



**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE MEDICINA VETERINARIA**

**TESIS**

**EFFECTOS DE LA HARINA DE MACA NEGRA Y AMARILLA (*Lepidium meyenii*)  
SOBRE LA CALIDAD DEL SEMEN DE PAVOS (*Meleagris gallopavo*)  
REPRODUCTORES**

**MICHEL MARTÍN VILLANUEVA VEGA  
BACHILLER EN MEDICINA VETERINARIA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
MÉDICO VETERINARIO**

**LIMA – PERÚ**

**2016**



**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE MEDICINA VETERINARIA**

**TESIS**

**EFFECTOS DE LA HARINA DE MACA NEGRA Y AMARILLA (*Lepidium meyenii*)  
SOBRE LA CALIDAD DEL SEMEN DE PAVOS (*Meleagris gallopavo*)  
REPRODUCTORES**

**MICHEL MARTÍN VILLANUEVA VEGA  
BACHILLER EN MEDICINA VETERINARIA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
MÉDICO VETERINARIO**

**LIMA – PERÚ**

**2016**

## ÍNDICE

	Pág.
Dedicatoria.....	i
Agradecimientos.....	ii
Resumen.....	iii
Abstract.....	iv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. La maca.....	3
2.1.1. Propiedades biológicas.....	3
2.1.2. Procesamiento.....	5
2.1.3. Experimentos con la maca.....	6
2.2. El pavo reproductor.....	8
2.2.1. Condiciones de manejo.....	8
2.2.1.1. Consumo de alimento.....	8
2.2.1.2. Densidad poblacional.....	8
2.2.1.3. Temperatura dentro del galpón.....	9
2.2.1.4. Peso corporal.....	9
2.2.1.5. Iluminación.....	9
2.2.2. Inseminación artificial en pavos.....	10
2.2.3. Evaluación de semen de pavo.....	12
2.2.4. Aparato reproductor del pavo macho.....	14
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
3.1. Espacio y tiempo.....	17
3.2. Población y muestra.....	17
3.3. Diseño experimental.....	17
3.4. Equipos y procedimientos.....	18
3.4.1. Algunos factores condicionantes.....	18



## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, en especial a mis padres por su apoyo constante en la culminación de este trabajo, así como en mi vida personal y profesional. A mi madre, quien siempre me impulsó a seguir adelante.

## AGRADECIMIENTO

Al MV. Rocky Ferrer por su apoyo antes y durante la realización de este trabajo de investigación.

A la gerencia de la empresa Corporación de Granjas del Perú SAC por brindarme las facilidades de materiales, animales y espacio; y por financiar este proyecto de investigación.

Al MV. Hugo Samamé Beltrán por asesorarme durante el desarrollo del trabajo de investigación.

A mi tío Biol. Marco García Hjarles por ayudarme a recopilar información y asesorarme en lo respectivo a los métodos a usar durante la prueba.

A cada uno de los trabajadores de la granja, sin cuyo apoyo no hubiese sido posible el desarrollo de la prueba.

A mi enamorada, Stephanie Rosales por su apoyo y empuje constantes en el periodo previo a la sustentación.

## RESUMEN

El objetivo principal de este estudio fue determinar si la harina de maca (*Lepidium meyenii*), en sus variedades negra y amarilla, mejora la calidad de semen de pavos. Para ello, se dispuso de 50 pavos machos de la línea genética Hybrid Converter con 35 semanas de edad y un peso promedio inicial de 23,6 kilogramos. Estos fueron divididos, equitativamente, en 5 grupos experimentales: M1, M2, M3 y M4 y el grupo Control. Cada grupo experimental (excepto el grupo Control) recibió una dosis diferente de harina de maca diluida en 10ml de solución (agua y harina de maca); siendo las dosis de harina de maca negra: N1 (0,08 mg/Kg), N2 (0,12 mg/Kg) y N3 (0,16 mg/Kg) destinadas a los grupos experimentales M1, M2 y M3, respectivamente; y la dosis de harina de maca amarilla: A1 (0,03 mg/Kg), destinada al grupo experimental M4. La solución de harina de maca correspondiente a cada grupo experimental fue administrada vía oral, diariamente, durante un total de 8 semanas; evaluándose la calidad de semen de cada grupo, semanalmente. De la evaluación de las muestras en "pool" del semen colectado de cada ave por grupo, que consistió en las variables: volumen de semen, porcentaje de anormales, porcentaje de vivos, concentración espermática y motilidad masal, se obtuvo: 0,26±0,05ml (Control), 0,30±0,06ml (M1), 0,30±0,05ml (M2), 0,34±0,06ml (M3) y 0,30±0,04ml (M4) de la evaluación del volumen de semen promedio; 8,55±1,37% (Control), 8,03±1,62% (M1), 8,18±1,23% (M2), 6,55±1,77% (M3), 7,34±1,45% (M4) de la evaluación del porcentaje de anormales; 84,63±3,66% (Control), 87,13±2,75% (M1), 87,25±3,77 (M2), 89±2,62% (M3) y 87±4,63% (M4) de la evaluación del porcentaje de vivos; 5818±699 millones/ml (Control), 6454±1052 millones/ml (M1), 6781±1200 millones/ml (M2), 7448±1022 millones/ml (M3), 6280±1017 millones/ml (M4) de la evaluación de concentración espermática; en lo que respecta a motilidad masal, los grupos Control y M1 obtuvieron (++) en promedio, mientras que los demás grupos obtuvieron (+++) en promedio. Si bien en esta prueba se ha obtenido resultados alentadores, se necesita que se hagan más pruebas en esta, tanto como en otras especies de aves y líneas genéticas, pues ello pudiera influenciar en los resultados a obtener.

**Palabras clave:** Maca (*Lepidium meyenii*), calidad semen, pavo (*Meleagris gallopavo*).

## ABSTRACT

The main objective of this study was to test whether maca flour (*Lepidium meyenii*), on its black and yellow varieties, improve semen quality of breeding turkeys. To do this, it sets out 50 breeding male turkeys of the genetic line Hybrid Converter with 35 weeks of age and an average weight of 23.6 kilograms. Turkeys were divided equally in 5 experimental groups: M1, M2, M3 and M4 and the Control group. Each experimental group (except for the Control group) received a different dose of maca flour diluted in 10ml of solution (water and maca flour) per bird; with dosages of black maca flour: N1 (0.08 mg/Kg), N2 (0.12 mg/Kg) and N3 (0.16 mg/Kg) intended for the M1, M2 and M3 experimental groups respectively; and the dose of yellow maca flour: A1 (0.03 mg/Kg) for the experimental group M4. The solution of maca was orally administered daily for a total of 8 weeks flour for each experimental group, evaluating the quality of semen from each group weekly. From the evaluation of samples in "pool" of semen collected from each bird group, which consisted of variables: semen volume, percentage of abnormal cells, percentage of viable cells, mass motility and sperm concentration, was obtained:  $0.26\pm 0.05$ ml (Control),  $0.30\pm 0.06$ ml (M1),  $0.30\pm 0.05$ ml (M2),  $0.34\pm 0.06$ ml (M3) and  $0.30\pm 0.04$ ml (M4), from the evaluation of volume average of semen;  $8.55\pm 1.37\%$  (Control),  $8.03\pm 1.62\%$  (M1),  $8.18\pm 1.23\%$  (M2),  $6.55\pm 1.77\%$  (M3),  $7.34 \pm 1.45\%$  (M4) from the evaluation of the percentage of abnormal cells;  $84.63\pm 3.66\%$  (Control),  $87.13\pm 2.75\%$  (M1),  $87.25\pm 3.77\%$  (M2),  $89\pm 2.62\%$  (M3) and  $87\pm 4.63\%$  (M4) from the evaluation of the percentage of living;  $5818\pm 699$  million/ml (Control),  $6454 \pm 1052$  million/ml (M1),  $\pm 6781\pm 1200$  million/ml (M2)  $7448\pm 1022$  million/ml (M3),  $6280 \pm 1017$  million/ml (M4) from the evaluation of sperm concentration; in regard to mass motility control group and M1 obtained (++) on average, while other groups received (+++) on average. While encouraging results in this test, more tests need to be made in this, as in other bird species and genetic lines, as this could influence the results to be obtained.

**Key words:** Maca (*Lepidium meyenii*), quality semen, turkey (*Meleagris gallopavo*).



## I. INTRODUCCIÓN

En lo referido a la crianza de aves de corral, se manejan distintos esquemas con el objetivo de mantener o mejorar la eficiencia en reproducción, según la especie o línea genética que corresponda. En la crianza de pavos, se ha buscado lograr aves corpulentas; para ello, se ha modificado la genética de los reproductores a tal punto que existe una gran diferencia de peso entre machos y hembras, lo cual hace muy dificultosa la monta natural. Debido a la dificultad reproductiva existente en las líneas genéticas desarrolladas, se utiliza el método de inseminación artificial; el cual permite garantizar la puesta de huevos fértiles a niveles superiores de lo que se lograría naturalmente.

El hecho de que se aplique la técnica de inseminación artificial en pavos de producción masiva, permite dosificar el semen, según lo que realmente se necesite, tomando en cuenta la concentración espermática. Ello, implica que se puede pensar en formas de mejorar la calidad del semen, pues si bien el semen de pavo es altamente concentrado, el volumen por eyaculado es limitado, por lo tanto, sería conveniente que el semen sea de la mejor calidad posible.

Considerando que se ha puesto a prueba los efectos de la maca (*Lepidium meyenii*) sobre los parámetros reproductivos en algunas especies animales como ratas, ratones y ganado bovino, y dadas las propiedades biológicas de la maca, se planteó realizar este trabajo de investigación experimental con harina de maca (pre tostada y gelatinizada) en pavos (*Meleagris gallopavo*). Si bien aún falta desarrollar más pruebas al respecto, algunos de los estudios realizados sugieren que tanto la maca negra, como la variedad amarilla, influyen de manera positiva en la espermatogénesis, protección

embrionaria, y demás variables fisiológicas ligadas a la reproducción. Se trazó la finalidad de determinar los efectos de la maca, en sus variedades negra y amarilla, sobre la calidad de semen de la mencionada especie aviar, referida a los valores de volumen de semen, motilidad masal, concentración espermática, viabilidad y morfología espermática.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. La maca

#### 2.1.1. Propiedades biológicas

Morfológicamente, la maca se divide en dos partes: una aérea pequeña y una zona reservante (hipocótilo) voluminosa en el interior de la tierra de cultivo (1).

En lo que respecta a su valor nutricional, desde los años 1960 hasta la fecha, se han realizado diversos análisis bromatológicos que ratifican el alto valor nutricional, considerando las proporciones de macro y micronutrientes, comparada con otras raíces y tubérculos. Hay estudios en los que se señalan los rangos de valores establecidos en la raíz de maca seca (2) (Anexos 1 y 2).

Se conoce que de los 18 aminoácidos presentes en la maca, 7 de ellos son esenciales. Además, se han encontrado vitaminas en concentraciones elevadas, específicamente, niacina, y en menor proporción, riboflavina, tiamina y vitamina C (2).

Mientras que algunos autores atribuyen los efectos biológicos de la maca a sus altos valores nutricionales (1), otros refieren compuestos secundarios, como glucosinolatos, macaenos y macamidas, ésteres de ácidos grasos y fitosteroles (3).

Los macaenos y macamidas son ácidos grasos poliinsaturados y sus respectivas amidas (2, 3). A éstos se les cataloga como marcadores químicos, pues no han sido encontrados en ninguna otra especie del género *Lepidium* (3). Autores plantean que los macaenos y macamidas son los componentes, biológicamente, activos que influyen en la mejora del rendimiento sexual (4). Existen reportes de que la composición porcentual de macaenos oscila entre 0,09 – 0,45%, mientras que la de macamidas entre 0,06 – 0,52% (2, 3).

En lo que respecta a los alcaloides de la maca, sustancias nitrogenadas complejas que al combinarse con los ácidos, dan lugar a la formación de sales de alcaloides cristalizables y solubles en agua. Hasta el momento, se han encontrado tres alcaloides propios de la maca, de los cuales dos son compuestos imidazólicos (lepidilina A y B) y un derivado de la hidroxipiridina, llamado macaridina (2, 3). Se ha realizado una prueba con extracto alcaloideo de maca sobre el cerebro y aparato reproductor femenino y masculino; a partir de este, se deduce una acción sobre la glándula pituitaria, encargada del aumento de peso y del impulso de la maduración sexual (3).

En distintas especies vegetales se ha logrado aislar cerca de 200 variedades de fitosteroles, entre los cuales, el  $\beta$ -sitosterol, el campesterol y el estigmasterol se encuentran entre los más abundantes. A los fitosteroles se les atribuye efectos de mejora de las posibilidades sexuales, prevención de la menopausia, propiedades antioxidantes y antiinflamatorias (3).

En la fracción acuosa de la maca se han encontrado azúcares libres, aminoácidos con alto componente de prolina, uridina, ácido málico y una fracción conteniendo glucosinolatos; mientras que en la fase no polar se encuentran macaenos y macamidas. Las principales macamidas identificadas son: N-bencil pentadecanamida, N-bencil hexadecanamida, N-(3metoxibencil)-hexadecanamida, N-bencil-heptadecanamida, N-bencil-(9z)-octadecanamida, N-bencil-9-oxo-(12z)-octodecamida, N-

bencil-(9z,12z)- octadecadienamida, N-bencil-9-oxo-(12z,15z)-octadecadienamida, N-bencil-13-oxo-(9E,11E)-octadecadienamida, N-bencil-5-oxo-(6E,8E)-octadecadienamida, N-3-metoxibencil-9z-octadecanamida, N-bencil-(15z)-tetracosenamida, metoxi-N-bencil-(9z,12z)-octadecadienamida, N-3-metoxibencil-(9z-12z)-octadecadienamida, N-bencil-(9z,12z,15z)- octadecatrienamida, metoxi-N-bencil-(9z,12z,15z)-octadecatrienamida, N-3-metoxibencil-(9z,12z,15z)-octadecatrienamida y la N-bencil-octadecanamida (1).

Se realizó un análisis de alto desempeño de cromatografía líquida a un producto estandarizado de extracto lipídico de maca, utilizado en una prueba en ratones y ratas, para determinar los macaenos y macamidas. El análisis reveló 3 nuevos componentes: N-bencil octanamida, N-bencil-16-hidroxi-9-oxo-10E, 12E, 14E-octadecatrienamida y N-bencil-9, 16-dioxo-10E, 12E, 14E-octadecatrienamida, además de otros 17 componentes análogos de macaenos y macamidas. El producto de maca utilizado en dicha prueba, también contenía 3,72% de ácidos grasos libres, los cuales incluían: 0,14% de ácido caprílico, 0,13% de ácido cáprico, 0,97% de ácido láurico, 0,38% de ácido mirístico, 0,67% de ácido palmítico, 0,92% de ácido palmitoleico, 0,17% de ácido esteárico, 0,21% de ácido oleico, 0,69% de ácido linoleico y 0,33% de ácido linolénico. Componentes menores fueron hallados, entre 0,03-0,4% de esteroides y 0,1-0,15% de bencil isotiocinolato. Este conjunto de componentes fue determinado por cromatografía gaseosa - espectrometría masal (4).

### **2.1.2. Procesamiento**

Básicamente, la maca pasa por tres procesos de transformación (harina pre tostada, harina gelatinizada y cápsulas de maca) con propósito de consumo humano. También se utiliza en forma de extractos, cuyo valor se indica en diferentes trabajos.

Para elaborar la harina de maca pre tostada, esta debe ser secada (deshidratación por radiación solar) a, aproximadamente, 4000 m. s. n. m. Luego de un proceso de recepción y selección de los hipocótilos, estos se clasifican y desinfectan para, posteriormente, pasarlos por un proceso de tostado (bajo un estricto control de temperatura para evitar la desnaturalización de las proteínas), molienda y tamizado, logrando la uniformidad de la partícula. Finalmente, la harina pre tostada de maca debe ser envasada (5).

El proceso de elaboración de harina gelatinizada de maca se diferencia del proceso de la harina pre tostada, básicamente, en el triturado, deshidratación, molienda húmeda, deshidratación sin rodillos y molienda de los hipocótilos. Éste proceso permite romper las cadenas de almidón, lo cual influye en la solubilidad, elevado porcentaje de absorción y asimilación de aminoácidos. El almidón gelatinizado contenido en esta harina, hace que no se requiera cocción para que sea digerible y provee un importante aporte energético (5).

### **2.1.3. Experimentos con la maca**

La maca gelatinizada en dosis de 1,5 o 3,0 g/día mejora el deseo sexual en hombres normales, desde las 8 semanas de terapia. Ahora, el uso de extracto de maca mejora el deseo sexual en varones deportistas a las dos semanas de tratamiento. En un estudio doble ciego usando un extracto de maca seca (2,4 g/día) por doce semanas se observa un ligero pero significativo efecto de la maca sobre la disfunción eréctil leve (1).

Se han realizado pruebas que ratifican efectos favorables de la maca en el proceso de espermatogénesis. Así, se tiene que la administración de extracto acuoso de maca (obtenido luego de la cocción de los hipocótilos) y el extracto hidroalcohólico, son capaces de aumentar los estadios de mitosis de espermatogénesis en rata, tras 14 días

de tratamiento (6, 7). Del mismo modo, se ha observado un efecto dosis-respuesta que mejora los estadios de espermiación y mitosis en rata, luego de 7 días de tratamiento (1). Luego de 42 días, se observó que la maca negra mejoró la concentración diaria de espermatozoides y su motilidad; del mismo modo, se observó esas mismas mejoras, en menor proporción, en ratas tratadas con maca amarilla. Asimismo, se ha observado que las variedades negra, amarilla y roja aumentan el conteo de espermatozoides en el epidídimo, sin alterar el número de espermatozoides en los testículos (1).

Los mayores efectos sobre la espermatogénesis se han observado con la fracción etil acetato (1).

La administración de maca gelatinizada a nueve varones sanos por 4 meses, muestra en dosis de 1,5 g o 3,0 g un aumento del volumen seminal, del conteo y de la movilidad de espermatozoides. Luego de 4 meses de tratamiento, el número de espermatozoides móviles se incrementa de  $87,72 \pm 19,87$  millones (media  $\pm$  error estándar de la media) a  $183,16 \pm 47,84$  millones ( $p < 0,05$ ) (8).

Gonzales, et al. Indican que la falta de respuesta de la testosterona sérica o la falta de activación del receptor de andrógenos por acción de la maca sugiere que los efectos de la maca sobre la calidad o cantidad de los espermatozoides se producen por una vía diferente a la testosterona y su receptor o a la FSH. Estudios *in vitro* indican que tanto los extractos metanólicos como acuosos de maca muestran actividad estrogénica en líneas celulares MCF-7, y al no haber encontrado acción en los receptores alfa estrogénicos, se sugiere una acción en los receptores beta de estrógenos, lo cual necesita aún ser demostrado (1).

No se ha encontrado más trabajos de investigación en los que se evalúe los efectos de la maca sobre la calidad de semen, en más animales. Tampoco se ha podido hallar

información respectiva a pruebas realizadas en aves de producción masiva, pues – según comentarios recibidos- el riesgo en el costo es muy elevado, considerando que en la avicultura se trabaja con poblaciones grandes. En tal sentido, es más factible desarrollar una prueba en pavos reproductores, pues no se trabaja con poblaciones muy grandes.

## **2.2. El pavo reproductor**

### **2.2.1. Condiciones de manejo**

En la guía de manejo de Hybrid Converter se hace énfasis en factores como el consumo de alimento, densidad, temperatura, peso corporal e iluminación (9).

#### **2.2.1.1. Consumo de alimento**

Se recomienda que el alimento contenga 10% de proteína en caso de los pavos machos de la línea genética Hybrid converter. El programa de consumo de alimento está diseñado para el control de un peso uniforme, lo cual condiciona a los machos a producir un semen de excelente calidad y cantidad (9) (Anexo 3).

#### **2.2.1.2. Densidad poblacional**

Se debe realizar un control del peso de los reproductores luego de la selección de machos (entre las semanas 18 y 20, dependiendo del programa dispuesto por el



criador), se recomienda colocar entre 15 y 20 machos por paño; considerándose, por lo menos, 0,93-1m<sup>2</sup> de superficie por ave dentro de cada paño (9).

### **2.2.1.3. Temperatura dentro del galpón**

La variación de la temperatura influencia en el consumo de alimento, por lo cual es importante realizar cambios en la ración, dependiendo del cambio en la temperatura ambiental. Por cada 1°C que disminuya, por debajo de una temperatura promedio de 12°C, la ración debería aumentar en 1,5%. Para fines prácticos, cuando la temperatura del galpón decae más de 6°C, se dispone de un programa de ajustes (9) (Anexo 3).

### **2.2.1.4. Peso corporal**

Es importante que, pasadas las 22 semanas de edad, el peso promedio de los machos se encuentre dentro del rango estándar (Anexo 3). En caso de que el peso esté por debajo del estándar, se puede aumentar la ración en un 10-15% hasta lograr un peso adecuado. Si las aves están con sobrepeso, no debe tratarse de reducir la ración, sino, mantenerla hasta que se equipare el peso promedio con el estándar. Las aves con un peso adecuado, se encontrarán en óptimas condiciones para la producción de semen (9).

### **2.2.1.5. Iluminación**

El pavo macho es muy sensible a cambios en la intensidad de la iluminación a lo largo del día; esto se debe a que, naturalmente, el macho debe asegurar la producción de semen antes de que la hembra esté lista para la fertilización. En condiciones de

confinamiento, entre 10 y 12 horas de luz son suficientes para el desarrollo del aparato reproductor. Entre 14 y 16 horas de luz al día son suficientes para estimular la producción de semen mientras dure la etapa de producción (9) (Anexo 4).

### **2.2.2. Inseminación artificial en pavos**

La inseminación artificial es practicada extensivamente para la producción de pavos comerciales. Esto es, básicamente, resultado de una crianza selectiva para producir machos más pesados y de pechuga amplia, y una consecuente inhabilidad para transferir semen satisfactoriamente a la hembra por medio de la cópula (10). Entonces, la inseminación artificial es la norma más que la excepción, debido a que los pavos ya no pueden aparearse de manera eficaz (11).

La inseminación artificial, en las aves, es una técnica reproductiva en la cual el semen se obtiene de los machos artificialmente y luego se deposita en el tracto reproductivo de la hembra para fecundar óvulos o yemas y producir huevo fértil para incubar (11). Dependiendo de las metas y objetivos de la granja o laboratorio, se pueden implementar pasos como la dilución del semen, almacenamiento (criopreservación) o evaluación del mismo (10).

Haciendo una retrospectiva sobre el uso de la inseminación artificial, se puede decir con seguridad que en los años 1960's, las inseminaciones semanales estaban basadas en el volumen de semen por dosis, usando semen sin diluir. En los 1970's y principios de los 1980's, los criadores empezaron a diluir el semen, e inseminar una cantidad conocida de espermatozoides por dosis. A mediados de los años 1980's hasta los 1990's, se empezó a inseminar a las hembras una semana antes de que empezaran a echarse, y las inseminaciones se realizaban con un número conocido de espermatozoides viables. Sin embargo, a pesar de que aún se practica la inseminación

desde una semana antes del inicio de la producción de huevos, muchas empresas han optado por volver a inseminar con volumen o cantidad de espermatozoides conocidos, como en los años 1970's y 1980's (10).

La técnica de inseminación artificial se utiliza en pavos de estirpe pesada, dada su incapacidad para reproducirse por monta natural (fecundidad disminuida en un 21%) (11). El uso de la mencionada técnica deriva en el aprovechamiento del semen del cual se disponga y que los machos sean capaces de producir; esto, tomando en cuenta que las hembras deben ser inseminadas una vez por semana (a partir de la segunda semana, luego del inicio de la puesta de huevo), teniendo que la proporción macho:hembra es de 1:10, aproximadamente (12).

Los pavos machos son evaluados en base a cuatro conceptos: características del aparato reproductor, características del semen, libido y capacidad de servicio (11).

La producción de semen puede verse afectada por diferentes factores. Entre ellos, la pericia del personal a cargo de la recolección de semen, para manejar a las aves, es crítica. También se debe manejar factores como: temperatura, drogas, desinfectantes, nutrición, enfermedades, cambio de empleados, tipo y condiciones del galpón (9).

En primer lugar, y de acuerdo a la variación anatómica de la región fállica en las diferentes especies aviares, las técnicas de colecta de semen pueden variar. En contraste con otras, los miembros de la familia de los galliformes (gallo, pavo y codorniz) no cuentan con un órgano copulador invasivo de la cloaca femenina. Su órgano no invasivo consiste en capas y bultos que hacen contacto con la cloaca femenina al momento de la cópula. El pavo no cuenta con un cuerpo fállico medial (como el gallo), pero sí con prominentes cuerpos fállicos laterales (10).

Para la recolección de semen, el método de masaje abdominal descrito por Burrows y Quinn (1937) sugiere el aprovechamiento de las zonas erógenas ubicadas entre la cloaca y la línea que une los isquiones, que se prolonga hasta la quilla (11).

Para proceder con la recolección, se requiere de dos personas. La primera derriba y sostiene al ave desde las patas y sostiene el aparato de recolección de semen. La segunda persona masajea el área alrededor de la cloaca y estimula la eyaculación (9).

Para recoger el semen del pavo, debe estimularse el órgano copulador, ejerciendo una leve presión por encima de los testículos durante el masaje. Paso seguido, se impulsa el órgano hacia adelante, con una mano, y se sostiene con los dedos índice y pulgar. De esta manera se estimula al mismo y se obtiene el semen, el cual deberá ser drenado con el aparato de recolección de semen (11).

### **2.2.3. Evaluación del semen de pavo**

La evaluación del semen se divide en dos partes: a) evaluación macroscópica, que comprende la evaluación de color, olor, pureza, volumen y pH; y b) evaluación microscópica, en la que se tiene en consideración la motilidad, viabilidad, morfología y concentración espermática (11).

El volumen del eyaculado individual del pavo puede variar entre 0.2-0.8ml. Sin embargo, el valor más común obtenido es de 0.3ml de semen por eyaculado (13). De rutina, se obtiene el semen de 10-12 pavos en pool en un mismo recipiente, mezclando el semen, gentilmente, luego de cada colecta. Luego, se determina el volumen promedio de eyaculado (10).

El color del semen depende de factores como: concentración espermática, cantidad de fluido, pureza y de ciertos pigmentos de ocurrencia no definitiva. Un semen traslúcido sugiere una baja concentración espermática (11). El semen de buena calidad es de consistencia compacta y de color blanco aperlado. El semen de color amarillo sugiere la presencia de células espermáticas defectuosas o de bajo desempeño, por lo cual debería ser descartado (9).

Por lo general, una muestra de semen de pavo, no debe exceder el 20% de espermatozoides anormales; en caso ocurra, afectaría su fertilidad. Se considera espermatozoides anormales a aquellos inmaduros, con cabeza suelta, retropuesta, enrollada o doblada, cola enrollada, doblada o rota (11). El conteo se realiza a partir de una gota de semen diluido, colocada en el área reticulada del hemocitómetro, según describe Ortiz. En una muestra, el 85% de los espermatozoides debería ser normal (9).

La concentración espermática oscila entre 5-10 mil millones de espermatozoides por centímetro cúbico (9). Sin embargo, se puede considerar 7mil millones de espermatozoides por mililitro como un valor promedio (13).

Para la evaluación de la concentración espermática, se debe diluir el semen. Para ello, se puede utilizar una pipeta de glóbulos rojos (14), se absorbe el semen hasta la señal 0.5 secando cuidadosamente la pipeta y diluyente, que puede ser formalina 1-5% (15) hasta la marca 101, repitiendo el secado. Se agita durante 3 minutos y se carga el hemocitómetro (cámara de Neubauer) descartando las 3 primeras gotas. Una vez cargado, y cubierto con una lámina cubreobjetos, se debe dejar reposar la muestra por media hora para que los espermatozoides sedimenten (15).

#### **2.2.4. Aparato reproductor del pavo macho**

En lo que respecta al aparato reproductor del pavo macho, Hoffman y Völker (1969) refieren que, a diferencia de los mamíferos, las aves carecen de glándulas sexuales accesorias, como: glándulas de Cowper, vesículas seminales, próstata y glándulas uretrales. El pavo macho cuenta con glándulas germinales representadas por los testículos, epidídimo, aparato excretor de semen, órgano copulador y la cloaca (16).

Los testículos son órganos internos, ubicados entre los riñones y la base de los pulmones. Son de color blanco amarillento y de apariencia ovoide o arriñonada. En su interior, son divididos por tabiques que delimitan áreas de tejido noble, donde se ubican los túbulos seminíferos en los que se forman y maduran los espermatozoides (16).

El epidídimo se localiza como una pequeña estructura aplanada en relieve y rudimentaria; es seguida por el conducto deferente, carente de glándulas accesorias, en cuya sección final se observa un engrosamiento en el cual se almacenan los espermatozoides, y que desemboca en la sección media de la cloaca, donde se encuentra el órgano copulador (11).

En lo que respecta a la fisiología reproductiva de los machos galliformes, es importante destacar el papel que cumplen las hormonas adenohipofisarias, como la FSH y LH. Las gonadotropinas y esteroides gonadales son esenciales para la espermatogénesis en galliformes. En pollos, codornices o pavos, no se ha encontrado un patrón similar al de los mamíferos en cuanto a la expresión en etapas específicas de los receptores andrógeno y de FSH (17).

En las aves galliformes, la espermatogénesis puede depender de la testosterona secretada por las células de Leydig; sin embargo, el efecto biológico completo de esta hormona en la producción de semen puede estar mediado por su conversión a estrógeno en el epitelio seminífero (17).

En el pavo, la base del proceso espermiogénico es la aparición de la célula primitiva: espermatogonia, ubicada en las membranas de los túbulos seminíferos; se puede encontrar tres tipos diferentes: espermatogonia tipo A, espermatogonia tipo intermedia y espermatogonia tipo B. Las espermatogonias pasan por un proceso de división celular llamado mitosis, dando lugar a los espermatocitos de primer orden (11). Estos crecen instantáneamente y sufren una nueva mitosis, de la cual resultan los de segundo orden. Estas últimas son células diploides que experimentan meiosis, dando como resultado a las espermátidas; éstas pasan por un proceso de maduración, sufriendo ciertos cambios morfológicos para convertirse en espermatozoides fecundantes (3, 8).

En general, las diversas etapas de espermatogénesis en especies aviares aparentan ser de más corta duración que las correspondientes etapas en mamíferos. Por ejemplo, mientras que el tiempo, desde el inicio de la meiosis hasta el final de la espermatogénesis, es cercano a 26 días en el ratón, 29,5 días en la cabra, 37 días en el toro y 45,5 días en el humano, son solo 14 días en el gallo, gallo de Guinea o pato y 11 días en la codorniz (18).

Desde una perspectiva cuantitativa, la eficiencia de la espermatogénesis está reflejada en el número de espermátides derivadas de cada espermatocito y en la habilidad dada en una espermátide para transformarse en un espermatozoide funcional (18).

Con respecto a su morfología, los espermatozoides de los pavos, y de las aves en general, son alargados, de cabeza ligeramente retorcida y con una gran cola. Estos son filiformes, el acrosoma carece de segmento ecuatorial y de lámina densa post-acrosómica (presentes en los mamíferos) y está separado del núcleo por el espacio sub-acrosómico, ocupado por el perforatorium (11).

El núcleo contiene gránulos de cromatina condensada; está envuelto por una doble membrana nuclear. La región del cuello, que une la cabeza con el segmento caudal, está formada por un complejo centriolar. El axonema, envuelto por una membrana amorfa, se origina en el centriolo distal; a su alrededor se encuentran alrededor de 30 mitocondrias formando el segmento medio; el anillo citoplasmático denso, marca la frontera distal del segmento medio y proximal del segmento principal; sin embargo, carece de vaina fibrosa y fibras densas externas observadas en los mamíferos (19).



### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Espacio y tiempo**

Este trabajo de investigación experimental fue llevado a cabo en una granja de pavos reproductores ubicada en el distrito de Huamantanga, Provincia de Canta-Lima, durante los meses de abril – junio del año 2015, con un total de 8 semanas.

#### **3.2. Población y muestra**

A partir de una población de 350 pavos machos de la línea genética Hybrid Converter, se realizó un muestreo simple al azar de 50 ejemplares, con la finalidad de garantizar la aleatoriedad de la muestra. Se eligió ejemplares aparentemente sanos para evitar –en la medida de lo posible- que enfermen o mueran mientras dure el trabajo experimental. Cincuenta ejemplares seleccionados fueron divididos, equitativamente, en 5 grupos experimentales (el grupo Control y los grupos M1, M2, M3 y M4), aleatoriamente.

#### **3.3. Diseño experimental**

Se ha dispuesto que el diseño experimental sea un diseño completamente aleatorio para diferentes dosis de maca.

#### **3.4. Equipos y procedimientos**

### **3.4.1. Algunos factores condicionantes**

#### **3.4.1.1. Alimento**

Al ser el alimento balanceado un factor de vital importancia en el manejo de las aves para que estas puedan expresar su máximo potencial genético, y -refiriéndonos, específicamente, a la producción de semen de calidad- se tiene un especial cuidado en su elaboración. Para esto, la empresa Corporación de granjas del Perú S.A.C (la cual elabora el alimento que consumieron los pavos utilizados en este experimento) se ciñe a los parámetros señalados en las tablas elaboradas por Hybrid Converter, publicadas en su página Web (Anexos 5 y 6).

La fórmula del alimento balanceado elaborado por la empresa “Corporación de granjas del Perú S.A.C” no puede ser compartida al detalle, sin embargo, se puede mencionar al maíz, torta de soya y afrecho como macro insumos; adicionalmente, se utiliza un protector hepático, secuestrante de micotoxinas, aminoácidos, ácidos orgánicos, y otros aditivos a los cuales no se han podido tener acceso.

#### **3.4.1.2. Agua de bebida**

El agua de bebida fue evaluada cada semana en cuanto a sus niveles de Cloro y potencial de Hidrógeno (pH). Para esto, en lo que duró la prueba experimental se registraron niveles entre 2,1 - 2,8 ppm de Cloro y un pH entre 6,9 - 7,3. Las muestras de agua eran tomadas de los bebederos del primer y del último paño que ocupaban los pavos utilizados en la prueba.

### **3.4.1.3. Iluminación**

De acuerdo al programa establecido (Anexo 4), las aves eran expuestas a 14 horas continuas de luz al día. Bajo luz natural se registraron valores superiores a 400 lux, y bajo luz artificial, se registraron valores entre 80 – 150 lux.

Desde las 25 semanas de edad de los pavos, se dispuso el programa de luz de la siguiente manera: 1°30' (5:30 - 7:00 horas) de luz artificial antes del amanecer, 10°30' (7:00 – 17:30 horas) de luz natural durante el días y 2 horas (17:30 – 19:30 horas) de luz artificial para finalizar el día.

### **3.4.2. Procedimientos**

Para evaluar el efecto de la harina de maca, en sus variedades negra y amarilla, sobre la calidad del semen de pavos reproductores, se administró por vía oral harina de maca diluida en agua de bebida a los grupos experimentales, diariamente, según la variedad de maca y distribución de las diferentes dosis a utilizar por cada grupo.

#### **3.4.2.1. División de grupos experimentales**

La muestra conformada por 50 pavos (de una población de 350 pavos) seleccionados aleatoriamente, fue dividida en 5 grupos experimentales de 10 pavos cada uno (Anexo 7). El área de crianza de las 50 aves seleccionadas fue dividida en 5 paños de piso de tierra y separados por mallas de pescador, con un área de 24m<sup>2</sup> cada uno, en los

cuales se ubicó a cada grupo experimental; teniendo una superficie de 2,4m<sup>2</sup> por ave. Cada paño contaba con 2 comederos y 2 bebederos.

Para su identificación, se procedió a pintar los lomos de las aves con colorantes orgánicos. Las aves del grupo control fueron pintadas de color azul, las del grupo M1 fueron pintadas de color naranja, las del grupo M2 fueron pintadas de color rojo, las del grupo M3 fueron pintadas de color verde, y las del grupo M4 fueron pintadas de color amarillo.

#### **3.4.2.2. Determinación de la dosis**

Para la determinación de las dosis se contó, en forma referencial, con trabajos experimentales realizados en mamíferos con harina gelatinizada, pre tostada y extracto de maca, y con indicaciones de los fabricantes de los productos que se utilizaron en este trabajo experimental, en particular.

Para determinar las distintas dosis a utilizar en cada grupo experimental que consumiera harina pre tostada de maca negra, se tomó en cuenta las sugerencias del fabricante, que recomienda un consumo de 1-2 cucharaditas (5-10g), mientras que en el caso del grupo experimental al cual se le administró harina gelatinizada de maca amarilla, se determinó utilizar una dosis entre 1,5-3g, siguiendo lo descrito por Gonzales et al., quien revela estudios que deslizan efectos favorables sobre los parámetros reproductivos masculinos a una dosis entre 1,5-3g (18).

Para poder determinar una dosis diaria de harina de maca por kilogramo (kg) de peso vivo, se consideró el peso promedio de una persona, que oscila alrededor de los 62 kilogramos (20). Teniendo ello en cuenta, y considerando que las raciones

recomendadas son estimadas para una persona de peso promedio, se realizó una regla de tres simple, tal cual se hace con algunos medicamentos, entre el peso promedio y las dosis recomendadas mencionadas en el párrafo anterior. De esta manera, se obtuvieron dosis entre 0,08-0,16g/kg de harina pre tostada de maca negra y 0,025-0,05g/kg de harina gelatinizada de maca amarilla.

En lo referente a la harina pre tostada de maca negra, se designó una dosis diaria de 0,08g/kg para el grupo experimental M1, una dosis de 0,12g/kg para el grupo experimental M2 y una dosis de 0,16g/kg para el grupo experimental M3, en tanto, se destinó una dosis intermedia de 0,03g/kg de harina gelatinizada de maca amarilla para el grupo experimental M4.

#### **3.4.2.3. Administración diaria de maca**

Desde un inicio se decidió que, por fines prácticos, la harina de maca fuese diluida en agua de bebida y administrada por vía oral con una jeringa dosificadora (Anexos 8 y 9); pues, de esa forma se podría garantizar que las aves consumiesen las cantidades de harina de maca que se les había destinado, según el grupo experimental al que perteneciesen. Si se hubiera mezclado en el alimento, se hubiera tenido que realizar un control a cada ave sobre su consumo; además de que cada ave hubiera tenido que contar con sus propios comedero y bebedero.

Semanalmente, se realizaba un pesaje de los pavos, obteniéndose un peso promedio por cada grupo experimental. Cada peso promedio obtenido era utilizado como base para determinar la cantidad de harina de maca correspondiente a cada grupo experimental. Cada vez, se multiplicaba el peso promedio obtenido en cada grupo experimental por la dosis designada correspondiente a cada uno. Así, se administró entre 1,99-2,11g de harina pre tostada de maca negra (grupos experimentales M1, M2 y M3) y entre 0,71-0,79g de harina gelatinizada de maca amarilla (grupo experimental

M4) por cada pavo, dependiendo de la dosis designada a cada grupo y el peso promedio obtenido.

Luego de la determinación de la cantidad de harina de maca que debía ser administrada, se procedía a diluir la harina de maca en agua de bebida dentro de un frasco de 100ml de capacidad, el cual se agitaba constantemente para evitar que se formen precipitados.

La prueba tuvo una duración de 8 semanas, tiempo en el cual se administró la harina de maca diariamente a los pavos de cada grupo designado.

La harina pre tostada de maca negra, con registro sanitario: N8004210N NAVGBZ DIGESA, se adquirió directamente de la empresa D´agrové Natural; mientras que la harina gelatinizada de maca amarilla, con registro sanitario: N8003814N KBEOSA DIGESA, de la empresa Ecoandino, fue adquirida en un supermercado limeño.

#### **3.4.2.4. Colecta de semen**

Las colectas de semen se realizaron cada 7 días (los días miércoles de cada semana) desde el inicio de la administración de harina de maca a los grupos experimentales (Anexo 10).

Cada semana, las muestras de semen colectado fueron agrupadas en un “pool” por cada grupo experimental para su posterior evaluación; se contó con un tubo rotulado por cada grupo experimental para no confundir las muestras de semen al momento de su evaluación. La calidad del semen se determinó a partir de la evaluación macro y microscópica de parámetros seminales.

### **3.4.2.5. Evaluación macroscópica del semen**

Para la evaluación macroscópica se consideró la observación de variables como: volumen y color.

#### **3.4.2.5.1. Volumen**

Los tubos rotulados utilizados en la colecta de semen, contaban con un indicador volumétrico, que señalaba desde 2-14ml. Dado que el semen de cada grupo experimental fue colectado en "pool, el procedimiento de evaluación de volumen de semen colectado consistió en observar cuantos mililitros de semen se indicaban en el tubo de recolección para, paso seguido, dividir el volumen total entre la cantidad numérica de aves de las cuales se colectó el semen. De esta manera, se obtenía un volumen individual promedio de semen colectado en cada grupo.

#### **3.4.2.5.2. Color**

Una vez colectado el semen se descartó aquel que tuviera un color traslúcido o amarillento, considerando únicamente, el semen de color blanquecino o lechoso.

### **3.4.2.6. Evaluación microscópica de semen**

#### **3.4.2.6.1. Evaluación de la motilidad espermática**

Para el análisis de la motilidad espermática se utilizó una técnica de valoración descrita por Yahaya (2013). Ésta consiste en colocar una gota de semen en una lámina portaobjetos (sin cubrirla con una lámina cubreobjetos) y observarla a un aumento bajo (10X y 40X). Se clasificó la actividad masal desde “0” a “+++”; siendo “0” una motilidad muy baja o nula, mientras que “+++”, una motilidad muy alta (14).

#### **3.4.2.6.2. Evaluación de la viabilidad espermática**

Para evaluar la viabilidad espermática en cada muestra tomada, se procedió a mezclar una gota de Eosina Yellowish al 0.5% con una gota de semen con la punta de una lámina cubreobjetos, cubriéndola con la misma y dejándola reposar por cerca de 2 minutos. Se observó, cada vez, con el objetivo seco; tomando registro de la cantidad de espermatozoides inmóviles vivos y muertos. Con ayuda de un contómetro manual se hizo un cálculo del porcentaje de espermatozoides viables de un total de 200 espermatozoides contados en cada muestra. Las cabezas de los espermatozoides vivos no se colorean, en tanto que las de los muertos se tiñen por efecto de la eosina, la cual atraviesa la membrana celular (15) (Anexo 11).

#### **3.4.2.6.3. Evaluación de la morfología espermática**

Se realizó con ayuda de un contómetro, y a partir de la misma muestra de la que se evaluó la concentración espermática; sólo se contaba a los espermatozoides anormales (cabeza suelta, retropuesta, enrollada o doblada y cola doblada o rota) (Anexo 12).



#### 3.4.2.6.4. Evaluación de la concentración espermática

Se realizó el conteo de los espermatozoides en un hemocitómetro. Se consideró a los que se encontraban en los cuadrados grandes del centro y de las esquinas (5 cuadrados grandes) del área reticulada, es decir, 80 cuadrados pequeños (Anexo 12).

Se utilizó la siguiente fórmula para determinar el número de espermatozoides por mililitro:

$$\frac{n \cdot 400 \cdot 10 \cdot 200 \cdot 1000}{80} = \text{número de espermatozoides/ml}$$

En dicha fórmula, “n” representa al número de espermatozoides contados, “400” representa el número de cuadrados pequeños de 1 mm<sup>2</sup>, “10” es porque la cámara es de 1/10 mm; “200” es por la dilución empleada de 1/200; “1000” viene a ser el factor de conversión de mm<sup>2</sup> a cm<sup>3</sup>; y finalmente, “80” es por el número de cuadrados pequeños contados (15).

### 3.5. Diseño estadístico

Se realizó un análisis de variancia (Anova) para el análisis de los resultados obtenidos en lo referente a volumen promedio, porcentaje de anormales, porcentaje de espermatozoides vivos y concentración espermática; mientras que para analizar los resultados obtenidos sobre motilidad masal, se utilizó una prueba estadística no paramétrica denominada “prueba de signos”. El programa estadístico utilizado fue el MiniTab.

#### IV. RESULTADOS

De la evaluación de las muestras en “pool” del semen colectado de cada grupo, se obtuvieron los siguientes resultados:

Los volúmenes promedio de  $0,26\pm 0,05$ ml (Control),  $0,31\pm 0,07$ ml (M1),  $0,30\pm 0,05$ ml (M2),  $0,35\pm 0,06$ ml (M3) y  $0,30\pm 0,05$ ml (M4); tal como se muestra en el Cuadro 1 (Anexo 13).

Cuadro 1. Resultados de las evaluaciones de volumen promedio de semen de pavo (ml).

SEMANA	VOLUMEN (ml)				
	CONTROL	M1	M2	M3	M4
1	0,25	0,23	0,28	0,4	0,3
2	0,2	0,26	0,21	0,3	0,23
3	0,25	0,4	0,35	0,4	0,36
4	0,3	0,33	0,35	0,37	0,34
5	0,36	0,33	0,36	0,43	0,34
6	0,25	0,36	0,27	0,31	0,26
7	0,21	0,23	0,31	0,26	0,28
Promedio	0,26	0,31	0,30	0,35	0,30
Desviación					
ST	0,05	0,07	0,05	0,06	0,05
Nivel de significancia	A	AB	AB	B	AB

\*Las medias que no comparten una letra, son significativamente diferentes.

\* *Valor p < 0,05*

En lo referente a los porcentajes de espermatozoides anormales, se obtuvo  $8,74 \pm 1,36\%$  (Control),  $8,13 \pm 1,72\%$  (M1),  $8,26 \pm 1,31\%$  (M2),  $6,57 \pm 1,91\%$  (M3),  $7,34 \pm 1,57\%$  (M4); tal como se muestra en el Cuadro 2 (Anexo 14).

Cuadro 2. Resultados de las evaluaciones de morfología espermática en pavos.

SEMANA	MORFOLOGÍA ESPERMÁTICA (células anormales) (%)				
	CONTROL	M1	M2	M3	M4
1	6,8	9,1	7,2	4	5,4
2	8,4	5,6	10,6	4,9	6,4
3	8,5	9,7	8,1	7,7	9,7
4	9,3	8,4	7,8	8,9	8,4
5	7,6	10,3	9,5	7,8	7,7
6	9,7	6,6	7,4	7,8	8,1
7	10,9	7,2	7,2	4,9	5,7
Promedio	8,74	8,13	8,26	6,57	7,34
Desviación ST	1,36	1,72	1,31	1,91	1,45
Nivel de significancia	A	A	A	B	A

\*Las medias que no comparten una letra, son significativamente diferentes.

\* Valor  $p < 0,05$

Los porcentajes de espermatozoides vivos fueron  $84,71 \pm 3,95\%$  (Control),  $87,43 \pm 2,82\%$  (M1),  $88,14 \pm 3,02\%$  (M2),  $89,43 \pm 2,51\%$  (M3) y  $88,14 \pm 3,58\%$  (M4); tal como se muestra en el Cuadro 3 (Anexo 15).

Cuadro 3. Resultados de las evaluaciones de viabilidad espermática en pavos.

SEMANA	Viabilidad espermática (%)				
	CONTROL	M1	M2	M3	M4
1	81	86	88	90	87
2	84	85	86	89	85
3	88	90	90	91	90
4	88	90	93	93	91
5	78	83	85	88	91
6	86	88	90	85	91
7	88	90	85	90	82
Promedio	84,71	87,43	88,14	89,43	88,14
Desviación ST	3,95	2,82	3,02	2,51	3,58
Nivel de significancia	A	A	A	B	A

\* Las medias que no comparten una letra, son significativamente diferentes.

\* Valor  $p < 0,05$

Las concentraciones espermáticas fueron  $5913 \pm 696$  millones/ml (Control),  $6656 \pm 954$  millones/ml (M1),  $7019 \pm 1074$  millones/ml (M2),  $7757 \pm 568$  millones/ml (M3),  $6440 \pm 984$  millones/ml (M4); tal como se muestra en el Cuadro 4 (Anexo 16).

Cuadro 4. Resultados de las evaluaciones de concentración espermática en pavos.

SEMANA	CONCENTRACIÓN ESPERMÁTICA (millones/ml)				
	CONTROL	M1	M2	M3	M4
1	5150	5040	5120	5280	5160
2	4550	5370	5420	7490	6640
3	6120	6100	6760	6900	6380
4	6190	7700	6790	8430	5280
5	5980	6790	6910	7630	6470
6	5640	5730	6650	7390	5330
7	6090	7080	7660	8030	6790
8	6820	7820	8940	8430	8190
Promedio	5913	6656	7019	7757	6440
Desviación ST	696	954	1074	568	984
Nivel de significancia	A	AB	AB	B	AB

\* Las medias que no comparten una letra, son significativamente diferentes.

\* *Valor p < 0,01.*

En lo que respecta a motilidad masal, los grupos Control y M1 obtuvieron (++) en promedio, mientras que los demás grupos obtuvieron (+++) en promedio, según lo que se puede extraer del Cuadro 5.

Cuadro 5. Resultados de las evaluaciones de motilidad masal de espermatozoides de pavo.

SEMANA	MOTILIDAD MASAL				
	CONTROL	M1	M2	M3	M4
1	++	++	+++	+++	+++
2	++	++	+++	+++	+++
3	++	++	+++	+++	++
4	++	+++	+++	+++	+++
5	+++	++	+++	+++	+++
6	++	+++	+++	+++	+++
7	+++	+++	+++	+++	+++
Nivel de significancia	A	A	B	B	B

\*Las medias que no comparten una letra, son significativamente diferentes.

\*\* Valor  $p < 0,05$ .

## V. DISCUSIÓN

No se cuenta con publicaciones en las que se destaquen los efectos de la maca sobre la calidad de semen de pavo; por tanto que este es el primer trabajo experimental que busca determinar dichos efectos. Tampoco se cuenta con indicadores de la calidad de semen de pavo de la línea genética Hybrid Converter, por lo cual se ha tenido que considerar como base a los parámetros destacados para la especie en distintas referencias bibliográficas revisadas.

El presente trabajo destaca un efecto de respuesta basado en la dosis destinada a cada grupo experimental, tal como se puede inferir de los resultados obtenidos, los cuales sugieren un efecto favorable de la maca sobre la calidad de semen de los pavos a los cuales esta fue administrada; sin embargo, ello depende de la dosis utilizada tanto como del tipo de maca.

Algunos autores destacan efectos favorables de la maca sobre la calidad de semen en otras especies estudiadas; sin embargo, no se puede realizar una comparación clara con los efectos observados en este trabajo, pues no se ha documentado otro estudio similar en aves de producción masiva o, siquiera, silvestres. En tal sentido, solo es posible destacar los resultados obtenidos con este trabajo en la especie estudiada.

Se observó tempranamente, desde la primera semana de evaluación, diferencias entre algunos grupos experimentales; en lo que respecta a la concentración espermática, ello podría haberse generado por efectos de aumento en las etapas de mitosis en la espermatogénesis, tal cual reportó Gonzales (6, 7). Considerando que el tiempo desde el inicio de la meiosis hasta el final de la espermatogénesis en algunas aves es de 11-

14 días (18), y que los resultados de algunos grupos experimentales se diferenciaron entre sí desde los primeros 7 días de tratamiento, es factible pensar en la posibilidad de que la maca tenga efectos de aceleración sobre una o más etapas de la espermatogénesis en pavos.

El volumen promedio de eyaculado obtenido de cada grupo experimental coincide con el que refiere Mann (16), por encontrarse dentro del rango de 0,2-0,8ml por eyaculado promedio de semen. Sin embargo, el hecho de que hubiera significancia estadística entre la media del eyaculado del grupo Control ( $0,26 \pm 0,05$  ml) contra la media del eyaculado del grupo M3 ( $0,35 \pm 0,06$  ml) refiere un efecto favorable de la maca sobre el volumen de eyaculado, lo cual coincide con lo sugerido por Gonzales et al. (6).

En lo que se refiere a concentración espermática, los resultados obtenidos de la evaluación de los grupos M2 y M3 (a los cuales se administró harina pre tostada de maca negra a dosis de 0,12g/kg y 0,16g/kg, respectivamente) concuerdan con lo señalado en una prueba en la que se señala que hubo un efecto dosis-respuesta en los niveles de espermiación y mitosis en la espermatogénesis en ratas tras 7 días de tratamiento con maca (1). El hecho de que no hubiera significancia estadística entre las muestras evaluadas de los grupos Control y M1, y que sí la hubiera entre el grupo Control y M3 (dosis: 0,16g/kg;  $p$  valor $<0,01$ ) sugiere un efecto dosis respuesta. En tanto, que no se encontrara significancia entre los resultados obtenidos en el grupo Control y el grupo M4 (dosis: 0,03g/kg), tratado con harina gelatinizada de maca amarilla, coincide con lo señalado por trabajos de investigación en los que se destaca un menor efecto de la maca amarilla, con respecto a la variedad negra de maca, sobre los parámetros reproductivos (1).

No puede descartarse que la harina gelatinizada de maca amarilla tenga, o no, efectos favorables sobre la calidad de semen de pavos reproductores dada la dosis baja que se



utilizó en este trabajo de investigación, basado en investigaciones previas realizadas en humanos, que deslizan efectos favorables sobre la calidad de semen de los mismos.

Si bien existen diversos factores (temperatura ambiental, densidad, peso corporal, iluminación, consumo de alimento, manejo del personal, entre otros) que afectan, tanto el comportamiento sexual, como los indicadores evaluados (volumen de eyaculado, porcentaje de anormales, porcentaje de viables, concentración espermática y motilidad masal); estos no tienen relevancia para este trabajo, dado que todos los pavos utilizados fueron sometidos a las mismas condiciones, siendo las dos variedades de maca y las diferentes dosis aplicadas a cada grupo, el único factor determinante que podría haber influido sobre la calidad de semen de los pavos evaluados.

Los efectos observados dependerían, aparentemente -y como se ha mencionado con anterioridad- de la dosis y variedad de maca utilizada; sin embargo, parece ser que la calidad de la maca depende del suelo en que ha sido sembrada, y no del morfotipo de la misma (1). Cabe destacar que aún se encuentra en discusión si los efectos generados por la maca en la fertilidad se deberían a su alto valor nutricional o a sus concentraciones de macaenos y macamidas (ácidos grasos poliinsaturados y sus respectivas amidas), alcaloides y/o fitosteroles encontrados en su composición química, dado que se les atribuye, también, efectos sobre la fisiología y el comportamiento sexual tanto en machos, como en hembras, en diferentes especies estudiadas (2, 3). Lamentablemente, esto no es materia de discusión en este trabajo, pues lo que se pretendió desde un inicio fue determinar los efectos de la maca sobre la calidad de semen de pavos reproductores.

## VI. CONCLUSIONES

- La administración de harina pre tostada de maca negra, a dosis de 0,16g/kg, mejora la calidad de semen de pavos machos de la línea genética Hybrid Converter.
- La harina gelatinizada de maca amarilla, a dosis de 0,03g/kg, no mejora la calidad de semen de pavos machos de la línea genética Hybrid Converter.

## VII. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios referentes al tema tratado en éste trabajo de investigación experimental.
- Realizar un estudio de evaluación de la fertilidad final tras la administración de maca, tanto como un análisis de la rentabilidad de la misma a partir de la fertilidad, como un complemento a este trabajo.
- Evaluar los efectos de la maca procesada de otras maneras sobre la calidad de semen de pavos u otras aves de producción masiva.
- Probar dosis diferentes de harina gelatinizada de maca amarilla para determinar sus efectos sobre la calidad de semen de pavos u otras aves de producción masiva.
- Realizar estudios comparativos sobre la evaluación de la fertilidad final luego de administrar maca a aves de una misma especie en las que se apliquen métodos de fertilización diferentes (inseminación artificial contra monta natural).

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Gonzales GF, Villaorduña L, Gasco M, Rubio J, Gonzales C. Maca (*Lepidium meyenii Walp*), una revisión sobre sus propiedades biológicas. Revista peruana de medicina experimental y salud pública. Perú. 2014. 31 (1). Pp. 100-110.
2. Castaño Corredor M. Maca (*Lepidium peruvianum Chacón*): Composición química y propiedades farmacológicas. Revista de Fitoterapia. Volumen 8(1). 2008. Pp. 21-28.
3. Sifuentes-Penagos G, León-Vásquez S, Páucar-Menacho L. Estudio de la maca (*Lepidium meyenii Walp*), cultivo andino con propiedades terapéuticas. Scientia Agropecuaria. Volumen 6(2). 2015. Pp. 131.140.
4. Zheng B, He K, Hyungchan C, Rogers L, Shao Y, Huang ZY, Lu, Y, Yan SJ, Qien LC, Zhen QY. Effect of a lipidic extract from *Lepidium meyenii* on sexual behavior in mice and rats. Urology. Estados Unidos de América. Abril, 2000. 55(4). Pp. 598-602.
5. Porres JL. 2008. Proceso y exportación de productos orgánicos caso: maca en polvo hacia mercados latinoamericanos. Universidad Mayor de San Andrés. Bolivia. Pp. 25-27.

6. Gonzales GF, Rubio J, Chung A, Gasco M, Villegas L. 2003. Effect of alcoholic extract of *Lepidium meyenii* (Maca) on testicular function in male rats. *Asian J Androl*.
7. Noirault J, Brillard J, Bakst M. 2006. Spermatogenesis in the turkey (*Meleagris gallopavo*): Quantitative approach in immature and adult males subjected to various photoperiods. USDA-ARS / UNL faculty. Estados Unidos. Pp. 845-856.
8. Gonzales GF, Córdova A, Gonzales C, Chung A, Vega K, Villena A. *Lepidium meyenii* (Maca) improved semen parameters in adult men. China. *Asian J Androl*. 2001;3(4):301-3.
9. Hybrid turkeys. Ontario, Canadá. Breeder management guide. Disponible en: <http://www.hybridturkeys.com/~media/Files/Hybrid/Hybrid%20Library/Management/Breeder%20Management%20Guide1.pdf>
10. M.R. Bakst, J.S. Dymond. 2013. Success in Artificial insemination-Quality of semen and Diagnostics Employed. Chapter 10: Artificial insemination in poultry. Editado por Alemayehu Lemma. Intech. Croacia. Pp. 175-188.
11. Ortiz M. 2008. Manual de inseminación artificial en pavos. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. Pp. 1-19.
12. Buxadé C., Anguera G. 1995. Zootecnia, bases de producción animal: Avicultura clásica y complementaria. Tomo V. Ediciones Mundi-Prensa. España. Pp. 317.

13. Mann T. 1964. The biochemistry of semen and of the male reproductive tract. Butler & Tanner Ltd. Gran Bretaña. Pp. 3.
14. Yahaya Ms, Umaru MA, Aliyu A. A preliminary study on semen collection, evaluation and insemination in Nigerian local turkeys (*Meleagris gallopavo*). Sokoto Journal of Veterinary Sciences, Nigeria. Volumen 11(2). 2013. Pp. 67-70.
15. Cayetano J. 1977. El espermograma, parámetros de fertilidad masculina. Editorial Baesa. Argentina. Pp. 118-120.
16. Hoffman, G. y Völker, H. 1969. Anatomía y fisiología de las aves domésticas. Ed. Acribia. España. p. 160 - 164.
17. Hafez B. 2002. Reproducción e inseminación artificial en animales. Séptima edición. Mc Graw-Hill Interamericana editores. México. Pp. 243-248.
18. Gonzales GF, Ruiz A, Gonzales C, Villegas L, Cordova A. Effect of *Lepidium meyenii* (maca) roots on spermatogenesis of male rats. Asian J Androl. 2001
19. Hafez B. 2002. Reproducción e inseminación artificial en animales. Séptima edición. Mc Graw-Hill Interamericana editores. México. Pp. 98-126.
20. Walpole SC, Prieto-Merino D, Edwards P, Cleland J, Stevens G, Roberts I. The weight of nations: an estimation of adult human biomass. Inglaterra. *BMC Public Health* 2012. 12:439.

**ANEXO 1****Tabla 1:** Análisis bromatológico de maca seca

Componentes	Porcentaje
Proteínas	8,87 – 11,60%
Lípidos	1,09 – 2,20%
Carbohidratos	54,60 – 60,00%
Fibra	8,23 – 9,08%
Ceniza	4,90 – 5,08%

Fuente: Castaño, 2008.

**ANEXO 2****Tabla 2:** Minerales presentes en la raíz de maca

Componentes	Mg/100g de materia seca
Hierro	16,6
Manganeso	0,8
Cobre	5,9
Zinc	3,8
Sodio	18,7
Potasio	2.050,0
Calcio	250,0

Fuente: Castaño, 2008.



### ANEXO 3

**Tabla 3:** Programa de peso corporal y consumo de alimento estándar desde la semana 22 y 45 de edad en pavos de la línea genética Hybrid Converter.

Edad (sem)	Peso	Consumo diario estimado según T° promedio			
		27°C	21°C	16°C	10°C
22	18.3	39	37	40	44
23	18.8	40	38	40	44
24	19.3	41	38	41	44
25	19.8	42	38	41	44
26	20.2	42	38	41	44
27	20.7	43	38	41	45
28	21.1	44	38	41	45
29	21.6	44	38	41	45
30	22	44	38	41	45
31	22.4	45	38	41	45
32	22.8	46	38	41	46
33	23.2	46	38	41	46
34	23.5	47	38	41	46
35	23.9	47	38	41	46
36	24.2	48	38	41	46
37	24.4	48	38	41	46
38	24.7	48	38	42	46
39	24.9	49	38	42	46
40	25.1	49	38	42	46
41	25.3	49	38	42	46
42	25.6	49	38	42	46
43	25.8	49	38	42	46
44	26	50	38	42	46
45	26.2	50	38	42	46

Fuente: Hybrid turkeys.

## ANEXO 4

**Tabla 4:** Programa de iluminación de pavos machos de la línea genética Hybrid Converter.

<b>Edad (días)</b>	<b>Edad (sem)</b>	<b>Total horas</b>	<b>Lux (mínimo)</b>
1		24	70
2 a 4		23	70
4 a 98	1 a 4	12	40
98 a 126	14 a 18	Red. 1h/sem	40
126 a 168	18 a 24	8	40
168 a final	24 a final	14	30

Fuente: Hybrid turkeys.

## ANEXO 5

Tabla 5: Guía nutricional para pavos reproductores.

	FEMALE LAYER #1	FEMALE LAYER #2	FEMALE LAYER #1	FEMALE LAYER #2	MALES FULL-FED	MALES CONTROL-FED
	SUMMER (>55% egg production)	SUMMER (<55% egg production)	WINTER (>55% egg production)	WINTER (<55% egg production)	POST-SELECTION	POST-SELECTION
Crude protein, %	17-18	15-16	16	14	10	14
ME, MJ/kg	12.35-12.77	12.14-12.56	12.35	12.14	12.55-13.39	12.24
ME, kcal/lb	1340-1385	1315-1360	1340	1315	1360-1450	1325
ME, kcal/kg	2950-3050	2900-3000	2950	2900	3000-3200	2925
Total lysine, %	0.95-1.05	0.85-0.95	0.90	0.80	0.28-0.30	0.65
Available lysine, %	0.86-0.95	0.77-0.86	0.81	0.71	0.23-0.25	0.55
Total arginine, %	0.95-1.05	0.85-0.95	0.90	0.80	0.28-0.30	0.65
Available arginine, %	0.86-0.95	0.77-0.86	0.81	0.71	0.23-0.25	0.55
Total methionine, %	0.42-0.46	0.40-0.44	0.40	0.38	0.20-0.22	0.32
Available methionine, %	0.39-0.43	0.37-0.41	0.38	0.35	0.18-0.20	0.28
Total methionine + cysteine, %	0.72-0.79	0.68-0.75	0.68	0.65	0.40-0.44	0.55
Available methionine + cysteine, %	0.64-0.71	0.61-0.68	0.61	0.59	0.36-0.40	0.47
Total threonine, %	0.62-0.68	0.55-0.62	0.59	0.52	0.17-0.18	0.40
Available threonine, %	0.54-0.60	0.49-0.54	0.51	0.45	0.14-0.15	0.32
Total tryptophan, %	0.16-0.17	0.14-0.16	0.15	0.13	0.05-0.06	0.11
Available tryptophan, %	0.14-0.16	0.13-0.14	0.13	0.12	0.04-0.05	0.09
Total valine, %	0.74-0.82	0.66-0.74	0.70	0.62	0.20-0.21	0.46
Available valine, %	0.65-0.72	0.59-0.65	0.62	0.54	0.16-0.18	0.39
Total isoleucine, %	0.57-0.63	0.51-0.57	0.54	0.48	0.17-0.18	0.39
Available isoleucine, %	0.52-0.58	0.47-0.52	0.49	0.43	0.14-0.15	0.33
Total calcium, %	2.90-3.00	3.10-3.20	2.90	3.10	1.00	1.20
Available phosphorus, %	0.55-0.57	0.51-0.53	0.52	0.48	0.50	0.60
Total sodium, %	0.18-0.20	0.18-0.20	0.18	0.18	0.18	0.19
Total chloride, % minimum	0.19-0.21	0.19-0.21	0.19	0.19	0.23	0.25
Total chloride, % maximum	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30

Fuente: Hybrid turkeys.

## ANEXO 6

**Tabla 6:** Suplementación de vitaminas y minerales traza en pavos reproductores de la línea genética Hybrid converter

**VITAMIN AND TRACE MINERAL SUPPLEMENTATION<sup>1</sup> (PARENT STOCK DIETS)**

Added Nutrient	Source	Unit	0-42 Days	43-210 Days	>211 Days	% Nutrient Recovery <sup>2</sup>
Vitamin A	Vitamin A Acetate (stabilized)	IU/kg	12000	9600	12000	84
Vitamin D <sub>3</sub>	Vitamin D <sub>3</sub> , 25-Hydroxy Vitamin D <sub>3</sub>	IU/kg	5000	4800	5000	84
Vitamin E	dI- $\alpha$ Tocopherol Acetate, d- $\alpha$ Tocopherol Acetate	IU/kg	100	60	100	84
K <sub>3</sub> (Menadione)	MSBC <sup>3</sup> , MPB <sup>3</sup> , MNB <sup>3</sup>	mg/kg	4	3	5	56
Thiamine	Thiamine Mononitrate	mg/kg	4.5	2	4.5	84
Riboflavin	Riboflavin	mg/kg	15	12	18	84
Pantothenic Acid	D-calcium Pantothenic Acid	mg/kg	28	23	30	84
Niacin	Nicotinic Acid, Niacinamide	mg/kg	110	85	110	84
Pyridoxine	Pyridoxine Hydrochloride	mg/kg	5	3.5	5	84
Biotin	Biotin	$\mu$ g/kg	300	170	500	84
Folic Acid	Folic Acid	mg/kg	3.5	2.5	4.5	77
Vitamin B <sub>12</sub>	Cyanocobalamin	$\mu$ g/kg	40	20	40	74
Choline	Choline Chloride <sup>4</sup>	mg/kg	1200	600	1200	-
Manganese	Manganous Oxide, Manganous Sulfate, Manganous Amino-Acid Complex, Manganous Proteinates	mg/kg	160	120	160	-
Iron	Ferrous Sulfate, Iron Amino-Acid Complex, Iron Proteinates	mg/kg	80	40	80	-
Copper	Cupric Sulfate, Copper Amino-Acid Complex, Copper Proteinates	mg/kg	15	10	15	-
Iodine	Calcium Iodate, Ethylene Diamine Dihydroiodide (EDDI)	mg/kg	3	2	3	-
Zinc	Zinc Oxide, Zinc Sulfate, Zinc Amino-Acid Complex, Zinc Proteinates	mg/kg	160	120	160	-
Selenium	Sodium Selenite, Selenomethionine, Selenium Proteinates	mg/kg	0.3	0.3	0.3	-

Fuente: Hybrid turkeys.

## ANEXO 7



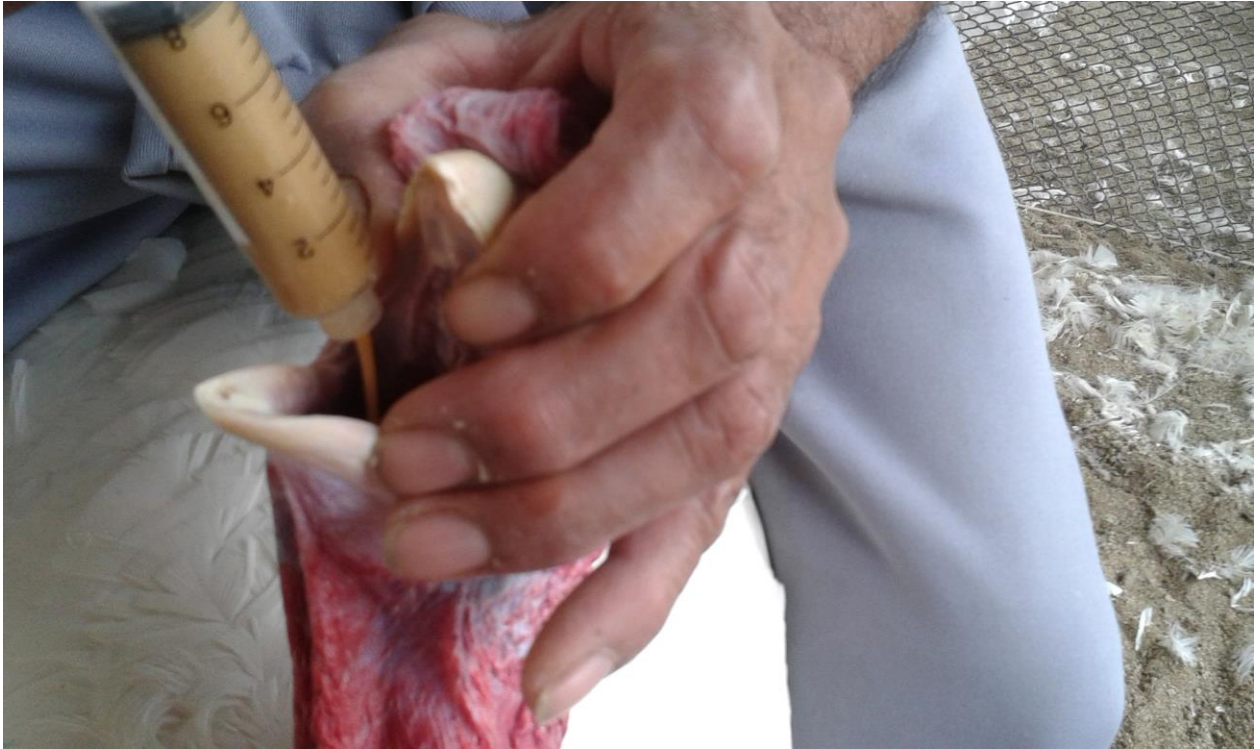
**Fig. 1:** División de los pavos en grupos experimentales en paños de 24m<sup>2</sup> de superficie.

## ANEXO 8



**Fig. 2:** Administración diaria de harina de maca diluida en agua a los pavos.

## ANEXO 9



**Fig. 3:** Uso de la jeringa dosificadora para la administración oral de la solución de harina de la maca en los pavos.

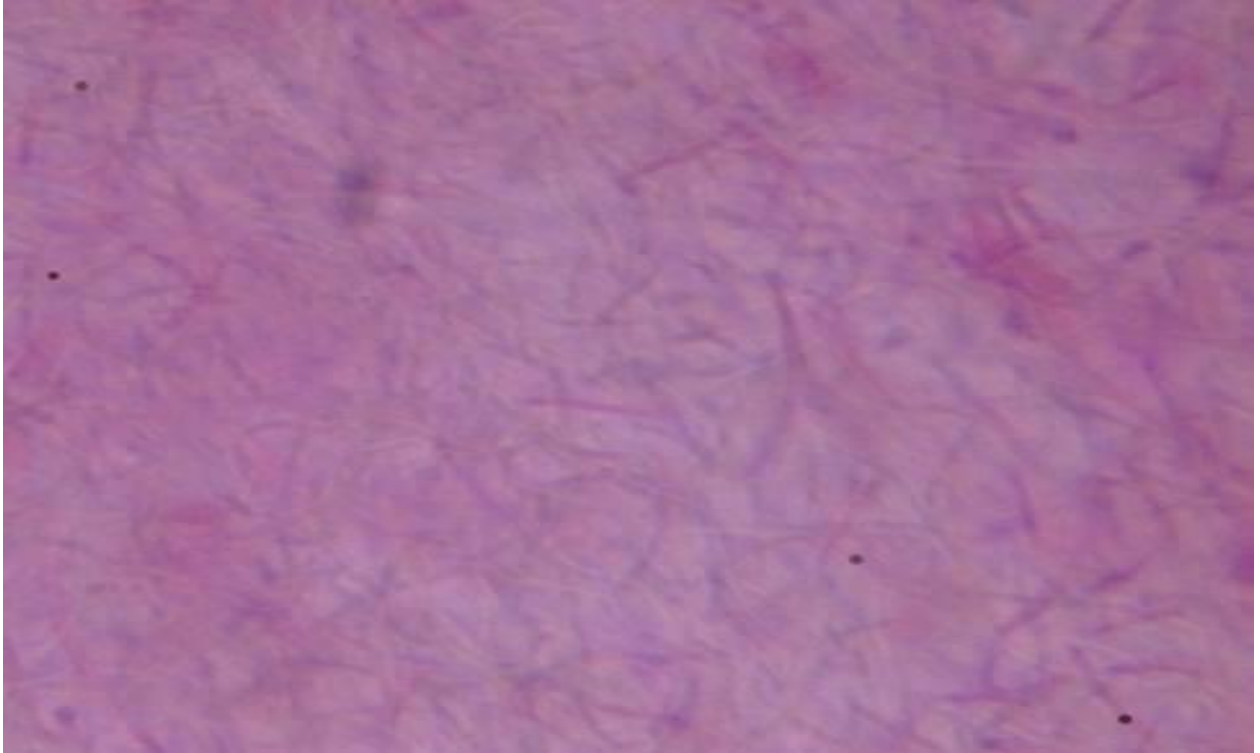
## ANEXO 10



**Fig. 4:** Procedimiento para la colecta de semen de pavo.

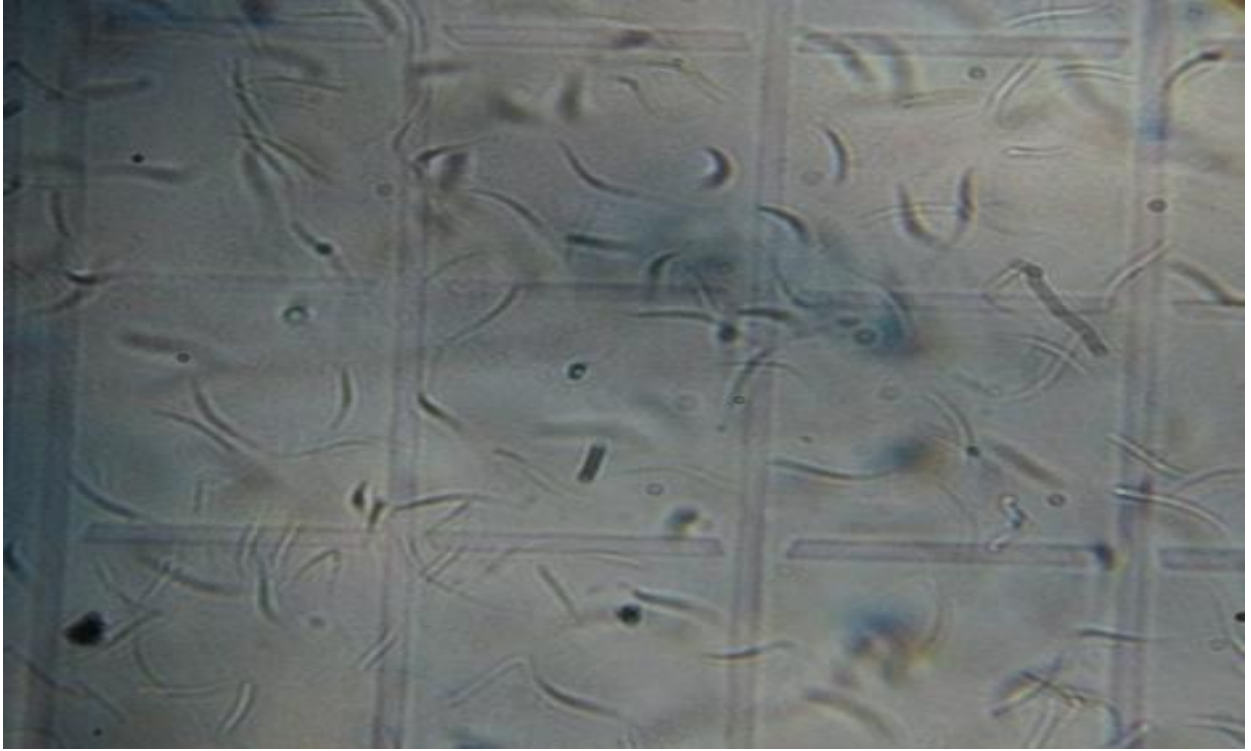


## ANEXO 11



**Fig. 5:** Vista microscópica de la evaluación de viabilidad espermática a partir de semen de pavo.

## ANEXO 12



**Fig. 6:** Vista microscópica de la evaluación de concentración y morfología espermática a partir de semen de pavo.

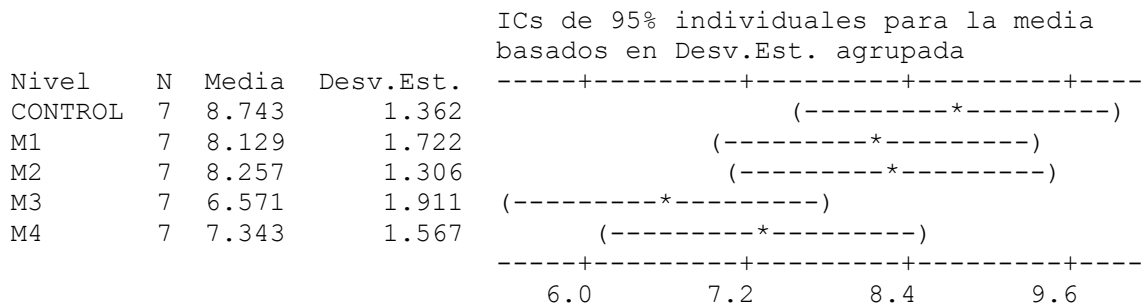


## ANEXO 14

**Tabla 8:** Análisis ANOVA unidireccional al 95% de los resultados de las evaluaciones de "morfología espermática" de los pavos de cada grupo experimental

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	4	20.47	5.12	2.02	0.116
Error	30	75.82	2.53		
Total	34	96.29			

S = 1.590    R-cuad. = 21.26%    R-cuad. (ajustado) = 10.76%



Desv.Est. agrupada = 1.590

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
CONTROL	7	8.743	A
M2	7	8.257	A
M1	7	8.129	A
M4	7	7.343	A
M3	7	6.571	A

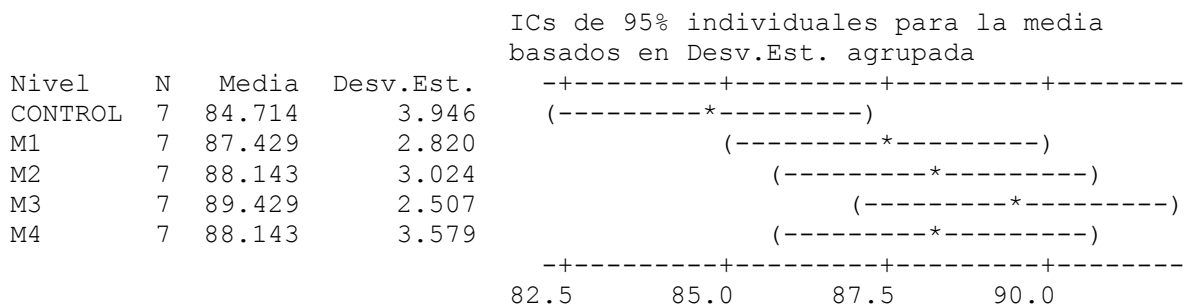
Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

## ANEXO 15

**Tabla 9:** Análisis ANOVA unidireccional al 95% de los resultados de las evaluaciones de “viabilidad espermática” de los pavos de cada grupo experimental

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	4	86.0	21.5	2.08	0.109
Error	30	310.6	10.4		
Total	34	396.6			

S = 3.218    R-cuad. = 21.69%    R-cuad.(ajustado) = 11.24%



Desv.Est. agrupada = 3.218

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
M3	7	89.429	A
M4	7	88.143	A
M2	7	88.143	A
M1	7	87.429	A
CONTROL	7	84.714	A

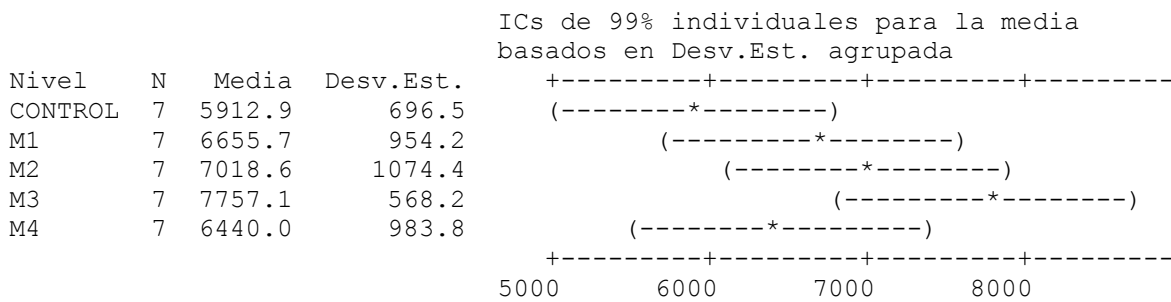
Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

## ANEXO 16

**Tabla 10:** Análisis ANOVA unidireccional al 99% de los resultados de las evaluaciones de “concentración espermática” del semen de los pavos de cada grupo experimental

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	4	13244211	3311053	4.31	0.007
Error	30	23042943	768098		
Total	34	36287154			

S = 876.4    R-cuad. = 36.50%    R-cuad. (ajustado) = 28.03%



Desv.Est. agrupada = 876.4

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
M3	7	7757.1	A
M2	7	7018.6	A B
M1	7	6655.7	A B
M4	7	6440.0	A B
CONTROL	7	5912.9	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.