

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD  
DEPARTAMENTO EL HOMBRE Y SU AMBIENTE  
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

REGISTRO DEL SERVICIO SOCIAL  
POR INVESTIGACIÓN

**Comparación espermática de líneas fenotípicas  
de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*)**

QUE PRESENTA LA ALUMNA

**Aguirre Valenzuela Nayeli Berenice**

Matrícula  
2162033474

ASESORES

INTERNA

M. EN C. A. ARACELI CORTÉS GARCÍA No. ECONÓMICO 30287  
DEPARTAMENTO EL HOMBRE Y SU AMBIENTE



EXTERNO

DR. JESÚS DÁMASO BUSTAMANTE GONZÁLEZ  
PROFESOR TEMPORAL UAM-X



# ÍNDICE

<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	3
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	4
<i>II.1. Acuicultura</i> .....	4
<i>II.2. Piscicultura</i> .....	4
<i>II.3. Truticultura</i> .....	5
<i>II.4. Características fisiológicas de la trucha arcoíris</i> .....	5
<i>II.5. Parámetros de calidad seminal</i> .....	7
<i>II.6. Calidad de los huevos</i> .....	7
<i>II.7. Atresia folicular</i> .....	7
<i>II.8. Parámetros ambientales</i> .....	9
<b>III. OBJETIVOS</b> .....	10
<i>III.1. General</i> .....	10
<i>III.2. Específicos</i> .....	10
<b>IV. METODOLOGÍA</b> .....	10
<i>IV.1. Área de estudio</i> .....	10
<i>IV.2. Colección de muestras (selección de reproductores)</i> .....	10
<i>IV.3. Parámetros ambientales</i> .....	11
<i>IV.4. Parámetros morfométricos (peso y talla)</i> .....	11
<i>IV.5. Recolección de gametos</i> .....	12
a) <i>Semen</i> .....	12
b) <i>Óvulo</i> .....	15
<i>IV.7. Fertilización: eficiencia de fertilización (porcentaje de fecundación) y tasa de eclosión.</i> .....	15
<i>IV.8. Análisis estadístico</i> .....	17
<b>V. RESULTADOS</b> .....	17
<b>VI. DISCUSIÓN</b> .....	21
<b>VII. CONCLUSIÓN</b> .....	25
<b>VIII. AGRADECIMIENTOS</b> .....	25
<b>IX. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES</b> .....	26
<b>REFERENCIAS</b> .....	26

## I. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de alimentos en los últimos años ha provocado que diversas especies de peces de importancia alimentaria sean intensamente explotadas. Entre las especies acuícolas de mayor consumo en México, destaca la trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss* que se ubica en el sexto lugar de la producción nacional, con 15 695 toneladas, y a nivel mundial en el treintavo lugar (Bustamante-González et al., 2018).

En el Estado de México (principal productor nacional) en particular, se encuentra uno de los centros más importantes productores de trucha arcoíris el país, denominado “El Zarco”, dependiente de la Comisión Nacional de Pesca órgano descentralizado de la SADER, quien abastece huevo oculado y pie de cría a los piscicultores del Estado, así como a los del centro y norte del país (Rivera, Delgado, & Torrentera, 1995).

La trucha arcoíris tienen una reproducción estacional, esto significa que tiene lugar una vez al año y en una época determinada (agosto-febrero). Por este motivo, uno de los objetivos primordiales de la acuicultura es aprovechar al máximo los recursos que se puedan extraer de esta especie en toda la época dentro y fuera de su pico reproductivo. Además, las especies como la trucha arcoíris las cuales son mantenidas en sistemas de cultivo presentan disfunciones reproductivas importantes, entre las que destacan un desove inducido, además de atresia folicular. Es por esto, que la explotación comercial de este salmónido necesita de un suministro permanente de ovas embrionadas y/o alevines que aseguren la producción de la trucha. Para ello, es necesario mantener un plantel de reproductores con una alta fertilidad que asegure la producción de huevos fértiles y alevines requeridos por este sistema productivo (Castro-Castellón et al., 2017). El cultivo intensivo de truchas se caracteriza por controlar y dirigir las distintas fases de producción, desde la extracción de los huevos y el semen, la fertilización, la incubación, el ciclo de alevinaje, las fases de desarrollo y engorde, hasta la selección de los reproductores para la reposición del pie de cría.

En la reproducción de peces uno de los factores que afecta el potencial de fertilidad es la calidad espermática, la cual se define como la habilidad del espermatozoide para fertilizar un óvulo; su evaluación se realiza a partir de parámetros cualitativos, como color y consistencia, y cuantitativos, como volumen, pH, concentración espermática, movilidad y viabilidad. Sin embargo, al igual que en otras especies, hay factores que contribuyen a las variaciones reproductivas entre los individuos: edad, tipo de alimentación, origen genético, fotoperiodo, temperatura, temporada reproductiva y estrés generado durante la manipulación, pues estos influyen directamente sobre la calidad del semen (Bustamante-González et al., 2018).

Por lo anterior, la presente investigación pretende determinar la capacidad de fertilización y la tasa de fecundación, en relación a las características cualitativas (color, consistencia) y cuantitativas (volumen, pH, densidad, motilidad, concentración y viabilidad) del semen, así como las propiedades del huevo de los reproductores de trucha arcoíris del centro acuícola “El Zarco, información relevante que servirá para

incrementar la producción, mejorar los procesos de reproducción asistida, así como identificar las causas y los factores que han intervenido en su desarrollo, puesto que una de las limitantes para el cultivo comercial, radica principalmente en el conocimiento y control de la biología reproductiva y problemas o disfunciones que en ella acontecen, siendo esta la base de sustentación para los futuros programas productivos. Considerando que cuando estas poblaciones son mantenidas en confinamiento o sometidas a una intensa presión de explotación presentan alteraciones gonadales que pueden disminuir su desempeño reproductivo, lo que se refleja especialmente en la reducción de los parámetros como fertilidad y sobrevivencia en incubación (Valdebenito, Paivaa, & Berland, 2011).

## **II. MARCO TEÓRICO**

### ***II.1. Acuicultura***

Desde el punto de vista biológico, la acuicultura es una actividad cuyo objetivo es producir de manera sostenible cualquier organismo acuático en sus distintas fases de desarrollo incrementando la productividad de los recursos acuáticos (Castro-Castellón et al., 2017). El término acuicultura abarca la reproducción de animales acuáticos y plantas de agua dulce, salobre y salada, cuyo objetivo es el mismo que el de la agricultura: conseguir una producción controlada de bienes alimenticios para mejorar el establecimiento del consumo (Dirección Nacional de Recursos Acuáticos, 2010). De acuerdo con la FAO (2011), "La acuicultura es la fuente de proteína animal con el crecimiento más rápido a nivel mundial, aportando más de la mitad de todo el pescado que es consumido a nivel mundial".

La acuicultura es una buena opción en la producción de alimento, un ejemplo de ello es el gran auge que ha tenido el cultivo de trucha arcoíris en todo el mundo debido a su alto valor nutritivo, poca grasa, buen sabor, dominio de su producción y rentabilidad de su cultivo (Rivera, Delgado, & Torrentera, 1995).

### ***II.2. Piscicultura***

La piscicultura (cultivo de peces) fue y sigue siendo la actividad más significativa dentro del volumen de la producción acuícola. Su auge se alcanza a partir de las décadas de 1960 y 1970, años en los cuales se imprimió un desarrollo científico y tecnológico, buscando encargarse del cultivo de peces en estanques mediante un manejo técnico buscando beneficios económicos (Dirección Nacional de Recursos Acuáticos, 2010).

La tendencia de la piscicultura mundial es la de generar producciones intensivas o super-intensivas con bajos volúmenes de recambio de agua o con sistemas que permitan reutilizar el recurso; las capacidades de carga optimizan el sistema o sea que dan mejor uso a los volúmenes de agua disponible; los sistemas de aireación y/o recirculación, al desgasificar, airear, oxigenar, permiten optimizar el recurso agua, con incremento y

mantenimiento de los niveles de productividad primaria, por lo tanto, mayor aprovechamiento de los alimentos naturales y artificiales, además la degradación de la materia orgánica ocurre dentro del mismo sistema sin contaminarlo (Franco, s.f.).

### ***II.3. Truticultura***

El cultivo de truchas o truticultura fue una de las alternativas propuestas por la FAO para enfrentar y superar la pobreza alimentaria en el medio rural. Esta data de 1741, cuando Stephen Ludwig Jacobi construyó su primer criadero en Alemania; comprende principalmente de tres especies de salmónidos de agua dulce (trucha arcoíris, trucha europea y el salmerino americano, llamado en México "trucha de arroyo") (Guzmán, Garduño, & Mendoza, 2013).

Dentro de esta labor se encuentra la producción de la trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss*, especie que se cultiva en varios países, debido a su facilidad para aceptar alimento artificial y adaptarse a cambios de temperatura. La introducción de la trucha arcoíris a México se remonta a finales del siglo XIX, trayendo consigo beneficios sociales, culturales y económicos (Castro-Castellón et al., 2017).

El crecimiento de la actividad trutícola, se ha asociado principalmente a regiones donde las condiciones climáticas y de los ecosistemas contribuyen al desarrollo del sector. Particularmente, en el Estado de México la producción acuícola ha registrado un incremento del 6.5% lo que se traduce en un incremento promedio de 672 toneladas de productos acuícolas al año. Además, ocupa el primer lugar en la producción de trucha arcoíris en el país, pues del volumen reportado de 17,979 toneladas, 4,406 toneladas corresponden a la producción de trucha arcoíris con un valor de producción de \$ 396, 507,330.00 lo que implica el 47% de la producción nacional (SAGARPA, 2018).

### ***II.4. Características fisiológicas de la trucha arcoíris***

La trucha arcoíris cuyo nombre científico es *Oncorhynchus mykiss*, es un pez que pertenece al grupo de los salmónidos originarios de América del Norte. En nuestro país, su distribución natural abarca las corrientes de aguas frías y cristalinas de las zonas montañosas más altas de los estados de Durango, Chihuahua, Baja California, Sinaloa y Sonora; en otras regiones del país, como es el caso de Oaxaca, la trucha arcoíris se encuentra debido a que ha sido introducida, así como en el Estado de México en donde se practica su cultivo (Aquino, s.f.). El nombre de este pez deriva de la peculiar coloración que posee (fig. 1), misma que varía en función del medio, de la talla, del sexo, del tipo de alimentación, y del grado de maduración sexual. Tiene el cuerpo de forma alargada y fusiforme, coloración azul a verde oliva sobre una banda rosada a lo largo de la línea lateral y plateada por debajo de ella. Lomo, costados, cabeza y aletas cubiertas con pequeños puntos negros. Los machos adultos tienen la cabeza alargada que las hembras, mandíbula prominente, y coloración acentuada (FAO, 2009).



**Figura 1.** Coloración característica de la trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss*

La trucha arcoíris se reproduce únicamente en los meses más fríos del año, en el periodo comprendido entre los meses de agosto-febrero: presenta una asincronía de manera natural en su maduración sexual, pues las hembras alcanzan esta madurez antes que los machos. Este desfase es mayor aún en aquellos años en que las temperaturas medias aumentan durante el invierno, lo cual puede suceder por variaciones climáticas naturales o por la urbanización de zonas adyacentes a las granjas de producción de peces. Un mayor desfase en maduración sexual de machos y hembras ocasiona una disminución en su producción anual (Rivera, Delgado, & Torrentera, 1995).

El ciclo de vida de la trucha arcoíris comprende cinco etapas:

- **Huevo:** una vez que se ha llevado la fertilización de los huevos, estos son incubados en el nido construido por la hembra; la velocidad de desarrollo de los huevos depende en gran medida de la temperatura del agua, la óptima se sitúa entre los 8 y 12 °C. A una temperatura de 10 °C la eclosión del alevín será a los 32 días, mientras que a 15.6 °C la eclosión será a los 19 días (Aquino, s.f.).
- **Alevín:** al concluir el desarrollo embrionario, el alevín eclosiona y se alimenta de las reservas nutricionales contenidas en el saco vitelino durante dos o cuatro semanas dependiendo de la temperatura. Una vez que estas reservas han sido agotadas y el saco vitelino ha sido absorbido, el alevín se transforma en cría y asciende a la superficie; esta fase dura entre 14 y 20 días (Aquino, s.f.).
- **Cría:** en esta fase empiezan a nadar más libremente y procurarse el alimento por sí mismos. Conforme crecen y sobreviven, las crías continúan su desarrollo, cuyo ritmo depende de una serie de factores, tales como la duración del día, la temperatura y la abundancia de alimento (Aquino, s.f.).
- **Juvenil:** en esta etapa los organismos tienen todas las características de los adultos, es decir, ya tienen hábitos propios de la especie, como ser activos y nadar contra la corriente, atrapar sus presas para

alimentarse, haciéndolo con pequeños peces de otras especies, ranas, etc. Se diferencian de los adultos en que aún no han madurado sexualmente (Aquino, s.f.).

- **Adulto:** dependiendo de las condiciones físicas del hábitat, una buena parte de las truchas de una determinada población maduran entre los 15 y 18 meses de edad, sin embargo, la mayoría alcanza su madurez dos meses después. Cuando ocurre la maduración, los peces cambian de coloración, de tal manera que adquiere las características típicas de la trucha adulta (Aquino, s.f.).

### ***II.5. Parámetros de calidad seminal***

Algunos autores indican que la calidad del semen (motilidad y concentración) está influenciada por el contenido de ácido ascórbico en la dieta, señalan que el semen de las truchas presenta una alta concentración, la cual oscila entre 9 y 26 x10<sup>9</sup> espermatozoides / mL. En general, el semen en los salmónidos es una secreción blanca lechosa, en algunos casos un poco viscosa, y tiene una motilidad menor a 30 segundos después del desove en agua dulce (Castro-Castellón et al., 2017).

### ***II.6. Calidad de los huevos***

La calidad de los huevos es un aspecto básico dentro de la acuicultura, el término fue introducido en los 80's definido como el potencial de los huevos para presentar un desarrollo embrionario exitoso y la probabilidad de supervivencia de la larva vitelina hasta el momento de la primera alimentación; lo cual coincide con el consumo de las reservas alimenticias para iniciar la alimentación exógena, que es cuando las larvas deben iniciar con la captura de alimento. Hay dos criterios que pueden ser considerados como las principales características que deben presentar los huevos para ser de buena calidad y que corresponden a dos etapas importantes durante el inicio del ciclo de vida de los peces: por un lado, el porcentaje de eclosión, y por el otro, la supervivencia a la primera alimentación. Sin embargo, algunos reportes indican que tanto el porcentaje de eclosión como la supervivencia inicial no necesariamente indican un buen desove, ya que se han reportado tasas de eclosión superiores al 90% (lo cual podría considerarse un desove de buena calidad) pero con un porcentaje de supervivencia a la primera alimentación con valores menores al 50% (Peña, 2015).

### ***II.7. Atresia folicular***

Las especies como la trucha arcoíris las cuales son mantenidas en sistemas de cultivo presentan disfunciones reproductivas importantes, entre las que destacan un desove inducido, además de atresia folicular. Esta última, se caracteriza como un proceso de degeneración que puede sufrir algunos huevos (oocitos maduros) durante su desarrollo, el cual se incrementa en poblaciones de cultivo o silvestres sometidas a altos grados de explotación o captura (Valdebenito, Paivaa, & Berland, 2011). Generalmente son deficiencias en hembras cerca de la maduración final del oocito, ovulación o desove. Estas disfunciones probablemente resultan de la

combinación del estrés inducido por la cautividad y la falta de un ambiente adecuado para el desove natural, las cuales pueden clasificarse en tres tipos:

- El primero consiste en una falla de la vitelogénesis la cual puede detenerse en etapas tempranas (Valdebenito, Paivaa, & Berland, 2011).
- En el segundo tipo, la vitelogénesis progresa normalmente, pero al principio de la temporada de desove los oocitos postvitelogenicos fallan en la maduración final y ovulación, convirtiéndose en atrésicos. Este es el problema reproductivo más común en piscicultura (Valdebenito, Paivaa, & Berland, 2011).
- El tercer tipo es presentado en todas las especies de salmónidas mantenidas en cultivo, en este caso, el problema radica en la ausencia de desove al final del ciclo reproductivo; el oocito experimenta una vitelogénesis, maduración final del oocito y ovulación normal en respuesta a los estímulos fisiológicos y ambientales, pero los oocitos ovulados no son liberados (Valdebenito, Paivaa, & Berland, 2011).

Las alteraciones reproductivas pueden producirse debido a una serie de factores extrínsecos e intrínsecos que se ven alterados, conllevando así a la aparición de atresia folicular:

**a) Factores extrínsecos**

Algunos factores externos como la temperatura, luz, salinidad y confinamiento tienen un importante papel en la maduración, ovulación y desove. Por ejemplo, en cuanto a la calidad espectral e intensidad luminosa, se han observado especies con un amplio espectro de respuesta y otras selectivas donde longitudes de ondas cortas estimulan la maduración y ondas largas la inhiben; tal caso se da en los salmónidos en donde los fotoperiodos decrecientes disparan la maduración gonadal. Otros factores que pueden afectar la gametogénesis y puesta son la nutrición, el ambiente social tales como las feromonas, estímulos visuales y táctiles, corriente de agua, oxígeno disuelto, presión barométrica, contaminación, radiación, entre otros (Valdebenito, Paivaa, & Berland, 2011).

**b) Factores intrínsecos**

Algunos factores internos que pueden alterar el proceso de oogénesis se han observado en salmónidos, en donde la presencia de la hormona madurativa presenta niveles más elevados durante el periodo periovulatorio, mientras que durante la incorporación activa de vitelo los niveles de esta hormona son más bajos (Valdebenito, Paivaa, & Berland, 2011).

Algunos otros factores involucrados en disfunciones reproductivas en peces causantes de atresia folicular se pueden observar en el cuadro 1 (Aquino, s.f.):



**Cuadro 1.** Factores involucrados en disfunciones reproductivas que causan atresia folicular

FACTOR	EFEECTO O ALTERACIÓN
Agonistas estrogénicos y androgénicos	Probable interferencia de la maduración final oocitaria
Estrés ambiental	Desequilibrio hormonal
Temperatura elevada previo a la maduración	Detención del desarrollo ovárico
Fotoperiodo largo	Inhibe regresión gonadal
Temperatura elevada del medio	Ausencia de recrudescencia gonadal
Melatonina	Regresión o bloqueo del desarrollo gonadal
Ondas de luz largas	Inhibición de la maduración
Presencia de mercurio en el medio	Regresión gonadal e inhibición de la ovulación
Altos niveles de zinc o cobre en el medio	Bajo número de oocitos ovulados
Pesticidas (organoclorados)	Inhibición hormona luteinizante (LH)
Temp. Elevada constante durante madurez máxima	Bajo porcentaje de oocitos ovulados
Falta de fotoperiodo decreciente	Inhibición de la maduración
Carencia de fotoperiodo largo o temp. elevada	Ausencia de maduración
Fotoperiodo alterado	Probable interferencia de la maduración final oocitaria

Modificado de Aquino (s.f.).

Morfológicamente la atresia folicular comienza en la ruptura y vacuolización del corion, además de la disolución de la membrana nuclear. Según el grado de desarrollo alcanzado por el oocito, su contenido de vitelo también será reabsorbido por fagocitosis desde las células de la granulosa. Durante la atresia temprana las células de la granulosa remueven la cubierta del huevo y los contenidos tecaes son infiltrados por linfocitos, esta puede presentarse en cualquier momento del desarrollo oocitario, aunque lo más común es que aparezca en las fases de vitelogénesis y preovulatoria (Valdebenito, Paivaa, & Berland, 2011).

La atresia folicular y en algunos casos la aparición de necrosis, están relacionados con cambios estacionales degenerativas normales acompañados de cambios estacionales en la actividad gonadal (Valdebenito, Paivaa, & Berland, 2011). Sin embargo, es importante mencionar que los oocitos atrésicos son una característica muy común del ovario de los teleósteos, los cuales pueden estar presentes ya sea en un medio silvestre o controlado y considerando los factores anteriormente mencionados (cuadro 1).

### **II.8. Parámetros ambientales**

Principales parámetros ambientales que determinan un buen desarrollo en las truchas arcoíris según INAPESCA (2018):

**Cuadro 2.** Parámetros ambientales para la trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss*.

Parámetro ambiental	Rango óptimo
Oxígeno disuelto	No debe ser menor a 5 mg/L (5 para juveniles-adultos y 6 para huevos-alevines)
pH	Mínimos de 4.5 y máximo de 10
Temperatura	Entre 9°C y 17°C

### III. OBJETIVOS

#### III.1. General

- Evaluar las características del semen de las líneas fenotípicas Amanalco (A), Poblano (Pob), Hacienda Nueva (HN) y Pool (P) de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en el centro acuícola el Zarco.

#### III.2. Específicos

- Caracterizar el semen de las líneas A, Pob, HN y P para la fecundación.
- Comparar las propiedades cualitativas del óvulo de trucha arcoíris de las líneas HN y Z18.
- Determinar la eficiencia de la fertilización considerando la caracterización seminal (pH, densidad, motilidad, viabilidad, número de espermatozoides por mL).
- Comparar la tasa de eclosión de los lotes con respecto a las características de los gametos.

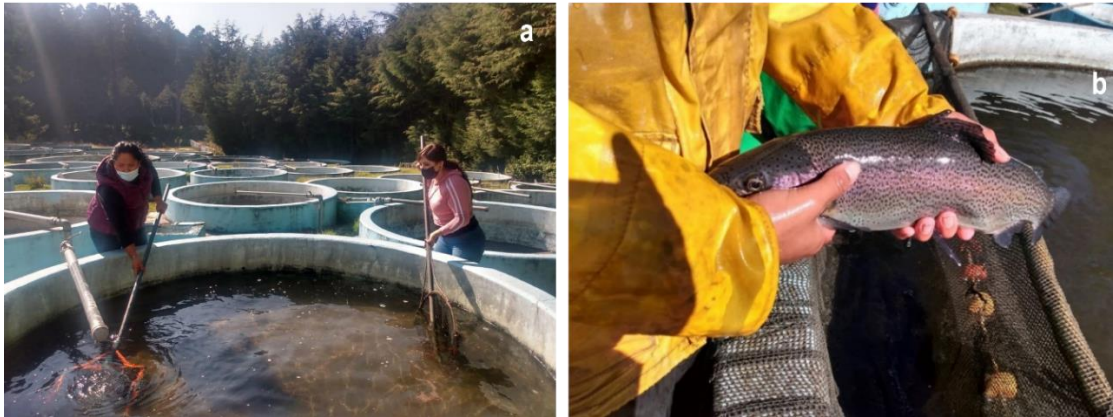
### IV. METODOLOGÍA

#### IV.1. Área de estudio

El presente estudio se desarrolló en el Centro Trutícola "El Zarco", localizado en el municipio de Huixquilucan, Estado de México a 19° 17' latitud Norte y 99° 21' longitud Oeste, con altitud de 3.400 m.s.n.m, y un clima templado subhúmedo (C(w<sub>2</sub>)) (w ci).

#### IV.2. Colección de muestras (selección de reproductores)

Se seleccionaron de un estanque circular de 6 m de diámetro 5 reproductores machos (Amanalco, Poblana, HN y Pool) y 5 hembras (HN y Z18) de cada línea de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), utilizando una red de arrastre con bolsa de 2 m (fig. 2).



**Figura 2.** Selección de reproductores. **a) y b)** Proceso de selección de organismos para la extracción de gametos.

#### **IV.3. Parámetros ambientales**

Con el fin de conocer los parámetros fisicoquímicos se registró: temperatura ambiente y del agua (termómetro de mercurio), pH (papel indicador), transparencia y profundidad (disco de Secchi).

#### **IV.4. Parámetros morfométricos (peso y talla)**

Para una manipulación adecuada los peces fueron sedados con esencia de clavo 0.03/L de agua (fig. 3a y 3b). Una vez anestesiados se obtuvieron las siguientes medidas de cada organismo utilizando un ictiómetro convencional y una escuadra: Longitud total (L.T.) (cm), Longitud patrón (L.P.) (cm), Longitud cefálica (L.C) (cm), Grosor (cm) y Altura (cm); posteriormente, se obtuvo el peso (g) en una balanza digital marca Ohaus con una capacidad máxima de  $\pm 10$  kg (fig. 3c).



**Figura 3.** Anestesia y toma de parámetros morfométricos. **a)** Preparación de anestesia previa a la toma de parámetros morfológicos. **b)** Se espera hasta el momento en que las truchas ya estaban aturdidas para comenzar con los parámetros (2-3 min). **c)** Obtención de parámetros morfométricos: Longitud total (L.T.) (cm), Longitud patrón (L.P.) (cm), Longitud cefálica (L.C) (cm), Grosor (cm) y Altura (cm) y Peso (g).

#### IV.5. Recolección de gametos

##### a) Semen

Una vez anestesiados y obtenidas las medidas morfométricas de los organismos, se procedió con la extracción del semen mediante una ligera presión abdominal (fig. 4a), obtenida la muestra se realizaron pruebas cuantitativas (volumen, pH, densidad, motilidad, concentración y viabilidad) y cualitativas (color, consistencia) para determinar la calidad del semen.

**Volumen.** El semen fue recolectado en tubos cónicos de 50 mL para obtener el volumen total que se obtuvo en cada muestra (fig. 4c).

**Color y consistencia.** Se determinaron observando las muestras colectadas previamente en los tubos cónicos, considerando: color blanco/amarillento y en la consistencia lechosa/acuosa (fig. 4c).

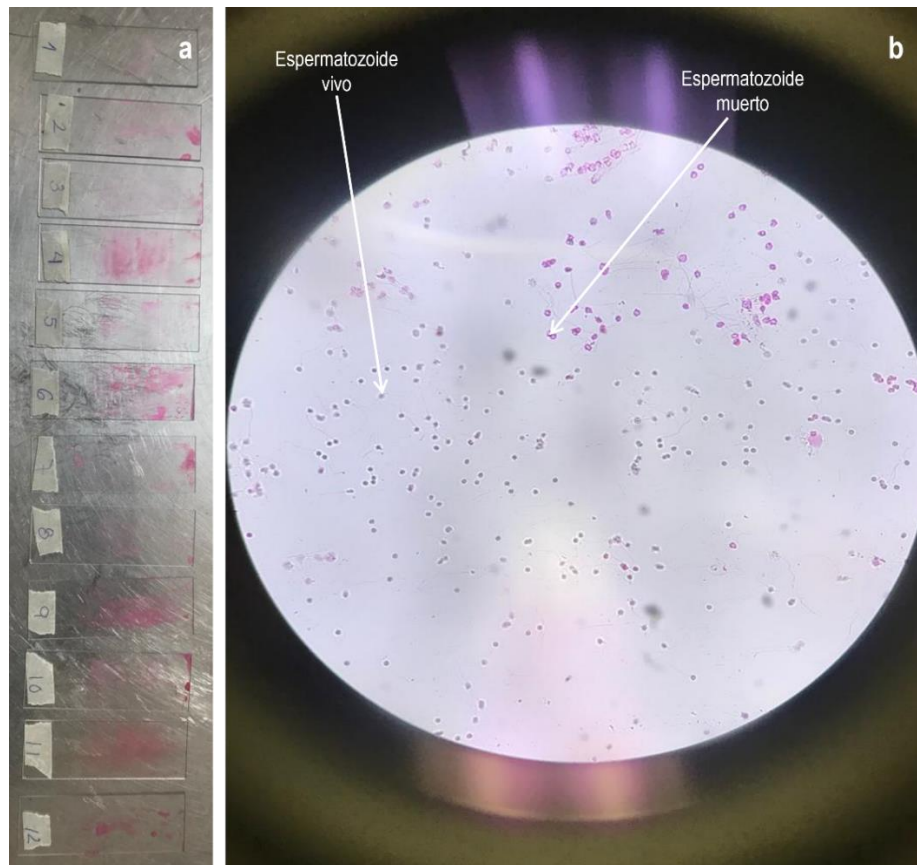
**pH.** Consideradas las características mencionadas previamente, y haciendo uso de las muestras en los tubos cónicos, se procedió a utilizar un potenciómetro para obtener el pH (fig. 4d).



**Figura 4.** Extracción de gametos. **a)** Presión abdominal para extraer el semen de machos. **b)** Presión abdominal para extracción de óvulos de hembras. **c)** Observación y determinación color, consistencia y del volumen de semen que se obtuvo. **d)** Obtención del pH utilizando potenciómetro.

**Motilidad.** Se colocó una microgota de semen en un portaobjetos, agregando 2  $\mu\text{L}$  de suero fisiológico como solución activadora e inmediatamente la muestra fue observada bajo microscopio óptico a 100X cuantificando la duración total (segundos) del movimiento flagelar mediante un cronómetro.

**Viabilidad (Tinción).** Se colocó una microgota de semen en un portaobjetos, posteriormente, se le agregaron dos microgotas de espermit® y se procedió a realizar un frotis (fig. 5a). Las muestras fueron evaluadas bajo un microscopio óptico a 100X bajo el siguiente criterio: espermatozoides teñidos de color rosa fueron considerados muertos y espermatozoides de color blanco vivos, de cada frotis se evaluaron 100 espermatozoides (fig. 5b).



**Figura 5.** Prueba de viabilidad (Tinción). **a)** Frotis de las muestras obtenidas. **b)** Observación microscópica a 100X considerando los espermatozoides blancos como vivos y los espermatozoides teñidos de rosa como muertos.

**Concentración.** Se preparó una solución stock compuesta de 950  $\mu\text{L}$  de suero fisiológico, 500  $\mu\text{L}$  de formol al 10% y 50  $\mu\text{L}$  de semen (fig. 6a). Debido a la alta concentración espermática se procedió a realizar una segunda dilución de 10  $\mu\text{L}$  de la solución stock más 990  $\mu\text{L}$  de suero fisiológico (fig. 6b y 6c). El conteo se realizó mediante cámara Neubauer bajo microscopio óptico a 100X utilizando un contador (fig. 6d y 6e). Para la estimación se consideró la siguiente fórmula:

No. de espermatozoides =  $\Sigma (5) (5 \times 10^4) (30)(D)$

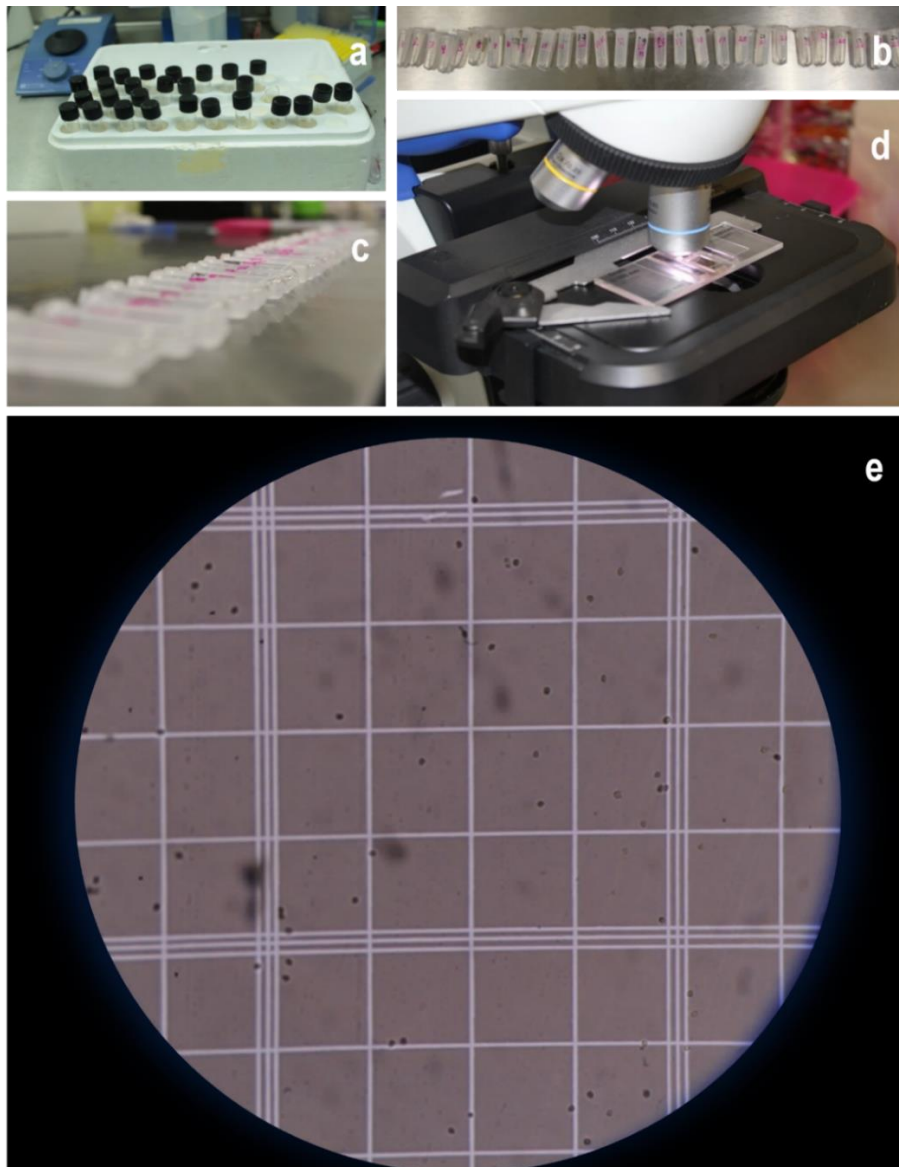
Donde:

$\Sigma (5)$  = sumatoria de los cuadrantes contados.

$(5 \times 10^4)$  = volumen de la cámara Neubauer.

$(30)$  = veces de dilución madre.

$(D)$  = dilución.



**Figura 6.** Preparación de la solución stock. **a)** Solución stock. **b) y c)** Dilución. **d) y e)** Observación y conteo de la cámara Neubauer cargada con la muestra de espermatozoides, se consideraron 5 cuadrantes.

## b) Óvulo

La extracción de óvulos se realizó de la misma forma que en el caso del semen (fig. 4b), para posteriormente obtener la tasa de ovulación y proceder a realizarle las pruebas cualitativas (color, tamaño).

**Tasa de ovulación (número total de ovocitos obtenidos por hembra):** se determinó por medio de una proporción del volumen obtenido en relación con los ovocitos; esto se llevó a cabo mediante el uso de una charola, la cual se pesó en un principio vacía, conociendo previamente el peso de un huevo, para posteriormente añadir los óvulos colectados, determinando así, el número de óvulos que se obtuvieron por organismo.

**Color.** Del total obtenido de huevos, se seleccionó una pequeña muestra la cual se colocó en cajas Petri para una mejor observación, considerando: amarillo/naranja (fig. 7a y 7c).

**Tamaño.** Para el tamaño se consideró el método de Von Bayer (Área Funcional de Investigaciones en Acuicultura, 2015), tomando una pequeña muestra de cada desove el cual fue depositado en tubos cónicos, para posteriormente colocar una fila los huevos (fig. 7e) junto a una regla, contabilizando los huevos suficientes para alcanzar 10 cm (fig. 7b y 7d).



**Figura 7.** Observación de óvulos para la obtención datos cualitativos. **a) y c)** Se selecciono una muestra de los huevos, colocándolos en cajas Petri para observar el color considerando amarillo/naranja. **b) y d)** Adaptación del método Von Bayer para calcular el tamaño del huevo **e)** Huevos colocados en fila

### **IV.7. Fertilización: eficiencia de fertilización (porcentaje de fecundación) y tasa de eclosión.**

Una vez colectado el semen y los óvulos, se mezclaron 200 g de ovulo y 5 mL de semen por 5 minutos con ayuda de una pluma de ave (fig. 8a), se enjuago y se dejó hidratar por 10 min (fig. 8b y 8c). Posteriormente,

se retiraron los óvulos no fecundados; los huevos fecundados se llevaron a una incubadora tipo californiana para continuar con el seguimiento del desarrollo embrionario (fig. 8d). Después de 15 días se procedió a retirar el huevo muerto (fig. 8e). Pasando 32 días se evaluó la tasa de eclosión, así como la talla de los alevines y crías, para luego ser trasladados a tinas de crecimiento (fig. 8f y 8g). Para el porcentaje de fecundación y el porcentaje de eclosión se consideraron las siguientes formulas:

**a) Eficiencia de fertilización (Porcentaje de fecundación).** El porcentaje de fertilización se calculó de acuerdo con la siguiente formula:

$$\% \text{ de huevo muerto} = (\text{N}^\circ \text{ total de huevos muertos} * 100) / \text{N}^\circ \text{ total de huevos}$$

$$\% \text{ fecundación} = \% \text{ N}^\circ \text{ total de huevos} - \% \text{ de huevo muerto}$$

**b) Tasa de eclosión.** El porcentaje de eclosión se calculó de acuerdo con la siguiente formula:

$$\% \text{ eclosión} = (\text{N}^\circ \text{ total de huevos eclosionados} * 100) / \text{N}^\circ \text{ total de huevos fecundado.}$$



**Figura 8.** Desarrollo de la trucha arcoíris desde su fertilización hasta su etapa juvenil. **a)** Proceso de fertilización: se mezcla el semen y el huevo con ayuda de una pluma dejando reposar por 5 min. **b)** Los huevos se enjuagan para quitar el exceso de semen. **c)** Se continua con una hidratación por goteo (10 min) **d)** Los huevos se depositan en una incubadora tipo Californiana esparciendo los huevos con cuidado. **e)** Después de 15 días el huevo se saca de la incubadora para sacar el huevo muerto. **f)** Ya que eclosionaron los huevos, los alevines son depositados en tinas de crianza para continuar con su desarrollo. **g)** Los alevines pierden su saco vitelino y llegan a la etapa de cría. **h)** Alcanzada cierta talla las crías son depositadas en estanques para continuar con su etapa juvenil hasta alcanzar la edad de reproductores.



#### IV.8. Análisis estadístico

Las variables de estudio fueron procesadas con análisis descriptivos, expresados con media  $\pm$  desviación estándar (DE), y por medio del análisis de varianza de una vía (ANOVA). Para determinar si existían diferencias significativas entre las líneas filogenéticas se aplicó la prueba de Tukey, con un nivel de significancia de  $p < 0.05$  (Bustamante-González et al., 2018).

### V. RESULTADOS

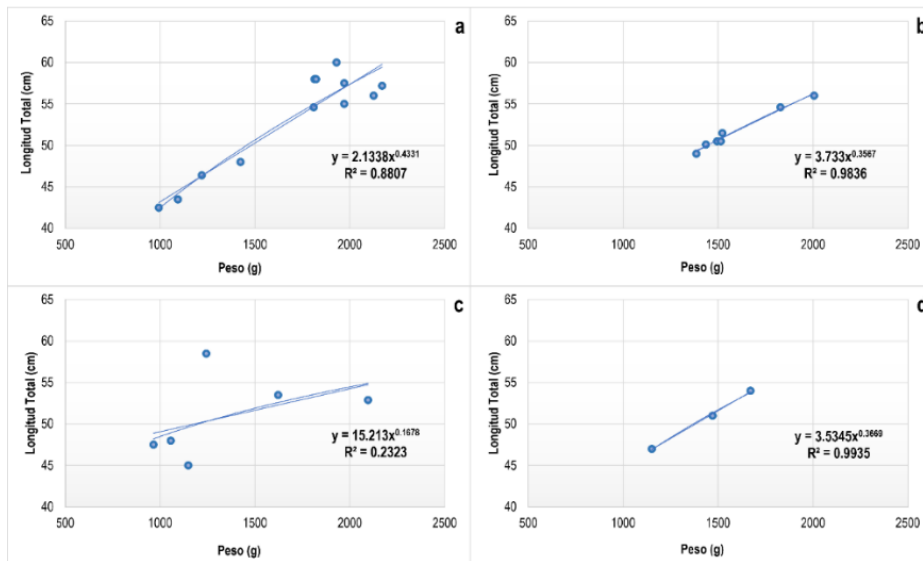


Figura 9. Relación entre la Longitud Total (cm) y el peso (g) por línea fenotípica. a) Amanalco, b) Poblanos, c) H-N y d) Pool.

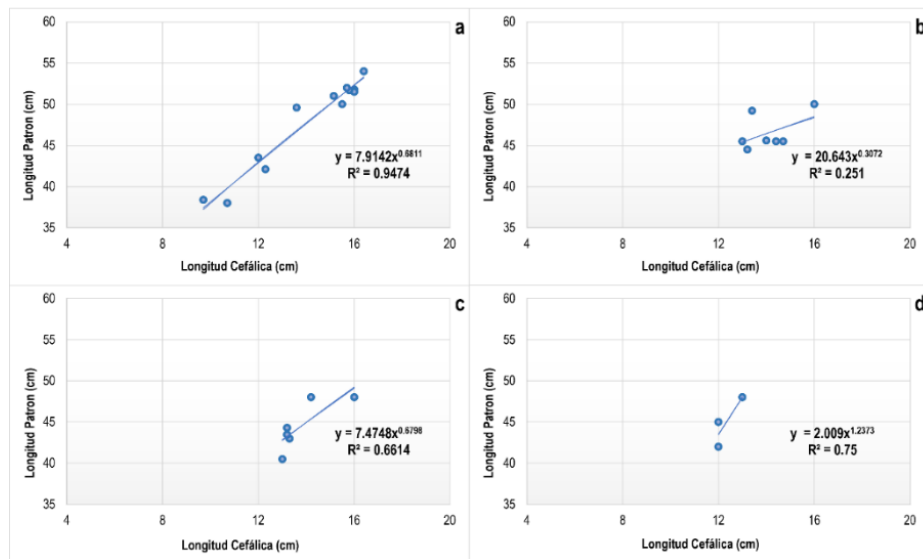
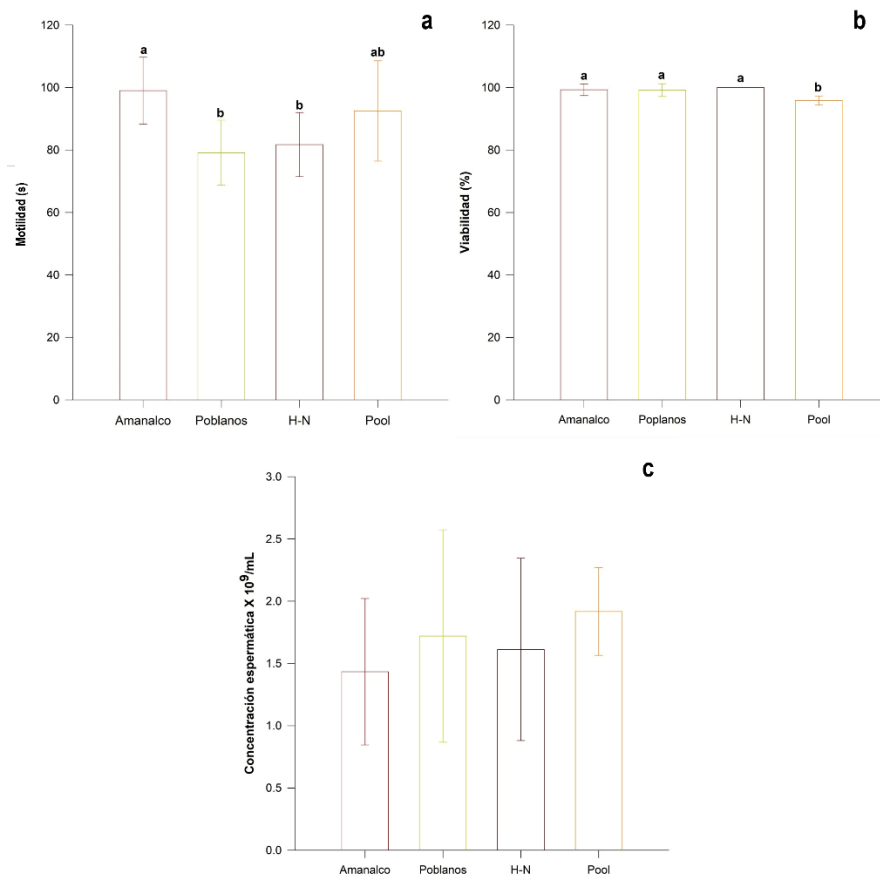


Figura 10. Relación de Longitud Patrón (cm) y Longitud Cefálica (cm). a) Amanalco, b) Poblanos, c) H-N y d) Pool.



**Figura 11.** Calidad del semen de trucha arcoíris. Comparación entre las diferentes líneas fenotípicas Amanalco, Poblano, H-N y Pool. **a)** Motilidad (s) **b)** Viabilidad (%) y **c)** Concentración espermática (x10<sup>9</sup>/mL). Los superíndices diferentes indican diferencias significativas, superíndices iguales no indican diferencias significativas.

En el caso de la motilidad se determinaron diferencias significativas entre la línea Amanalco – Poblano (99±10.66 Amanalco y 79.1±10.41 Poblano) y Amanalco – H-N (99±10.66 Amanalco y 81.7±10.26 H-N) obteniendo una  $p < 0.05$ , por el contrario, en el caso de la línea filogenética de Pool no se obtuvieron diferencias significativas respecto a las otras líneas obteniendo una  $p > 0.05$  (92.5±16.07 Pool) (Fig. 11a).

Para la viabilidad no se obtuvieron diferencias significativas entre las líneas Amanalco, Poblano y H-N, sin embargo, si se encontraron diferencias entre estas líneas y Pool en donde se obtuvo una  $p < 0.05$  (99.29±1.89 Amanalco, 99.17±2.04 Poblano, 91.67±20.41 H-N y 95.83±1.44 Pool) (Fig.11b).

En cuanto a la concentración espermática no se encontraron diferencias significativas entre las líneas filogenéticas Amanalco, Poblano, HN y Pool obteniendo una  $p > 0.05$  (1.43±0.59 x10<sup>9</sup> Amanalco, 1.72±0.85 x10<sup>9</sup> Poblano, 1.61±0.73 x10<sup>9</sup> H-N y 1.92±0.35 x10<sup>9</sup> Pool). Sin embargo, gráficamente se observa que la mayor concentración la obtuvo la línea Poblano y Pool (Fig.11c).

**Cuadro 3.** Valores promedio  $\pm$  DE del pH y la Densidad del semen por línea fenotípica de *Oncorhynchus mykiss*.

Línea Fenotípica	pH	Densidad
Amanalco	8.05 $\pm$ 0.29	0.09 $\pm$ 0.009
Poblano	8.25 $\pm$ 0.22	0.09 $\pm$ 0.016
H-N	8.11 $\pm$ 0.26	0.09 $\pm$ 0.007
Pool	7.07 $\pm$ 0.12	0.09 $\pm$ 0.005

En cuanto al pH se encontraron valores promedio  $\pm$  DE en un rango de 7.07 $\pm$ 0.12 Pool y 8.25 $\pm$ 0.22 Poblano. La densidad obtuvo un valor promedio de 0.09 para todas las líneas fenotípicas (cuadro 3).

**Cuadro 4.** Valores promedio de la Tasa de ovulación y el tamaño del huevo; porcentaje encontrado del color de los huevos.

Línea Fenotípica	Tasa de ovulación	Tamaño del huevo (mm)	Color	
			Amarillo pálido %	Naranja %
Z18	4,124	2.41	40	60
H-N	1,781	2.61	33	67

La línea Z18 con un peso promedio de 3.153 kg, mientras que en la línea H-N fue de 0.829 kg.

Para el ovulo se consideraron algunos criterios tales como la tasa de ovulación, así como el tamaño y color del huevo, se compararon dos líneas fenotípicas de hembras obteniendo una tasa de ovulación en Z18 de 4,124 y en H-N 1,781, el tamaño fue en promedio de 2.41 mm Z18 y 2.61 H-N; en ambas líneas el color predominante en los huevos fue el naranja siendo este del 60% y 67% respectivamente (cuadro 4).

**Cuadro 5. Experimento 1.** Comparación entre la eficiencia reproductiva de las líneas fenotípicas Amanalco (machos) y Z18 / H-N (hembras) y Poblanos (machos) y Z18 (hembras).

Prueba	Línea fenotípica machos	Línea fenotípica hembras	Total de huevos		Huevo fertilizado		Huevo eclosionado	
			No. huevos	%	No. huevos	%	No. huevos	%
A	Amanalco	Z18 / H-N	6,479	100	5,831	90	5,540	95
B	Poblanos	Z18	5,236	100	4,712	90	4,005	85
B'	Poblanos	Z18	5,236	100	4,451	85	3,783	85

El huevo fertilizado hace referencia a la eficiencia fertilizadora de los gametos. En el caso de las machos se utilizó un pool de las líneas fenotípicas Z18 y H-N.












**Cuadro 6. Experimento 2.** Comparación entre la eficiencia reproductiva de Pool (machos) y H-N (hembras).

Prueba	Línea fenotípica machos	Línea fenotípica hembras	Total de huevos		Huevo fertilizado		Huevo eclosionado	
			No. huevos	%	No. huevos	%	No. huevos	%
A	Pool	H-N	2,714	100	2,171	80	1,520	70
B	Pool	H-N	1,614	100	646	40	0	0

El huevo fertilizado hace referencia a la eficiencia fertilizadora de los gametos. En el caso de las hembras se utilizó un pool de la línea fenotípica H-N.

La eficiencia reproductiva de las líneas fenotípicas se consideró realizando dos experimentos: en el primero la prueba A (Amanalco y Z18 / H-N) obtuvo el mayor porcentaje de fecundación 90% y el 95% de eclosión (cuadro 5). En el segundo experimento igualmente la prueba A (Pool y H-N) fue la que presentó el mayor porcentaje de fecundación, siendo este del 80% y la eclosión de 70% (cuadro 6).

**Cuadro 7.** Principales líneas fenotípicas de *Oncorhynchus mykiss* presentes en el centro acuícola el "Zarco".

Línea Fenotípica	Macho	Hembra
Amanalco		
H-N		
Poblanos		
Pool		
Michoacano		
Z18		

Algunas de las líneas presentes en el cuadro no se analizaron durante este estudio, sin embargo, se colocaron para ejemplificar mejor la comparación de las características fenotípicas entre líneas.

Al realizar la observación de las diferentes líneas fenotípicas de *Oncorhynchus mykiss*, no se apreció gran variabilidad entre el fenotipo de estas.

## VI. DISCUSIÓN

Para la acuicultura y la pesca la evaluación de la calidad espermática es esencial para mejorar la reproducción y eficiencia de especies comerciales ya que evaluar la calidad y cantidad del semen en los centros de cultivo a lo largo de la temporada reproductiva permite estimar el potencial reproductivo de la población. Bustamante-González et al. (2018) realizó un estudio sobre el crecimiento y la calidad seminal en trucha arcoíris *O. mykiss* durante su periodo reproductivo, obteniendo valores similares durante los meses en los que se realizó este estudio (diciembre-febrero); en este, obtuvieron una concentración media de espermatozoides de  $4.10 \pm 1.82$  diciembre,  $3.77 \pm 1.64$  enero y  $2.25 \pm 1.51$  febrero. Estos resultados son similares con los obtenidos durante este estudio, principalmente en los meses de enero y febrero, en donde la media de cada línea fenotípica fue de  $1.43 \pm 0.59 \times 10^9$  Amanalco,  $1.72 \pm 0.85 \times 10^9$  Poblanos,  $1.61 \pm 0.73 \times 10^9$  H-N y  $1.92 \pm 0.35 \times 10^9$  Pool; resultados esperados ya que el estudio se realizó en los últimos meses de la temporada reproductiva de la especie (fig. 11c). De acuerdo con Bustamante-González et al. (2016) las diferencias en el volumen de semen y concentración espermática pueden atribuirse a la especie, temporada reproductiva (donde al segundo y tercer mes aumenta y luego disminuye), alimentación, edad, origen genético, métodos de recolección de gametos y estímulos ambientales como temperatura y fotoperiodo, donde estos últimos, que dependen de la latitud, altitud y estación del año, resultan relevantes para la reproducción.

La movilidad de los espermatozoides en peces de fertilización externa se adquiere al iniciar el contacto con un medio acuoso, en donde responden a condiciones fisicoquímicas, como cambios en la presión osmótica, temperatura y pH, las cuales se pierden pocos segundos después. Este último, cumple un papel relevante en la activación y regulación de la movilidad espermática, y así mismo, el pH externo influye en la concentración de protones intracelulares, los cuales afectan el potencial de membrana y la movilidad (Bustamante-González et al., 2018). Lahnsteiner et al. (1998) señala que el pH para la movilidad óptima de los espermatozoides en trucha arcoíris es de 8.0 a 8.2, por su parte, Valdebenito et al. (2009) mencionan que un pH bajo 7.8 no induce la motilidad espermática; sin embargo, la frecuencia del batido flagelar de los espermatozoides de trucha depende del pH de la solución activadora. Al respecto Bustamante-González et al. (2018) reportó un promedio pH de  $8.07 \pm 0.31$ , con movilidad entre 24.22 y 127 s durante su estudio, sin embargo, específicamente en los meses de diciembre-febrero obtuvo una media de  $7.87 \pm 0.36$  y  $88.79 \pm 10.64$  s diciembre,  $8.01 \pm 0.26$  y  $65.50 \pm 3.83$  s enero y  $7.94 \pm 0.48$  y  $38.67 \pm 2.99$  s febrero, similar a lo obtenido en las líneas  $8.05 \pm 0.29$  y  $99 \pm 10.66$  s Amanalco,  $8.25 \pm 0.22$  y  $79.1 \pm 10.41$  s Poblanos,  $8.11 \pm 0.26$  y  $81.7 \pm 10.26$  s H-N y  $7.07 \pm 0.12$  y  $92.5 \pm 16.07$  s Pool esto, principalmente durante el mes de diciembre y enero (fig. 11a).

La viabilidad espermática es un parámetro importante ya que nos ayuda a conocer la integridad de la membrana plasmática del espermatozoide y a descartar algún otro problema que pudiera estar relacionado con la integridad de la membrana (Peñaloza Camargo, s.f.). Rivera et al. (1995) en su estudio sobre la

criopreservación de esperma de trucha arcoíris (*O. mykiss*) obtuvo resultados en donde observo que la mortalidad aumenta con respecto al tiempo es decir, el número y calidad de los espermatozoides decae en relación con la regresión testicular que sufren los machos en los últimos meses de su época reproductiva, pues la mortalidad mínima se registró en noviembre y la máxima en febrero indicándonos que durante enero se obtuvo la mayor producción de esperma viable. Estos resultados se ajustan con lo obtenido en este estudio considerando los meses en que se realizó (diciembre-febrero), alcanzando un alto porcentaje de viabilidad en cada línea fenotípica  $99.29 \pm 1.89$  Amanalco,  $99.17 \pm 2.04$  Poblanos,  $91.67 \pm 20.41$  H-N y  $95.83 \pm 1.44$  Pool siendo el más bajo el de H-N y Pool (fig. 11b).

Por lo tanto, la concentración espermática, pH, movilidad y viabilidad son parámetros que definen la calidad de semen y pueden ser utilizados como indicadores de la capacidad fecundante, la cual varía de acuerdo con la especie, organismos y temporada reproductiva (Bustamante-González et al., 2018).

En cuanto al color y consistencia del semen, Bustamante-González et al. (2018) reportó durante su investigación el color blanco de consistencia lechosa como la más frecuente durante el periodo reproductivo, características similares a las obtenidas durante el presente estudio, siendo el semen blanco/lechosa. Características que se pueden atribuir a la concentración espermática y al líquido seminal, que sirve como medio de suspensión. Así mismo, Valdebenito et al. (1995) reporta que el semen en salmónidos es de color blanco, de consistencia lechosa y, en algunos casos, viscoso, mientras que Bastardo et al. (2004) menciona que el semen normal específicamente de trucha arcoíris es homogéneo, cremoso, blanco lechoso y viscoso. Estas características sugieren una alta concentración espermática (Navarro et al., 2004).

En relación con la tasa de ovulación Vargas (2003) menciona que uno de los factores a considerar es la edad. ya que en términos generales la hembra joven puede desovar de 1.000 a 1.500 huevos por kilogramo de peso; hembras de dos años cuyo peso es de 1 kg pueden desovar aproximadamente 2.500 huevos y hembras de tres años con un peso de 2 kg desovan aproximadamente 3.500 huevos. Esto concuerda con el resultado obtenido en este estudio en donde en la línea fenotípica Z18 con un peso promedio de 3.153 kg se obtuvieron 4,124 huevos promedio, mientras que en la línea H-N se obtuvo un peso de 0.829 kg con 1,781 huevos promedio (cuadro 4).

Toledo et al (1994) realizo una investigación sobre el ciclo gonadal de la trucha arcoíris en donde pudo observar que gran parte de los ovocitos presentaron tamaños que fluctuaron entre 0.3 y 2.5 mm. Sin embargo, durante diciembre y enero, la mayoría de los ovocitos presentó un diámetro que osciló entre los 0.3 y 0.6 mm, para experimentar un aumento progresivo de su diámetro, de 1.0 a 2.5 mm de febrero a abril. Por su parte, según Bromage y Cumaranatunga (1988), los ovocitos con un diámetro mayor a 3.2 mm están maduros y listos para ser ovulados y fertilizados. Lo observado durante este análisis entra dentro de los

valores antes mencionados ya que en el caso de la línea fenotípica Z18 se observó un diámetro promedio de 2.41 mm y en la línea H-N de 2.61 mm (cuadro 4).

Las truchas eclosionan aproximadamente el 95 %, con una reserva de alimento en un saco vitelino (el cual dura de 2 a 4 semanas); la eclosión del lote de huevos usualmente toma de 2 a 3 días. Para medir la eficiencia reproductiva de las líneas fenotípicas durante este estudio, se realizaron dos experimentos: en el primero se analizaron tres pruebas en donde se utilizó un pool de las líneas de machos Amanalco y Poblanos y en las hembras las líneas Z18 y H-N, se observó un mayor porcentaje de fecundación en la prueba A con las líneas Amanalco y Z18 / H-N y la B con Poblanos y H-N obteniendo en ambos casos 90 %, en el caso de la prueba B´ se utilizaron las mismas líneas que en la B pero solo se obtuvo el 85%. En el caso de la eclosión se obtuvo un mayor porcentaje en el caso de la prueba A alcanzando un 95% y para la prueba B y B´ solo el 85% (cuadro 5).

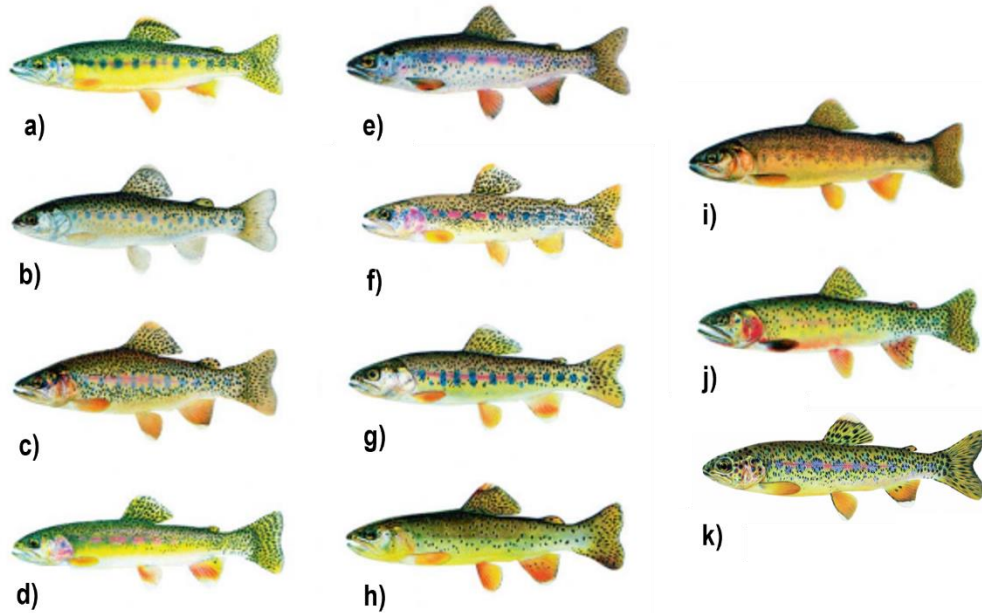
En el segundo experimento se realizaron dos pruebas en donde se utilizaron las líneas Pool en machos y H-N en hembras, se observó un mayor porcentaje de fecundación en la prueba A con un 80% mientras que la prueba B solo obtuvo un 40%, así mismo se observó un mayor porcentaje de eclosión en la prueba A con un 70% mientras que la prueba B obtuvo 0%; esto lo podemos adjudicar a la calidad de huevo que se observó a la hora de realizar la fertilización, ya que en el caso de la prueba B las hembras se encontraban en su primer etapa de maduración (cuadro 6).

Al respecto Peña (2015) menciona que es común observar que durante el mismo ciclo reproductivo se presenten fluctuaciones tanto en el número de los desoves producidos como en la fecundidad, a pesar de que los reproductores se mantengan en óptimas condiciones ambientales y alimenticias. De tal forma que la producción total no sea la óptima; dichas fluctuaciones han sido asociadas, en gran medida, a la variabilidad en la calidad de los huevos producidos por los reproductores.

En ambiente natural, la trucha arcoíris presenta poblaciones con un alto nivel de variación fenotípica, incluyendo una variedad que presenta ciclos de vida migratorio y otra con ciclo de vida residente en agua dulce; así mismo, estudios recientes revelan una considerable plasticidad fenotípica en la diversidad de historia de vida de esta especie (Hendrickson, y otros, 2002).

Hendrickson et al. (2002) realizó una recopilación de las truchas mexicanas nativas en donde menciona que las operaciones de cultivo de truchas utilizando truchas arcoíris exóticas han proliferado rápidamente, amenazando la introgresión genética y/o la competencia con las formas nativas y la depredación sobre ellas. Desde una perspectiva histórica, las especies de truchas mexicanas son parte de un linaje polítípico más grande de "truchas arcoíris", supuestamente monofilético y estrechamente relacionado con un linaje de "truchas degolladas". El linaje de la "trucha arcoíris" también incluye formas conocidas como trucha de banda

roja, las diversas subespecies de trucha arcoíris (*O. mykiss*), la trucha dorada mexicana, la trucha dorada de California (*O. mykiss aguabonita*), así como los arcoíris anádromos conocidos como cabezas de acero (fig. 12).



**Figura 12.** Morfología de truchas mexicanas. Modificado de Hendrickson et al. (2002). **a)** Trucha dorada mexicana – *Oncorhynchus chrysogaster*, **b)** Trucha del Río San Lorenzo – *Oncorhynchus* sp., **c)** Trucha de Arroyo La Sidra – *Oncorhynchus* sp., **d)** Trucha del Río Mayo, trucha del Mayo – *Oncorhynchus* sp., **e)** Trucha del Río Presidio – *Oncorhynchus* sp., **f)** Trucha del Río Bavispe/Cuenca Guzmán – *Oncorhynchus* sp., **g)** Trucha del Yaqui – *Oncorhynchus* sp., **h)** Trucha apache – *Oncorhynchus gilae apache*, **i)** Trucha de Gila – *Oncorhynchus gilae gilae*, **j)** Trucha degollada del Río Grande – *Oncorhynchus clarkii virginialis*, **k)** Trucha arcoíris de Baja California – *Oncorhynchus mykiss nelsoni*.

Al realizar la observación de las diferentes líneas fenotípicas de *O. mykiss* y comparando los resultados con lo anteriormente mencionado y observado por Hendrickson et al. (2002), podemos comprobar la poca variabilidad que existe entre el fenotipo de las líneas Amanalco, Poblanos, H-N y Pool (cuadro 7).

Respecto a esta variabilidad Arregui Maraver (2003) menciona que la selección o cría selectiva la cual consiste en la mejora de los genes de una población a través de sus expresiones o fenotipo será indispensable para generar planes de manejo adecuados, que permitan una mejor gestión de las especies conociendo su biología y grado de variabilidad genética, ya que cuando hablamos de diversidad no sólo deberíamos hacer referencia a la riqueza de especies sino también, a las variaciones genéticas (genotipos) que las mismas presentan como respuesta a la heterogeneidad del medio ambiente. De esta forma se evitará la pérdida de parte de la diversidad que realmente existe y que como se demostró en el caso de esta investigación no puede ser evaluada a simple vista.



Además de la adecuada selección de los reproductores, la respuesta a la selección o ganancia genética dependerá de la intensidad de la selección y de la variabilidad genética. Los programas de selección generalmente comienzan con la selección de un par de rasgos como puede ser peso corporal y edad de maduración. Sin embargo, la selección de determinados caracteres puede provocar la expresión de caracteres indeseables, por lo cual otro de los objetivos principales de la selección suele ser la prevención de la endogamia. Por el contrario, si tiene éxito, la siguiente generación crecerá más rápido, tendrá el color deseado, o desovarà en la época que el productor desee obteniendo resultados rápidos y a bajo costo (Arregui Maraver, 2003).

## **VII. CONCLUSIÓN**

La producción exitosa de la trucha arcoíris depende en gran medida de la alta calidad de los gametos y el rendimiento de la progenie.

La calidad del semen, fecundidad, tamaño del huevo, la alta supervivencia del huevo y las tasas de eclosión son todos los atributos que se deben considerar importantes al cuantificar el desempeño de los reproductores. Así mismo, otros factores tales como el número de espermatozoides por huevo, la duración del contacto entre los gametos o el protocolo de fertilización utilizado, pueden influir en el proceso de fertilización.

La concentración espermática, pH, movilidad y viabilidad son parámetros que definen la calidad de semen y pueden ser utilizados como indicadores de la capacidad fecundante, lo que permitirá reducir el número de reproductores en el Centro acuícola, lo que a su vez reducirá la factura de alimentos y proporcionará mejores condiciones de cría.

En última instancia, un huevo de buena calidad con alta supervivencia tiene prioridad y esto se logra dándole al reproductor una mejor dieta, cuidado y óptimas condiciones del medio ambiente.

Para lograr el éxito, es necesario proporcionarles a los reproductores las condiciones óptimas durante todo el período de maduración, así como una alimentación de alta calidad y buenas técnicas en la cría. Fallar al proporcionar estos elementos esenciales trae como resultado que los reproductores y, por ende, el semen y óvulos sean de mala calidad, así como alevines de bajo rendimiento.

## **VIII. AGRADECIMIENTOS**

A la M. EN. C. Araceli Cortes García y el Dr. Jesús Dámaso Bustamante González por el asesoramiento y contribuciones realizadas, así como al responsable del centro acuícola "El Zarco" el Biol. Gregorio Hernández Silverio por la autorización y por sus aportes para enriquecer esta investigación.

## IX. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDAD	MES					
	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
Revisión bibliográfica y diseño de protocolo	X					
Selección de reproductores	X	X	X			
Caracterización	X	X				
Reproducción asistida	X	X	X			
Seguimiento de la incubación y desarrollo embrionario		X	X	X		
Determinación de tasa de fecundación (crías)		X	X	X		
Asesorías para revisión de protocolo	X	X	X	X	X	
Elaboración de reporte final		X	X	X	X	
Entrega final del reporte						X

## REFERENCIAS

- Aquino, G. (s.f.). Manual básico para el cultivo de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). Manual de capacitación para la participación comunitaria. *GEM TIES Cuencas Sanas y Modos de Vida Sustentable Series de Manuales de Capacitación*, 2-25.
- Área Funcional de Investigaciones en Acuicultura. (2015). *Guía para la incubación y alevinaje de trucha arcoiris Oncorhynchus mykiss*. Instituto del mar del Perú (IMARPE).
- Arregui Maraver, L. (2003). El cultivo de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). *Cuadernos de Acuicultura*, 32-34.
- Bastardo, H., Guedez, C., & León, M. (2004). Características del semen de trucha arcoiris de diferentes edades, bajo condiciones de cultivo en Mérida, Venezuela. *Zootecnia Trop*, 22(3).
- Bromage, N., & Cumaranatunga, R. (1988). Egg production in the rainbow trout. *Recent advances in aquaculture. Blackwell Scientific Publications*, 3, 64-138.
- Bustamante-González, J. D., Cortés-García, A., & Rodríguez-Gutiérrez, M. (2018). Crecimiento y calidad espermática en trucha arcoiris *Oncorhynchus mykiss* (Teleostei: Salmonidae) durante la temporada reproductiva. *Hidrobiológica*, 28(2), 163-170.

- Bustamante-González, J., Rodríguez-Gutiérrez, M., Cortes-García, A., & González-Rentería, M. (2016). Reproductive behavior of male rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) during reproductive period. *Scientific Journal of Animal Science*, 5(4), 261-267. doi:10.14196/sjas.v5i4.2163
- Castro-Castellón, A., González-Villaverde, P., Cortés-García, A., Martínez-Regalado, D., & Jiménez-Valencia, J. (2017). Calidad del semen en trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) lote Michoacano, a finales de su periodo reproductivo. *Revista Digital del Departamento El Hombre y su Ambiente*, 1(13), 1-9.
- Dirección Nacional de Recursos Acuáticos. (2010). *Manual básico de Piscicultura en estanques*.
- FAO. (2009). *Oncorhynchus mykiss*. In Cultured aquatic species fact sheets. Obtenido de [https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/aquaculture/l1129m/file/es/es\\_rainbowtrout.htm](https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/aquaculture/l1129m/file/es/es_rainbowtrout.htm)
- FAO. (2011). Atender la demanda creciente de pescado. Centro de prensa. Obtenido de <https://www.fao.org/news/story/es/item/94241/icode/>
- Franco, C. (s.f.). Los metodos sustentables de la Piscicultura. Obtenido de [www.tilapez.blogspot.com](http://www.tilapez.blogspot.com)
- García-Mondragón, D., Gallego-Alarcón, I., Espinoza-Ortega, A., García-Martínez, A., & Arriaga-Jordán, C. M. (2013). Desarrollo de la producción de trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) en el Centro de México. *Revista AquaTIC*(38), 46-56.
- Guzmán, C., Garduño, M., & Mendoza, R. (2013). Trucicultura y el excursionista en áreas rurales. *El Periplo Sustentable*, 99-123.
- Hendrickson, D., Espinosa Pérez, H., Findley, L., Forbes, W., Tomelleri, J., Mayden, R., . . . García de León, F. (2002). Mexican native trouts: a review of their history and current systematic and conservation status. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*(12), 273-316.
- INAPESCA. (2018). *Acuacultura Trucha arcoiris. Acuacultura comercial*. Obtenido de <https://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/acuacultura-trucha-arcoiris>
- Lahnsteiner, F., Berger, B., Weismann, T., & Patzner, R. A. (1998). Determination of semen quality of the rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*, by sperm motility, seminal plasma parameters, and spermatozoal metabolism. *Aquaculture*, 163, 163-181. doi:10.1016/S0044-8486(98)00243-9
- Navarro, O. J., Velasco Santamaria, Y. M., & Cruz Casallas, P. E. (2004). Evaluación de cinco protectores para la crioconservación de semen de Cachama Blanca (*Piaractus brachypomus*). *Rev Col Cienc Pec*, 17(Suplemento), 53-59.
- Peña, R. (2015). Criterios de Calidad de Huevos y sus Implicaciones en el Cultivo de Peces Marinos. *Nutrición Acuicola: Investigación y Desarrollo*, 402-434.
- Peñaloza Camargo, M. L. (s.f.). *Evaluación de la calidad espermática de reproductores cultivados de pez blanco de Pátzcuaro (Menidia estor) para optimizar el proceso de fertilización*.
- Rivera, M., Delgado, M. Á., & Torrentera, L. (1995). La criopreservación de esperma de trucha areoiris (*Oncorhynchus mykiss*) y su importancia en la producción trutícola en México. *Ciencia ergo-sum*, 2(3), 353-360.
- SAGARPA. (2018). Producción de trucha en el Estado de México. Obtenido de <https://www.gob.mx/agricultura/edomex/articulos/produccion-trucha-en-el-estado-de-mexico?idiom=es>

- Toledo D., M., Vivar M., V., & Muga H., C. (1994). Ciclo gonadal de hembras reproductoras de trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) en la piscicultura de Río Blanco, Los Andes, Chile. *Investigaciones Marinas, Valparaíso*, 22, 39-43.
- Valdebenito, I., Bariles, J., Vega, R., Dantagnan, P., Bórquez, A., & Carreño, E. (1995). ANALISIS CUALITATIVO Y CUANTITATIVO DEL SEMEN DE PUYE GAWLIAS MACULATUS (JENYNS, 1842) (SALMONIFORMES: GALAXIIDAE). *Biología Pesquera*, 24, 17-21.
- Valdebenito, I., Fletcher, C., Vera, V., & Fernández, J. (2009). Factores fisicoquímicos que regulan la motilidad espermática en peces: aspectos básicos y aplicados. Una revisión. *Arch Med Vet*, 41, 97-106.
- Valdebenito, I., Paivaa, L., & Berland, M. (2011). Atresia folicular en peces teleósteos: una revisión. *Arch Med Vet* (43), 11-25.