

Hibridación y determinación del patrón de herencia de los colores y otros rasgos por cruzamiento recíproco entre cuatro variedades consanguíneas domésticas con la variedad silvestre del pez ornamental guppy, *Poecilia reticulata* Peters (pisces, Osteichthyes)

Hybridization and determination of the pattern of inheritance of colors and other features by reciprocal crossing between four domestic varieties with the wild variety of the ornamental fish guppy

Recibido: marzo 22 de 2017 | Revisado: abril 12 de 2017 | Aceptado: mayo 26 de 2017

CARLOS SCOTTO ESPINOZA¹
CÉSAR TEODORO ARRIOLA PRIETO²

ABSTRACT

We analyze the F1 of mating females of four endogamic strains females of guppy (*Poecilia reticulata*) obtained in our laboratory, they were hybridized with wild type males as well as the reciprocal mating. Qualitative and quantitative morphological traits were evaluated and they were compared with parental inherited traits, such as: body and fins color pattern, caudal fin shape, dorsal fin length, body length and the presence/absence of black and orange spots in both sexes.

Key words: *Poecilia reticulata*, guppy, hybridization, autosomal inheritance, sex-linked inheritance

RESUMEN

En la presente investigación se analiza el F1 de la hibridación entre las hembras de cuatro líneas o variedades consanguíneas domésticas ya establecidas del pez ornamental guppy (*Poecilia reticulata*) cruzados con machos de la variedad silvestre y su cruzamiento recíproco. Se evaluó, los rasgos morfológicos cualitativos y cuantitativos nuevos, y se les comparó con los rasgos heredados de los progenitores como fueron: patrón de color o pigmentación del cuerpo y de las aletas, forma de la aleta caudal, longitud de la aleta dorsal, longitud corporal y la presencia o ausencia de manchas negras y naranjas en ambos sexos..

Palabras clave: *Poecilia reticulata*, guppy, hibridación, herencia autosómica, herencia ligada al sexo

¹ Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas Universidad Nacional Federico Villarreal.
E-mail: carlosscottoespinoza@gmail.com
² E-mail: carriolap15@gmail.com

El pez ornamental guppy, “pez millón” o “pez misionero” (*Poecilia reticulata*; Wilhelm Carl Hartwig Peters, 1859) es oriundo de la selva del Orinoco y de las islas de Trinidad y Tobago en América del Sur. Entre 1853 y 1859, zoólogos de Francia y Alemania empezaron a estudiar este pez en acuarios europeos, pero recién en 1908 llegaron los primeros especímenes vivos a Europa. En 1920, fueron exportados a USA como pez tropical llegando a seleccionarse diferentes variedades en 1950. Con el tiempo, se constituyeron en uno de los peces más populares junto con el Goldfish a nivel mundial. Actualmente, con diversas condiciones ambientales, métodos de alimentación y un control en el mejoramiento genético se han obtenido guppies de mejor calidad, principalmente, en el patrón de color, forma de las aletas y en el tamaño corporal (Gutiérrez, 1990; Hidalgo, 1990).

Una de las formas de mejoramiento genético es el cruce de líneas puras o “crossbreeding”, el cual utiliza animales machos de una línea y lo cruza con animales hembras de otra línea y viceversa para aprovechar el “vigor híbrido” de la confrontación de alelos contrastantes en un mismo animal en la progenie (Figura 1) (López-Fanjul & Toro, 1990).

Existen más de 40 líneas de guppies clasificados por el color y para lo cual existen cinco tipos distintos de células pigmentarias o cromatóforos, clasificadas en dos grupos: los que absorben luz, como son los melanóforos que proporciona los colores negro y marrón, los eritróforos que dan el color rojo, y los xantóforos que dan el color amarillo. Y los que reflejan la luz como son los leucóforos que son de color blanco opaco y los iridóforos que dan un tono plateado (Bagnara & Handley, 1973).

Se ha determinado que el color gris (silvestre) está gobernado por un alelo dominante (*w*) que es dominante sobre otros alelos que determinan el color en distintas variedades de guppy como son el dorado, rubio, crema y el albino (Goodrich *et al.*, 1944).

También, los colores corporales de las variedades negra y roja son dominantes sobre el color amarillo. Y pueden presentar epistasis sobre otros colores más claros. El color negro puede abarcar todo el cuerpo o parte de él ($\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ o $\frac{3}{4}$), probablemente, por factores influenciados por el sexo. Además, se ha comprobado que la “presencia de puntos negros en la cola” de las hembras es recesiva con respecto a la ausencia de los mismos. Por otro lado, existe algunos rasgos ligados al cromosoma Y, por la cual un rasgo es heredado solamente de padres a hijos y nunca a las hijas. Es el caso del rasgo “cobra” o piel de serpiente caracterizado por la presencia de arabescos (Rodríguez, 1980). Y el fenotipo “maculatus” que se caracteriza por la presencia de una “mancha negra” en la aleta dorsal de los machos (Goodrich *et al.*, 1947)

El guppy silvestre posee el cuerpo, la aleta caudal y dorsal con una coloración variada (naranja y violeta) sobre un fondo gris. Además, presenta puntos oscuros los cuales varían en número desde uno hasta cuatro. Las hembras poseen todo el cuerpo y las aletas de color gris y no presentan puntos oscuros (Scotto & Maguiña, 2003). Winge & Ditlevsen (1947) han estudiado las manchas negras, azules, rojas o naranjas y amarillas de los machos de los guppies silvestres y su ordenamiento en patrones. Determinaron que estaban gobernados por genes ubicados en los cromosomas sexuales X e Y. Puede existir o no entrecruzamiento o recombinación entre el cromosoma X y el cromosoma Y portadores de estos genes. Además, en algunos casos se necesitaba la presencia del cromosoma Y para que la acción hormonal masculina exprese un color solamente en los machos y no en las hembras.

Se ha descrito 18 genes del color en guppies. En el cromosoma Y están nueve y ocho en el cromosoma X, de los cuales tres no se recombinan con el cromosoma Y, y cinco sí lo hacen de $Y \rightarrow X$, de $X \rightarrow Y$ o de $X \rightarrow X$. Solo un gen del color está en un cromosoma autosómico y controla el color del fondo del cuerpo. Además, cada gen presentaba un sistema multialélico

particular de 24 alelos distintos que hace más difícil el análisis del mecanismo genético. En consecuencia, Khoo *et al.*, (1999^{a, b}) y Phang *et al.*, (1989^{a, b}, 1990, 1991, 1999) han mencionado que para entender y comprender mejor el patrón de herencia de los genes en las variedades o líneas domésticas modernas debe realizarse estudios en las poblaciones silvestres.

En cuanto a la forma de la aleta caudal existen los siguientes tipos: la “lanza o flama” que es ancha en la base y se ahuesa gradualmente hasta formar una punta simétrica. La “espada baja o inferior”, la cual posee los rayos inferiores extendidos formando un solo filamento en forma de espada. La “doble espada”, la aleta caudal posee dos filamentos que forman un ángulo de treinta grados de apertura. La “pala o espátula” que al comienzo es redonda, luego los bordes superiores e inferiores son paralelos al eje del cuerpo y terminan en un ángulo de ciento veinte grados de forma simétrica. La “aguja o alfiler”, la aleta es redonda, pero la parte central forma un filamento recto y puntiagudo. La “abanico o delta”, es triangular con un ángulo de noventa grados. Genéticamente, se sabe que la cola “redonda” domina sobre las colas tipo “flama” y tipo “espada”. La “ausencia de espada” es dominante sobre la “presencia de espada”. Además, se sabe que la cola “espada alta”, “espada baja” y “lira” está ligada al cromosoma Y, y la cola “pala” está ligada al cromosoma X. Por otro lado, la cola de “Lanza o flama” está casi extinta y ligada al cromosoma X (Rodríguez, 1980; Dauvillier, 1999).

La longitud de la aleta caudal, medida solo en machos, podrá ser “corta” si no llega al pedúnculo caudal (límite entre el final del cuerpo e inicio de la aleta caudal). “mediana” si llega al pedúnculo caudal y “larga” si sobrepasa el pedúnculo caudal (Rodríguez, 1980).

Actualmente, el acuarismo o la acuariofilia tiene un gran impulso comercial, principalmente, en especies de fácil manejo y reproducción rápida como el Guppy. Los criadores de

este espécimen urgen en la necesidad de nuevas variedades más vistosas que por su “belleza” o “rareza” fenotípica le den valor agregado. Además, no existe un estudio científico en el país sobre mejora genética mediante el cruzamiento de distintas variedades de guppy para obtener nuevas líneas que satisfagan el actual mercado local y nacional.

Metodología

Ubicación y duración del experimento

El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigación Animal de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas de la Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV), perteneciente a la provincia de Lima, departamento de Lima, entre los meses de enero del 2004 y diciembre del 2005.

De la hibridación y esquema de cruzamiento

Se colocaron en peceras independientes a condiciones óptimas (25°C y aireadas constantemente), cuatro hembras “vírgenes” de una variedad pura doméstica con un macho reproductor de la variedad silvestre puro para su cruzamiento. Recíprocamente se colocaron una hembra silvestre pura con un macho de una variedad doméstica pura (Figura 1).

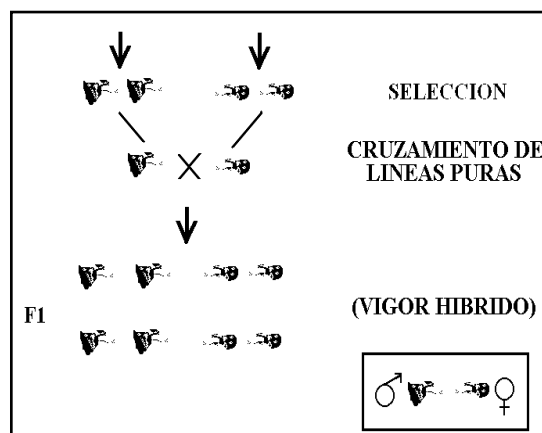


Figura 1: Esquema de cruzamiento de variedades puras por la variedad silvestre

De la alimentación

Los animales fueron alimentados *ad libitum* con alimento seco.

De la colecta y crecimiento

Se evaluó cada pecera por un periodo de cuatro meses hasta que se produjo la parición. Las crías fueron inmediatamente separadas de los padres en otra pecera, también, acondicionada bajo las mismas condiciones y alimentadas con nauplios de artemia y microalgas *ad libitum* hasta cumplir los cuatro meses de edad (adultez) y evaluar su genotipo.

De las variedades en estudio

Se estudió a las variedades puras: cobra verde, cobra amarilla, negra, roja y silvestre del pez ornamental guppy (*Poecilia reticulata*).

Toma de datos y análisis estadístico

Se evaluó, cuantitativamente, el tamaño alcanzado en milímetros a

los individuos machos y analizaron los rasgos morfológicos cualitativos nuevos tanto de hembras como de machos. Luego se les comparó con los rasgos heredados de los progenitores como fueron: color del cuerpo y aletas, forma de las aletas dorsal y caudal y la presencia o ausencia de manchas negras y naranjas corporales en los machos (Figura 1).

Todos los animales de la progenie (Figura 1) y de los padres fueron fotografiados para confrontar sus rasgos fenotípicos.

Resultados

Se utilizaron las siguientes variedades de Guppy conocidas:

VARIEDAD NEGRA



Figura 2. Macho



Figura 3. Hembra

VARIEDAD ROJA



Figura 4. Macho



Figura 5. Hembra

VARIEDAD COBRA AMARILLA



Figura 6. Macho



Figura 7. Hembra

VARIEDAD COBRA VERDE



Figura 8. Macho



Figura 9. Hembra

VARIEDAD SILVESTRE



Figura 10. Macho



Figura 11. Hembra

Se obtuvieron los siguientes híbridos del cruce de machos silvestres con hembras de variedades conocidas:

CRUCE DE HEMBRA DE LA VARIEDAD NEGRA CON MACHO SILVESTRE



Figura 12. Macho híbrido



Figura 13. Hembra híbrida

CRUCE DE HEMBRA DE LA VARIEDAD ROJA CON MACHO SILVESTRE



Figura 14. Macho híbrido



Figura 15. Hembra híbrida

CRUCE DE HEMBRA DE LA VARIEDAD COBRA AMARILLA CON MACHO SILVESTRE



Figura 16. Macho híbrido



Figura 17. Hembra híbrida

CRUCE DE HEMBRA DE LA VARIEDAD COBRA VERDE CON MACHO SILVESTRE



Figura 18. Macho híbrido



Figura 19. Hembra híbrida



Figura 20. Macho híbrido con la aleta caudal tipo "Lanza o flama"



Figura 21. Macho híbrido con la aleta caudal tipo "Espada alta"



Figura 22. Macho híbrido con la aleta caudal tipo “Espada baja”



Figura 23. Macho híbrido con la aleta caudal tipo “Aguja”



Figura 24. Macho híbrido con la aleta caudal tipo “Espada Doble”



Figura 25. Macho híbrido con la aleta caudal tipo “Pala”

Se obtuvieron los siguientes híbridos del cruce de hembras silvestres con machos de variedades conocidas:

CRUCE DE MACHO DE LA VARIEDAD NEGRA CON HEMBRA SILVESTRE



Figura 26. Macho híbrido



Figura 27. Hembra híbrida

CRUCE DE MACHO DE LA VARIEDAD ROJA CON HEMBRA SILVESTRE



Figura 28. Macho híbrido



Figura 29. Hembra híbrida

CRUCE DE MACHO DE LA VARIEDAD COBRA AMARILLA CON HEMBRA SILVESTRE



Figura 30. Macho híbrido



Figura 31. Hembra híbrida

CRUCE DE MACHO DE LA VARIEDAD COBRA VERDE CON HEMBRA SILVESTRE



Figura 32. Macho híbrido



Figura 33. Hembra híbrida

Tabla 1
Comparaciones morfológicas entre los distintos fenotipos de las líneas puras estudiadas

Animal		Color			Forma de la aleta caudal	Longitud de la aleta dorsal	Presencia o ausencia de manchas oscuras corporales
Línea	Sexo	Aleta caudal	Aleta dorsal	Cuerpo			
Negra	Masculino	Negro	Negro	Negro	Abanico o Delta	Mediana	Ausencia
Negra	Femenino	Negro	Negro	Negro	-----	-----	Ausencia
Roja	Masculino	Rojo	Rojo	Rojo verdoso	Abanico o Delta	Mediana	Ausencia
Roja	Femenino	Amarillo	Rojo solo la mitad superior	Amarillento	-----	-----	Ausencia
Cobra Amarilla	Masculino	Amarillo con arabescos	Amarillo	Amarillo con arabescos	Abanico o Delta	Mediana	Ausencia
Cobra Amarilla	Femenino	Amarillo	Amarillo	Amarillo	-----	-----	Ausencia
Cobra Verde	Masculino	Verde con arabescos	Verde con arabescos	Verde con arabescos	Abanico o Delta	Mediana	Ausencia
Cobra Verde	Femenino	Verde con manchas negras y naranja	Verde con manchas negras	Gris verdoso	-----	-----	Ausencia
Silvestre	Masculino	Gris con manchas negras y naranjas	Gris	Gris con manchas naranjas	Pala	Corta	Presencia
Silvestre	Femenino	Gris	Gris	Gris	-----	-----	Ausencia

Tabla 2

Comparaciones morfológicas entre los distintos cruces de hembras de las variedades conocidas con machos de la variedad silvestre

Animal		Color			Forma de la aleta caudal	Longitud de la aleta dorsal	Presencia o ausencia de manchas oscuras corporales
Tipo de Híbrido	Sexo	Aleta caudal	Aleta dorsal	Cuerpo			
Negra x Silvestre	Masculino	Amarillo oscuro	Amarillo	Negro	Pala	Corta	Ausencia
Negra x Silvestre	Femenino	Amarillo oscuro	Negro con borde amarillo	Negro	-----	-----	Ausencia
Roja x Silvestre	Masculino	Rojo con borde negro	Rojo con borde negro	Rojo	Pala	Mediana	Presencia
Roja x Silvestre	Femenino	Naranja con manchas negras	Gris	Gris	-----	-----	Ausencia
Cobra Amarilla x Silvestre	Masculino	Rojo con borde negro y amarillo	Gris con manchas negras	Amarillo grisáceo	Pala	Mediana	Ausencia
Cobra Amarilla x Silvestre	Femenino	Amarillo con borde negro	Gris	Amarillo	-----	-----	Ausencia
Cobra Verde x Silvestre	Masculino	Verde con manchas o sin manchas naranja	Verde	Gris con manchas naranja	Lanza o Flama, Espada alta,	Mediana	Presencia o Ausencia
Cobra Verde x Silvestre	Femenino	Amarillo	Amarillo	Amarillo Verdoso	Espada baja, Espada doble, Pala, Aguja	-----	Ausencia

Tabla 3

Comparaciones morfológicas entre los distintos cruces de hembras de las variedades silvestre con machos de las variedades conocidas.

Animal		Color			Forma de la aleta caudal	Longitud de la aleta dorsal	Presencia o ausencia de manchas oscuras corporales
Tipo de Híbrido	Sexo	Aleta caudal	Aleta dorsal	Cuerpo			
Negra x Silvestre	Masculino	Gris con borde inferior amarillo verdoso	Gris	Gris con manchas naranja	Pala con una ligera Espada baja	Mediana	Presencia
Negra x Silvestre	Femenino	Gris con manchas negras	Gris con manchas negras	Amarillo grisáceo	-----	-----	Ausencia
Roja x Silvestre	Masculino	Rojo con manchas naranjas	Gris	Gris oscuro con manchas naranja	Pala	Corta	Ausencia
Roja x Silvestre	Femenino	Gris con borde rojo	Gris	Gris rojizo	-----	-----	Ausencia
Cobra Amarilla x Silvestre	Masculino	Amarillo con arabescos	Amarilla con arabescos	Amarillo con arabescos	Espada alta	Corta	Presencia
Cobra Amarilla x Silvestre	Femenino	Gris	Gris	Gris	-----	-----	Ausencia
Cobra Verde x Silvestre	Masculino	Verde con arabescos	Verde con arabescos	Verde con arabescos	Espada alta, Espada doble	Mediana	Ausencia
Cobra Verde x Silvestre	Femenino	Gris verdoso	Gris verdoso	Gris Verdoso	-----	-----	Ausencia

Tabla 4

Longitud corporal promedio de los machos (en milímetros) de la variedad silvestre, variedad consanguínea y cruces.

	Variedad Silvestre	Variedades conocidas	Híbrido de ♂ Silvestre x ♀ Variedad	Híbrido de ♂ Variedad x ♀ Silvestre
Longitud corporal promedio (milímetros)	17.7 mm	Roja: 24.5 mm Negra: 21.4 mm Cobra Amarillo: 20.5 mm Cobra Verde: 21.0 mm	20.0 mm	21.6 mm

Tabla 5

Patrón de colores de guppys machos silvestre referencial), obtenidos por el cruce entre hembra de variedad conocida y macho silvestre (Figura superior, variedad silvestre)






Cruce	Diagrama	Descripción
Silvestre		<ul style="list-style-type: none"> - Tres manchas naranjas (debajo de la aleta dorsal, a mitad del pedúnculo caudal, parte inferior de la aleta caudal) - Dos manchas negras (mitad del abdomen, parte superior de la aleta caudal)
Cruce de hembra de la variedad negra con macho silvestre		<ul style="list-style-type: none"> - Una mancha naranja (debajo de la aleta dorsal y trazas naranja en la parte inferior de la aleta caudal). - Coloración negra (parte posteriores de aleta caudal y dorsal festeados de coloración amarilla).
Cruce de hembra de la variedad roja con macho silvestre		<ul style="list-style-type: none"> - Dos manchas naranjas (debajo de la aleta dorsal, y en la parte final del pedúnculo caudal) - Dos manchas negras (parte superior del cuerpo y alargada en forma de "salchicha", parte superior de la aleta caudal)
Cruce de hembra de la variedad cobra amarilla con macho silvestre		<ul style="list-style-type: none"> - Dos manchas naranjas (debajo de la aleta dorsal y alargada en forma de "salchicha" en la parte inferior del pedúnculo caudal).
Cruce de hembra de la variedad cobra verde con macho silvestre		<ul style="list-style-type: none"> - Una mancha naranja (en el medio del pedúnculo caudal).

Tabla 6

Patrón de colores de guppys machos, obtenidos por el cruce entre hembra de variedad conocida y macho silvestre (Figura superior, variedad silvestre referencial)






Cruce	Diagrama	Descripción
Silvestre		<ul style="list-style-type: none"> - Tres manchas naranjas (debajo de la aleta dorsal, a mitad del pedúnculo caudal, parte inferior de la aleta caudal) - Dos manchas negras (mitad del abdomen, parte superior de la aleta caudal)
Cruce de hembra de la variedad cobra verde con macho silvestre		<ul style="list-style-type: none"> - Tres manchas naranjas alineadas (en el medio del pedúnculo caudal, debajo de la aleta dorsal, mitad del abdomen).
Cruce de hembra de la variedad cobra verde con macho silvestre		<ul style="list-style-type: none"> - Dos manchas naranjas (debajo de la aleta dorsal, en la parte inferior del pedúnculo caudal). - Una mancha negra (mitad inferior del abdomen).
Cruce de hembra de la variedad cobra verde con macho silvestre		<ul style="list-style-type: none"> - Tres manchas naranjas alineadas (en el medio del pedúnculo caudal, debajo de la aleta dorsal, mitad del abdomen). - Una mancha negra (mitad inferior del abdomen).
Cruce de hembra de la variedad cobra verde con macho silvestre		<ul style="list-style-type: none"> - Cuatro manchas naranjas (debajo de la aleta dorsal, en la parte inferior del pedúnculo caudal, parte superior e inferior de la aleta caudal). - Una mancha negra (mitad inferior del abdomen).

Tabla 7

Patrón de colores de guppys machos, obtenidos por el cruce entre macho de variedad conocida y hembra silvestre (Figura superior, variedad silvestre referencial)




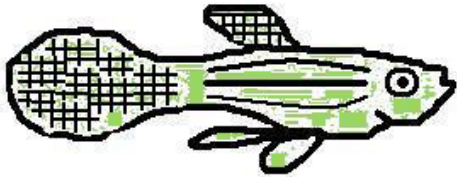
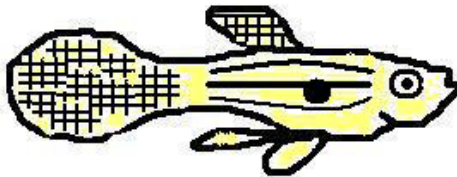
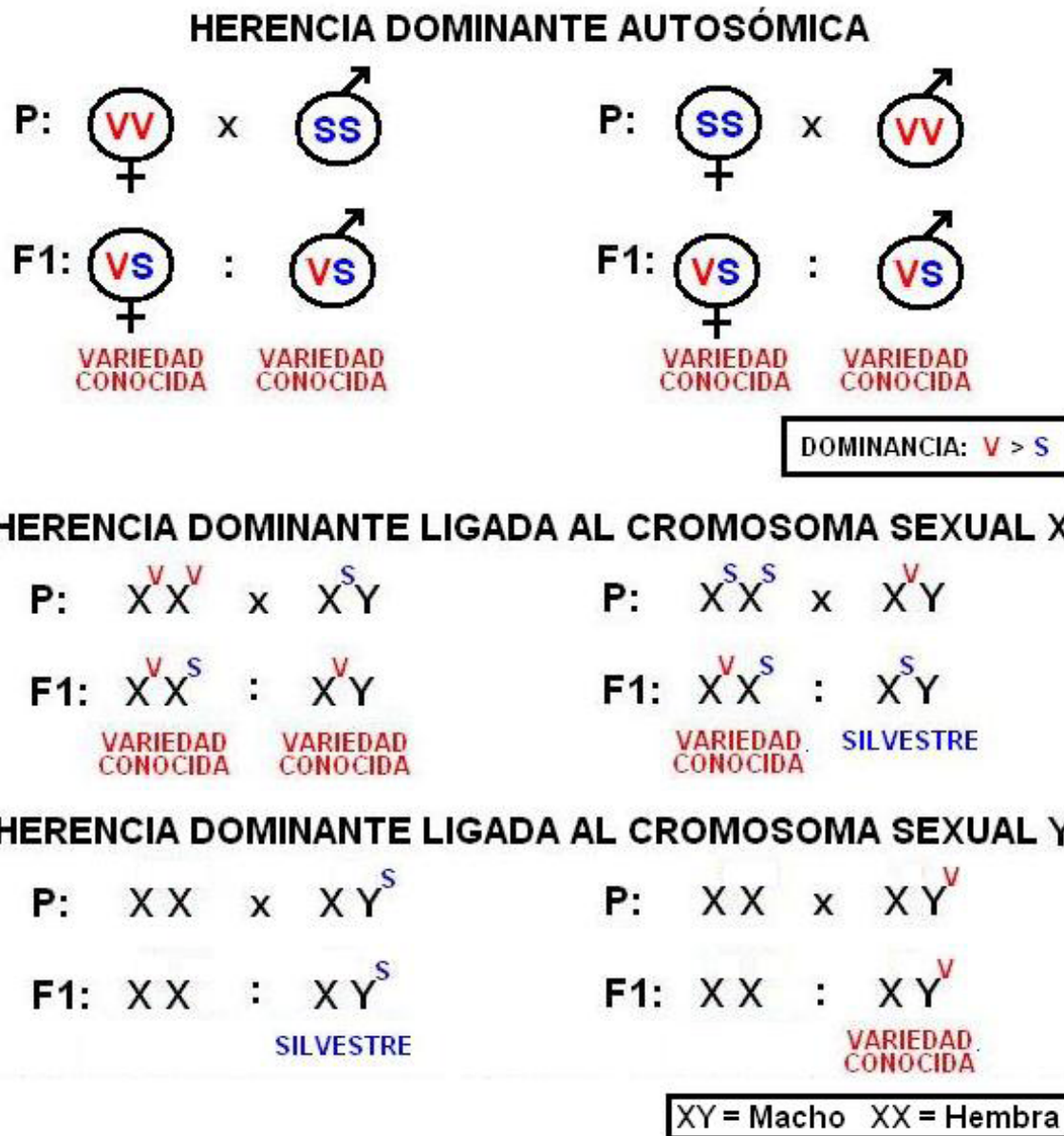
Cruce	Diagrama	Descripción
Silvestre		<ul style="list-style-type: none"> - Tres manchas naranjas (debajo de la aleta dorsal, a mitad del pedúnculo caudal, parte inferior de la aleta caudal) - Dos manchas negras (mitad del abdomen, parte superior de la aleta caudal)
Cruce de macho de la variedad negra con hembra silvestre		<ul style="list-style-type: none"> - Tres manchas naranjas (debajo de la aleta caudal, en el medio inferior del pedúnculo, debajo de la aleta dorsal). - Dos manchas negras (debajo del abdomen, parte superior de la aleta caudal). - Una mancha verde brillante en la parte inferior de la aleta caudal.
Cruce de macho de la variedad roja con hembra silvestre		<ul style="list-style-type: none"> - Dos manchas naranjas (encima de la aleta anal, parte meda del pedúnculo caudal). - Una mancha naranja doble en la aleta caudal.
Cruce de macho de la variedad cobra verde con hembra silvestre		<ul style="list-style-type: none"> - Presencia de filigrana en todo el cuerpo con un fondo verde.
Cruce de macho de la variedad cobra amarilla con hembra silvestre		<ul style="list-style-type: none"> - Presencia de filigrana en todo el cuerpo con un fondo amarillo. - Una mancha amarilla en la mitad del abdomen.

Tabla 8

Diagrama esquemático de las formas de herencia propuestas (ligada al sexo y autosómica) entre las variedades domésticas (negra, roja, cobra amarillo, cobra verde) y la variedad silvestre.



Discusión

De la Tabla 1, 2 y 3, se puede deducir que el color negro es dominante sobre el color gris. De acuerdo a la propuesta de la Tabla 8, la forma de herencia es del tipo ligada al cromosoma X, debido a que el cruce entre hembras silvestres y machos de la variedad negra producen siempre machos con el fenotipo silvestre (Figura 26). Por otro lado, solamente para el cruce entre hembra de la variedad negra

con machos de la variedad silvestre, existe la presencia tanto en la aleta caudal como en la aleta dorsal del color amarillo en ambos sexos (Figuras 12 y 13). Este color no existe en los parentales de ambas variedades cruzadas debido, probablemente, al efecto de genes complementarios (más de un gen).

Para el color rojo, se deduce que es autosómica dominante sobre el color gris (Tabla 8) debido a que el cruce entre hembras de la va-

riedad roja y machos silvestres, los machos de la F1 presentan color negro en el borde tanto en la aleta caudal como en la aleta dorsal. La hembra F1 presenta un cuerpo de color gris al igual que la aleta dorsal, pero su aleta caudal es de color naranja con la presencia de manchas negras (variegadas) (Tabla 2, Figuras 14 y 15).

Además, el cruce entre macho de la variedad roja y hembras de la variedad silvestre, los machos F1 presentan manchas rojas en la aleta caudal y el cuerpo, así mismo las hembras F1 presentan manchas rojizas en la aleta caudal (Tabla 3, Figuras 28 y 29).

Para el color amarillo, se deduce que es autosómico dominante sobre el color gris (Tabla 8). Para el cruce entre macho cobra amarillo con hembra silvestre, el cuerpo del macho F1 fue de color amarillo grisáceo con una mancha naranja en el pedúnculo caudal y la aleta caudal fue de color rojo con manchas amarillas y el borde de color negro. Mientras que la hembra F1 tuvo el cuerpo amarillo (Tabla 2, Figuras 16 y 17). Para el cruce entre hembra cobra amarillo con macho silvestre, el cuerpo del macho F1 fue de color amarillo con arabescos. Mientras que la hembra F1 tuvo el cuerpo gris (Tabla 3, Figuras 30 y 31). De aquí se deduce que la herencia de la presencia de “arabescos” en el cuerpo es tipo ligada al cromosoma sexual Y. Debido a que los machos solamente transmiten este rasgo a los machos de su progenie y nunca a las hembras (Tabla 8).

Para el color verde, se deduce que es autosómica. Sin embargo, los resultados no son concluyentes en cuando, sí el color verde es dominante sobre el color gris o viceversa (Tabla 8). Para el cruce entre macho cobra verde con hembra silvestre, el cuerpo del macho F1 fue de color gris. Mientras que la hembra F1 tuvo el cuerpo de color amarillo (Tabla 2, Figuras 18 y 19). Para el cruce entre hembra cobra verde con macho silvestre, el cuerpo del macho F1 fue de color verde con arabescos. Mientras que la hembra F1 tuvo el cuerpo gris (Tabla 3, Figuras 32 y 33). De aquí, se deduce que la herencia de la presencia de “arabescos”

en el cuerpo” es tipo ligada al cromosoma sexual Y. Debido a que los machos solamente transmiten este rasgo a los machos de su progenie y nunca a las hembras (Tabla 8).

En cuanto a la forma de la aleta caudal, todos los cruces mostraron la forma de la aleta en forma de “pala” propio de la variedad silvestre. Y ninguno mostró la forma de “abanico o delta” de alguna de las variedades seleccionadas. Por lo tanto, la aleta en forma de “pala” es de tipo autosómica dominante (Tabla 8). Adicionalmente, se obtuvo las formas de aletas caudales tipo: “lanza flama o arpón”, “espada alta”, “espada baja”, “aguja”, “espada doble” y “pala”, encontradas solamente en el cruce con la variedad verde (Figura 20, 21, 22, 23, 24 y 25).

En cuanto a la longitud de la aleta dorsal en los machos F1, todas fueron medianas, es decir, llegaban hasta el inicio de la aleta caudal. La excepciones fueron los cruces entre la variedad negra, roja y cobra amarilla que dieron aletas dorsales de longitudes cortas (no llegaba a sobrepasar al inicio de la aleta caudal) (Tablas 2 y 3). La información obtenida aquí no es muy concluyente. Por lo que, habrían que realizarse más cruces dirigidos para averiguar la forma de herencia de la longitud de las aletas dorsales.

De la Tabla 4, se obtuvo que el promedio de la longitud corporal fue de 20 milímetros para los machos F1 del cruce entre macho silvestre y hembra de una variedad conocida. Y de 21.6 milímetros promedio para los machos F1 del cruce de hembra silvestre y macho de una variedad conocida. Es decir, que los machos híbridos de todos los cruces tuvieron un promedio superior a los machos silvestres. Y longitudes promedio similares (variedades negra y cobra verde), superiores (variedad cobra amarillo) e inferiores (variedad roja) de las variedades conocidas. Además, se concluye que el cruce que mayor longitud proporciona a los machos F1, es entre el macho de variedad doméstica con la hembra silvestre. Debido quizás a efectos paternos producto de la acción de muchos genes sobre este rasgo como

han reportado otros trabajos en otras especies (López-Fanjul & Toro, 1990; Castle, 1940).

En las Tablas 5, 6 y 7, se puede apreciar la presencia o ausencia de “manchas oscuras” (spots) en el cuerpo de los machos F1. Este rasgo, solamente, lo presentan los machos silvestres y no las hembras silvestres y de las variedades domésticas. Ni los machos de las variedades conocidas (Scotto & Maguiña, 2003). Del cruce entre hembras de las variedades conocidas y los machos de las variedades silvestres, todos los machos F1 no presentaron manchas oscuras, el cruce con las variedades cobra amarilla y negra, y algunos machos F1 del cruce con cobra verde. Con la variedad negra, debido probablemente a que el color negro del cuerpo “enmascaró” la posible presencia de este fenotipo en la F1.

Por otro lado, del cruce entre las hembras de la variedad silvestre y los machos de las variedades conocidas, solamente los machos F1 de los cruces con las variedades negra y cobra amarillo presentaron manchas oscuras. Los machos F1 del cruce con las variedades roja y cobra verde no presentaron manchas oscuras. Una posible explicación de la herencia de este rasgo es que sea dominante y ligada al cromosoma sexual Y. Debido a que solamente los machos las poseen y nunca las hembras. Sin embargo, se ha evidenciado en algunos cruces que esta regla no se cumple siempre. Quizás su variación se deba a la acción de otros genes epistáticos que hacen variar su expresión corporal en los diferentes cruces realizados (Bagnara & Hadley, 1973; Yamamoto, 1975; Winge & Ditlevsen, 1947).

En las Tablas 5, 6 y 7 se puede apreciar la presencia o ausencia de “manchas naranjas” en el cuerpo de los machos F1. Este rasgo solamente lo presentan los machos silvestres y no las hembras silvestres ni de las variedades domésticas. Ni los machos de las variedades conocidas (Scotto & Maguiña, 2003). Del cruce entre hembras de las variedades conocidas y los machos de las variedades silvestres, todos los machos F1 presentaron 1, 2 o 3 “manchas naranjas” en el cuerpo (Tabla 5 y 6).

De la misma forma del cruce entre las hembras de la variedad silvestre y los machos de las variedades conocidas, los machos de la F1 presentaron dos “manchas naranjas” de distintos tamaños y de diferente ubicación corporal. Los machos F1 de los cruces con la variedad cobra amarillo y cobra verde ninguno presento “manchas naranjas”. Patiño y Chaim (2005) han realizado un estudio gráfico sobre la presencia de “manchas naranjas” que podrían coincidir con las encontradas en este estudio, y cuyas denominaciones son las siguientes: una mancha naranja en el pedúnculo caudal como “Solaris” (Figura 22), tres manchas naranjas a lo largo de la línea media del cuerpo como “Trimaculatus” (Figura 20), dos manchas naranjas en la aleta caudal una superior y una inferior como “Elongatus” (Figura 24).

Conclusiones

1. Se puede obtener híbridos por cruzamiento recíproco entre las variedades comerciales: cobra verde, cobra amarilla, negra y roja y la variedad silvestre.
2. El color negro es dominante sobre el color gris y ligado al cromosoma sexual X.
3. El color rojo es dominante sobre el gris y autosómico.
4. La coloración amarilla es dominante sobre la gris y autosómica.
5. El color rojo es autosómico, pero no se pudo comprobar si era dominante sobre el color gris.
6. La aleta en forma de “pala” (variedad silvestre) es dominante sobre la aleta en forma de “delta o abanico” (variedades comerciales).
7. Se obtuvo unas nuevas formas de aletas caudales denominadas: “lanza flama o arpón”, “espada alta”, “espada baja”, “doble espada” y “aguja”, entre el cruce de la variedad cobra verde y la variedad silvestre.

8. La longitud promedio del cuerpo de los machos híbridos F1 obtenidos del cruce entre macho silvestre y hembra doméstica tuvo un valor promedio de 20 milímetros. El cruce recíproco fue de 21.6 milímetros en promedio para los machos F1.
 9. La presencia de manchas corporales negras en el cuerpo es un rasgo dominante limitado solo al sexo masculino y propio de la variedad silvestre, debido a que ninguna hembra híbrida o silvestre presentó este rasgo en ningún cruce.
 10. Solo presentaron manchas negras, los machos F1 de los cruces entre hembras de la variedad roja con machos de la variedad silvestre. Y los cruces entre los machos de las variedades negra y cobra amarilla con hembras silvestres.
 11. Todos los machos F1 de los cruces entre hembras de las variedades domésticas con machos de la variedad silvestre presentaron una, dos o tres manchas naranjas en el cuerpo. Y solamente los machos F1 de los cruces entre los machos de las variedades negra y roja con hembras silvestres mostraron una o dos manchas naranjas.
 12. Se comprobó que la presencia de “arabescos” en el cuerpo fue herencia ligada al cromosoma sexual Y. Debido a que los solamente es transmitido de macho a macho y nunca a las hembras.
- pendiendo de si se quiere aumentar la resistencia a enfermedades, aumentar el patrón cromático combinado, dar mayor tamaño y forma a las aletas o incrementar la prolificidad.
3. Mantener las aletas caudales en forma de “lanza flama o arpón”, “espada alta”, “espada baja”, “doble espada” y “aguja” que son muy cotizadas por su rareza.
 4. Repetir los cruzamientos entre la variedad roja con la variedad silvestre con un mayor número de animales y llegar hasta la F2 cruzando los F1 entre sí y poder determinar el tipo de herencia (autosómica o ligada al sexo) por la forma de segregación.
 5. Realizar otros cruces que permitan determinar la forma de herencia de los patrones cromáticos de las manchas negras y naranjas en el cuerpo de los machos.
 6. Realizar un estudio sobre la distribución por cuenca hidrográfica de la variabilidad fenotípica del guppy silvestre peruano.

Referencias

- Bagnara, J. & Hadley, M. (1973). The nature of pigmentation. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall Press, pp 4-45.
- Biecher, Heiko. 2004. Gupís y su historia. *Nutrafin Aquatic News*, 2: 4-6.
- Castle, W. (1940). *Mammalian genetics*. Cambridge: Harvard University Press.
- Dauvillier, A. (1999). Guppy. *Aquapasión*, 5, 30-37.
- Goodrich, H., Josephson, D. Trineaus, J., & Slate, J. (1944). The cellular expression and genetics of two new genes in *Lebistes reticulatus*. *Genetics*, 29: 584-592. November.
- Goodrich, H. Hine, R. & Lescher, H. (1947). The interaction of genes in *Lebistes reticulatus*. *Genetics*, 32: 535-540. November.

Recomendaciones

1. Se debe realizar otros cruces dirigidos entre la variedad silvestre y otras variedades de guppy para determinar la dominancia y recesividad de otros rasgos fenotípicos de interés.
2. Realizar retrocruces de estos híbridos con sus parentales para obtener individuos 5/8 variedad conocida y 3/8 variedad silvestre o 5/8 variedad silvestre y 3/8 variedad conocida (Interse). De-

- Gutiérrez, F. (1990). Genética en peces. *Chalwa*, 2, 31-39.
- Hidalgo, M. (1990). Cómo obtener guppys de calidad. *Chalwa*, 3, 15-21.
- Khoo, G., Lim, T., Chan, W., Phang, V. (1999a). Genetic basis of the variegated tail pattern in the guppy, *Poecilia reticulata*. *Zoological Science*. 16: 431-437.
- Khoo G, Lim, T., Chan, W. & Phang, V. (1999b). Sex-linkage of the black caudal-peduncle and red tail genes in the Tuxedo strain of the guppy, *Poecilia reticulata*. *Zoological Science*. 16: 629-638.
- Lopez-Fanjul, C. & Toro, M.(1990). *Mejora genética en peces y moluscos*. Madrid: Mundi Prensa.
- Patiño, E. & Chaim, S. Guppy Labs e-bulletin. [online]. Vol. 6 [citado el 20 abril 2005]. p. 1-16. Disponible en la World Wide Web: <<http://.guppylabs.info/april2005/Genetics1.htm>>
- Phang, V., Ng, L. & Fernando, A. (1989a). Inheritance of the snakeskin color pattern in the guppy, *Poecilia reticulata*. *J. Hered.* 80:393-399.
- Phang, V., Ng, L. & Fernando, A. (1989b). Genetics of the color of the yellow snakeskin variety of the guppy, *Poecilia reticulata*. *Singapore J. Pri. Ind.* 17:19-28.
- Phang, V., Fernando, A. & EWK, Chia. (1990). Inheritance of the color patterns of the blue snakeskin and red snakeskin varieties of the guppy, *Poecilia reticulata*. *Zoological Science*. 7:419-425.
- Phang, V. & Fernando, A. (1991). Linkage analysis of the X-linked green tail and blue tail color genes in the guppy, *Poecilia reticulata*. *Zoological Science*. 8: 975-981.
- Phang, V., Khoo, G. & Sock Peng, A. 1999. Interaction between the Autosomal Recessive bar Gene and the Y-Linked Snakeskin Body (Ssb) Pattern Gene in the Guppy, *Poecilia reticulata*. *Zoological Science*. 16:905-908.
- Rodríguez, R. (1980). *Lebistes*. *Acuarama*, 3.
- Scotto, C.; Arias, Celin; Miraval, Celeste; Pêche, Ernesto, Maguiña, Carlos & Sandra Cuadros (2002). Obtención de tres variedades genéticamente puras de guppy comercial (*Poecilia reticulata*) por selección endogámica. *Primer Congreso Peruano de Genética Animal*, 20-24.
- Scotto, C. & Maguiña, C. (2003). Estudio preliminar del patrón de manchas y dimorfismo sexual en el pez guppy (*Poecilia reticulata*) variedad silvestre. *The Biologist*, 1(1), 4.
- Shaddock, Philip. (2004). *Guppy history*. New York: Harvard University Press.
- Winge, Ö. & Ditlevsen, E. (1947). Color inheritance and sex determination in *Lebistes*. *Heredity* 1: 65-83.
- Yamamoto, T. (1975). The medaka, *Oryzias latipes*, and the guppy, *Lebistes reticularis*. *Handbook of Genetics*. Vol. 4. New York: RC King. pp 133-149.