. Guelph (Ontario) Canada: University of Guelph, 1994: 332-339.

Falconer DS. Introduction to quantitative genetics. 3rd. ed. New York: Longman Scientific & Technical 1989.

Galindo A. Rasgos productivos de una población sintética de tilapia roja Pargo-UNAM segregada en tres grupos que presentan diferencia en la velocidad de crecimiento al término de la inversión sexual (tesis de licenciatura). México (D.F.): Universidad Nacional Autónoma de México, 2011.

Gregory KE, Cundiff LV. Breeding programs to use heterosis and breed complementarity. *Revista Brasileira do Reproducao Animal* 1999; 23: 65-77.

Hepher B, Pruginin Y. Cultivo de peces comerciales. Basado en las experiencias de las granjas piscícolas de Israel. México (DF): Limusa 1985.

Jiménez EA, Riego M, Muñoz G. y Garduño M. Desempeño productivo y heterosis retenida en una población sintética de tilapia: El pargo-UNAM. Resúmenes de trabajos del Primer Taller Latinoamericano, Sector Tilapia. 2004 junio 8-9; Puerto Vallarta (Jalisco) México: Panorama Acuícola Magazine, FIRA y Gobierno de Jalisco, 2004.

Josupeit H. World supply situation and outlook for tilapia "World tilapia trade". Proceedings of the Second International Technical & Trade Conference & Exposition on Tilapia; 2007 August 23-25; Kuala Lumpur Malaysia. Kuala Lumpur: Fish Marketing Information Service (Infofish) of the Food and Agriculture Organization (FAO), 2007: 3-12.

Kincaid HL. Effects of inbreeding on rainbow trout populations. *Trans Am Fish Soc* 1975; 105: 273-280.

Leao V, Silva P, Machado CP, Dalacorte P. Comparacao do desempenho productivo de machos revertidos de tilapia nilotica, *Oreochromis niloticus* (Linhagem Tailandesa) e de tilapia vermelha tetrahibrida (Linhagem de israel). *Tilapia Aquaculture* 2000;1:83-87.

Mather PB, Lal SN, Wilson J. Experimental evaluation of mass selection to improve red body colour in Fijian hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* x *Oreochromis mossambicus*). *Aqua Res* 2001; 32: 329-336.

Matricia T, Talbot AJ, Doyle RW. Instantaneous growth rate of tilapia genotypes in undisturbed aquaculture. *Aquaculture* 1989; 77: 295-306.

Medina AL. Desempeño productivo de la Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*, L.) y el Pargo-UNAM en jaulas flotantes en el estado de Veracruz (tesis de licenciatura). Altamira (Tamaulipas): Instituto Tecnológico de Altamira, 2009.

- Montiel-Leyva A, Garduño-Lugo M y Muñoz-Córdova G. Desempeño productivo de la tilapia sintética roja el "Pargo-UNAM" en agua marina en Veracruz, México. Resúmenes de trabajos de la Vigésimo Tercera Reunión Científica - Tecnológica Forestal y Agropecuaria Veracruz y II del Trópico Mexicano 2010; 2010 noviembre 17-20; Tepetates, municipio de Manlio F. Altamirano, Veracruz, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, 2010: 204.
- Morales-Alamán V, Muñoz-Córdova G, Garduño-Lugo M,: Desempeño productivo de la tilapia del Nilo y una población compuesta de tilapia roja: El Pargo UNAM. Trabajo en extenso en las Memorias de la XIX Reunión Científica – Tecnológica Forestal y Agropecuaria, Veracruz 2006; 2006 noviembre 6; Boca del Río, Veracruz, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. 2006: 8-14.
- Moreira AA, Moreira HLM, Hilsdort AWS. Comparative growth performance of two Nile tilapia (*Chitralada* and Red-Stirling), their crosses and the Israeli tetra hybrid ND-56. *Aquaculture Research* 2005; 36, 1049-1055.
- Muñoz G, y Garduño M. Comparación del crecimiento entre *Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus* y su híbrido bajo condiciones de cultivo. *Vet. Mex.* 1994a; 25 (4): 323-326.
- Muñoz G, y Garduño M. Crecimiento de cuatro líneas de la mojarra tilapia durante la fase de engorda. Resúmenes de trabajos de la Séptima Reunión Científica del Sector Agropecuario y Forestal del Estado de Veracruz, 1994 diciembre 9; Veracruz, Veracruz, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, 1994b: 153.
- Muñoz G, y Garduño M. Evaluación del crecimiento de cuatro fenotipos de la mojarra tilapia *Oreochromis niloticus*. *Oceanología* 1996; 10 (2): 143-152.
- Muñoz G. Heterosis, habilidad combinatoria, proporción de sexos y segregación del color rojo en un cruzamiento dialélico completo de tres especies de tilapia (*Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus* y *O. aureus*)(tesis de maestría). México (D.F.): Universidad Nacional Autónoma de México, 2000.
- Muñoz-Córdova G. Mejora genética en tilapia mediante sistemas de cruzamiento. Caso Pargo-UNAM. Trabajo en extenso en las Memorias del Segundo Congreso Internacional de Acuicultura 2014, 2014 noviembre 26-28; Acapulco, Guerrero, México: SENASICA, UNAM y CONAES, 2014.
- Ortiz F. Desempeño productivo de la tilapia del Nilo y la población sintética Pargo-UNAM bajo cultivo intensivo en una explotación comercial en el estado de Veracruz (tesis de licenciatura). México (D.F.): Universidad Nacional Autónoma de México, 2008.

- Pillay, T. Aquaculture. Principles and Practices. Fishing News Books, Great Britain, 1990.
- Peña-Delgadillo C, Garduño-Lugo M, y Muñoz-Córdova G. Desempeño productivo entre una población sintética de tilapia roja, el "Pargo-UNAM", la Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) y un híbrido rojo en Medellín de Bravo, Veracruz. Resúmenes de trabajos de la Vigésimo Primera Reunión Científica - Tecnológica Forestal y Agropecuaria Veracruz y I del Trópico Mexicano; 2008 noviembre 13-14; Peñuela, Veracruz, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. 2008: 34.
- Ramírez-Paredes G, Garduño-Lugo M, Muñoz-Córdova G. Productive Performance of a new synthetic red tilapia population Pargo-UNAM compared to that wild type Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). Aquaculture research 2011; 1-9.
- Riego, M. Comportamiento productivo y heterosis retenida de una población sintética de tilapia ($\frac{1}{4}$ Rocky Mountain, $\frac{1}{4}$ *Oreochromis niloticus* y $\frac{1}{2}$ tilapia roja de Florida) durante la etapa de engorda (tesis de licenciatura). México (DF) México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Univ. Nal. Autón. de Méx., 2005.
- Robles R. Diccionario genético y fitogenético. México (DF): Trillas 1995.
- Ryman N, Stahl G. Genetic changes in hatchery stocks of brown trout (*Salmo trutta*). Can J Fish Aquatic Sci 1980; 37: 82-87.
- Salazar-Ulloa M, Muñoz-Córdova G, Garduño-Lugo M. y Rubio-Godoy M. Desempeño productivo de cuatro grupos genéticos de tilapia (*Oreochromis spp.*) en la zona centro-norte del estado de Veracruz. Resúmenes de trabajos de la Vigésimo Primera Reunión Científica - Tecnológica Forestal y Agropecuaria Veracruz y I del Trópico Mexicano; 2008 noviembre 13-14; Peñuela, Veracruz, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, 2008: 36.
- Stansfield WD. Genética. 3a ed. México (DF): McGraw-Hill 1992
- Tave D. Genetics for fish hatchery managers. Westport: AVI Publishing Company Inc., 1986a.
- Tave D. Effective breeding number and broodstock management: II. How to minimize genetic drift. Proceedings Auburn Symposium on fisheries and aquaculture; 1986; Auburn (Alabama) USA. Auburn (Alabama): Auburn University, 1986b.
- Van Vleck LD, Pollak EJ, Branfor EA. Genetics for the Animal Science. New York: WH Freeman 1987.

- Velásquez MC, Garduño-Lugo M, Muñoz-Córdova G. Desempeño productivo y heterosis de dos híbridos rojos de tilapia (*Oreochromis* spp. Linn.). Trabajo en extenso en las Memorias de la XIX Reunión Científica – Tecnológica Forestal y Agropecuaria, Veracruz 2006, 2006 noviembre 6; Boca del Río, Veracruz, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. 2006:1-17.
- Villarrue-Rico H, Muñoz-Córdova G, y Garduño-Lugo M. Comparación del desempeño productivo entre las tilapias rojas: pargo-UNAM y Red Jumbo, y la tilapia del Nilo gris o de tipo silvestre, bajo condiciones de cultivo intensivo en la zona centro-norte del estado de Veracruz. Resúmenes de trabajos de las Reuniones Nacionales de Investigación e Innovación Agroalimentaria y Forestal Campeche; 2010 noviembre 22-27; San Francisco de Campeche, Campeche, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Campeche, 2010.