



**UNIVERSIDAD MICHOCANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
CENTRO MULTIDISCIPLINARIO DE ESTUDIOS EN BIOTECNOLOGÍA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**

**CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN, MORFOMETRIA Y
GENETICA DEL GUAJOLOTE DOMESTICO DE TRASPATIO (*Meleagris
gallopavo*) QUE SE CRIA EN EL ESTADO DE MICHOCAN.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS BIOLÓGICAS EN
LA OPCIÓN EN BIOTECNOLOGIA MOLECULAR AGROPECUARIA.**

PRESENTA:

M.C. RIGOBERTO LOPEZ ZAVALA

ASESORES

**DRA. MARÍA GUADALUPE ZAVALA PÁRAMO
DR. HORACIO CANO CAMACHO**

Morelia, Michoacán Febrero de 2007.

CONTENIDO

	Página
CONTENIDO-----	i
I RESUMEN-----	1
II SUMMARY-----	3
III INTRODUCCION-----	5
1.1 Domesticación del guajolote en México-----	6
1.2 Conocimientos sobre los sistemas de producción de guajolote mexicano-----	8
1.3 Caracterización morfológica del guajolote-----	11
1.4 Estudios Moleculares del genoma del guajolote -----	11
IV HIPOTESIS-----	17
V JUSTIFICACION-----	18
VI OBJETIVOS-----	19
VII RESULTADOS-----	20
CAPITULO I. Artículo Arbitrado: Características-----	21
morfológicas y de producción del guajolote (<i>Meleagris gallopavo</i>) criados en sistema de traspatio en el estado de Michoacán.	
CAPITULO II. Artículo Arbitrado: Caracterización-----	37
de sistemas de producción del guajolote doméstico (<i>Meleagris gallopavo gallopavo</i>) de traspatio distribuidos en las cinco regiones fisiográficas de Michoacán, México.	
CAPITULO III. Artículo en preparación: Análisis de-----	68
diversidad genética por microsatélites de poblaciones de guajolote de traspatio (<i>Meleagris gallopavo</i>) en Michoacán, México	
CAPITULO IV. Artículo en preparación: Comportamiento-----	85
productivo de una parvada de guajolote doméstico (<i>Meleagris gallopavo</i>) de traspatio criado bajo condiciones de confinamiento total.	

VIII DISCUSION GENERAL-----	94
IX BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA-----	97
IX ANEXOS-----	100
ANEXO I. Variedades de guajolote encontradas -----	100
en Michoacán asignadas por el color del plumaje de	
acuerdo a la Sociedad Americana de Aves de Corral.	
ANEXO II. Capítulo de Libro.-----	101
ANEXO III. Artículo arbitrado -----	115
ANEXO IV. Artículo Indizado-----	133

RESUMEN

En este estudio se realizó la caracterización del sistema de producción y de las poblaciones de guajolote doméstico de traspatio (*Meleagris gallopavo*) de las cinco regiones fisiográficas de Michoacán. Se incluyó la descripción de los sistemas de producción y su grado de tecnificación, el análisis morfométrico, genético molecular (microsatélites), socioeconómico y sanitario, y la evaluación del comportamiento productivo de una parvada de guajolotes criados bajo un sistema de confinamiento total. El trabajo de campo incluyó el levantamiento de encuestas, el registro de datos morfométricos y la colecta de sangre y/o plumas de ejemplares de las cinco regiones fisiográficas de Michoacán (Bajío, Eje Neovolcánico, Balsas, Sierra y Costa); por muestreo cualitativo estratificado simple, cuyos estratos estuvieron representados por las cinco regiones fisiográficas. La caracterización de sistema de producción mostró que el 94.2% de las UP son rústicas o de traspatio (UPTr) y se localizan en todas las regiones fisiográficas. El 5.8% de las UP fueron semitecnificadas y localizadas en las regiones Bajío y Eje Neovolcánico. Se encontraron diferencias en el sistema de crianza en las diferentes regiones fisiográficas; algunos de los criadores utilizan una o dos prácticas de manejo mejoradas como la alimentación de pavipollos con alimento comercial y la aplicación esporádica de vacunas. El 7% de los criadores utilizan alimento balanceado en todas las etapas productivas de los guajolotes, localizándose en las regiones Bajío y Eje Neovolcánico. La alimentación en las UPTr se realiza una vez por día, administrando mayoritariamente maíz crudo o nixtamalizado, además de forrajeo en los traspatios. El 13% de las UP tienen cobertizos para el alojamiento, localizándose estas en el Bajío y Eje Neovolcánico, en el resto de las UP los guajolotes pernoctan en árboles en los traspatios o en huertos aledaños a las casas. En todas las regiones se detectó la presencia de síndromes y enfermedades. Las enfermedades de tipo respiratorio se registraron principalmente en las regiones templadas y frías, y las diarreicas en las regiones cálidas y secas. Se detectó un grupo de aves aparentemente resistentes a la viruela y newcastle. La comercialización de los guajolotes se lleva a cabo en los mercados locales, donde la demanda supera a la oferta y permite que el sistema funcione como

ahorro en especie y con bajos insumos. La atención del sistema de crianza esta a cargo principalmente por la madre de familia. En la caracterización morfométrica, se identificaron los cuatro colores básicos del plumaje del guajolote de traspatio (negro, blanco, café y gris), y algunas combinaciones. Se asignaron algunas variedades de acuerdo a la Sociedad Americana de Aves de Corral, como Negro Español, Narrangansett, Bronceado, Palma Real, Buffy y Slate. En las regiones templadas y frías se crían aves más pesadas que en las regiones calientes y secas; la tasa de reproducción es adecuada con un porcentaje de incubabilidad aceptable. El tamaño de parvada más grande se encontró en Bajío y el más pequeño en Balsas, el Eje Neovolcánico, Sierra y Costa tuvieron tamaños similares. El análisis con 7 *loci* microsatélites (SSR) evidenció diversidad genética en las poblaciones. Todos los *loci* fueron 100% polimórficos, y se encontraron más alelos por *loci* de los esperados. Se encontró una H_e de 0.606. Las regiones con menor H_e (0.543) fueron Eje Neovolcánico y Costa, sin que represente riesgo de endogamia. En las poblaciones de Balsas y Costa 4 de 7 *loci* presentaron equilibrio de Hardy-Weinberg, Bajío y Sierra 3 de 7 y Eje Neovolcánico 2 de 7. La media de F_{IS} (0.109), indicó un contenido heterocigótico multilocus adecuado. La media de F_{ST} (0.122) indicó variabilidad genética dentro de las poblaciones, correlacionando con el resultado del análisis de la varianza molecular, que mostró una variabilidad de 82% dentro de las poblaciones y de 18% entre poblaciones. La espacialidad geográfica evaluada por medio del número de migrantes (N_m) (vía F_{ST}), indicó intercambio de migrantes; el N_m fue mayor entre Eje Neovolcánico y Costa (no colindantes). El análisis de distancia genética de Nei, confirmó un flujo génico mayor entre las poblaciones de la Costa y los del Eje Neovolcánico y menor entre el Balsas y Bajío (no colindantes). En el árbol filogenético los guajolotes domésticos se separaron de los silvestres (grupo externo). Los guajolotes domésticos se separaron en 3 grupos genéticos; el grupo del norte en Bajío y Eje Neovolcánico, el grupo del centro en Balsas, y el grupo del sur, en Sierra y Costa. La prueba de comportamiento productivo reveló que los machos incrementan su peso más rápido que las hembras a partir del tercer mes de edad. El índice de conversión alimenticia fue más alto que el reportado en guajolotes comerciales.

SUMMARY

The productive and population characterization of the backyard production system of native domestic turkey (*Meleagris gallopavo*), of the five physiographic regions of Michoacán was made in this study. The production system description and technification level, morphometric and genetic molecular (microsatellites) analysis, sanitary and socioeconomic, and the evaluation of the productive behavior of a flock of domestic turkeys raised in total confinement were included. The work of field included the application of surveys, morphometric registers and collects of blood/pens from individual of the five physiographic regions of Michoacán (Bajío, Eje Neovolcánico, Balsas, Sierra and Costa); sampling method was stratified simple, where the strates were the five physiographic regions. The productive characterization showed that 94.2% of units were rustic or of the backyard (UPTr) and were located in all regions. The 5.8% of units were subtechnified and localized in Bajío and Eje Neovolcánico regions. Were founded some differences in raise system between regions; some breeders use only one or two management practices as feeding of poults with comercial diet and low use of vaccines. The 7% of breeders use comercial diets to fed adults birds, localized in Bajío and Eje Nevolcánio regions. The feeding in the UPTr is made once to the day administering mainly grain maize (whole, broken, boiled, etc), plus the foraging in the backyard. The sheds for night keeping of turkeys were present in 13% of the production units, located in Bajío and Eje Neovolcánico, rest of the units dont have sheds to night keeping of the turkeys and they spend the night in trees or improvised sheds. The syndromes and other illnesses are in all regions. Respiratory problems are present the cold or tempered regions, while diarrheic syndrome are in warm and hot regions. We found a resistant group to smallpox or Newcastle. The commercialization of turkeys is made in local markets, demand is higher than offer and this productive activity is a subsistence mean for breeders or one specie saving and low costs productive system. The breeding is mantained mainly by the family mother. In the morphometric characterization were identified for basic colours of feathers shade of the backyard turkeys (black, white, brown or red and gray) and some combinations. Were assign some varieties according of the American Society of Poultry like Black spanish, Narragansett,

Bronce, Royal palm, Buffy and Slate. In tempered and cold regions are raising larger and heavier birds than in hot and dry regions; the reproduction rate is good, with a percentage of acceptable incubation. We found the size of flock greater in Bajío and the smaller in Balsas, the Eje Neovolcánico, Sierra and Costa had similar size of flocks. Analysis with 7 *loci* microsatellites (SSR) showed genetic diversity in the populations. All *loci* were 100% polymorphic and were found more alleles by *loci* than awaited ones. Was found a H_e of 0.606. The regions with a lower H_e (0.543) were Eje Neovolcánico and Costa, this value is not a risk of endogamy. In populations of Balsas and Costa, 4 of 7 *loci* were in Hardy-Weinberg equilibrium, Bajío y Sierra had 3 of 7 and Eje Neovolcánico 2 of 7 *loci*. The average of F_{IS} (0.109) indicated suitable heterocigotic content. The F_{ST} (0.122) indicate variability in the populations correlating with the result of the analysis of the molecular variance, that it showed 82% of variability within the populations and 18% between populations. The geographic spacing evaluated by means of the number of migrants (N_m) (via F_{ST}) indicate interchange of migrants; the N_m was greater between Eje Neovolcánico y Costa (nonadjacent). Genetic distance of Nei confirmed a genetic flow greater between Costa and Eje Neovolcánico and minor between Balsas and Bajío (nonadjacent). In the phylogenetic tree the domestic turkey separated of the wild (external group). Domestic turkey separated in three genetic group; the group of the north in Bajío and Eje Neovolcánico, the group of the center in Balsas, and the group of the south in Sierra and Costa. The test of productive behavior revealed that the males increase their weight more quickly than the females after the third month of the age. The index of nutritional conversion was higher than the reported in commercial turkey.

INTRODUCCIÓN GENERAL

El género *Meleagridinae* comprende las dos especies de guajolote conocidas y ambas se encuentran en México, una es el guajolote norteño (*M. gallopavo*), del cual se deriva el guajolote doméstico y la otra es el guajolote de monte (*M. ocellata*), que se presenta solamente en el sureste de México y zonas colindantes de Guatemala y Honduras (Leopold, 1990). De acuerdo a diferentes características morfológicas como tamaño, coloración de las patas, del pico o plumaje, se han reconocido seis subespecies (Stangel *et al.*, 1992): *M. g. intermedia* (Guajolote Río Grande), *M. g. merriami* (Merriam), *M. g. osceola* (Guajolote de la Florida), *M. g. silvestris* (Guajolote Silvestre), *M. g. mexicana* (Guajolote Gould) y *M. g. gallopavo* (guajolote doméstico). Las poblaciones silvestres de guajolotes de México, pertenecen a la subespecie *M. g. mexicana* y las domésticas a la subespecie *M. g. gallopavo* (Mock *et al.*, 2002).

Los guajolotes fueron domesticados originalmente por diferentes grupos prehispánicos como los Aztecas, Purépechas, Huicholes y otras etnias mexicanas, entre los años 200 y 700 AC, antes antes del descubrimiento de América por los europeos (Crawford, 1992). Los guajolotes domésticos llegaron a España a principios del siglo XVI y de ahí pasaron sucesivamente a Inglaterra y a otros países europeos, en los que se realizaron diversos trabajos de selección para mejorarlos. De acuerdo a algunos autores, los guajolotes o pavos domésticos existentes en EUA se derivan de ejemplares importados de Europa, donde constituyeron el inicio de la avicultura doméstica (Becerril, 2001). En México, el guajolote doméstico original persiste actualmente en pequeñas rancherías, en sistemas de producción de traspatio, como fuente importante de alimentación, como medio de subsistencia económica, y como parte importante de la cultura de las familias rurales. Sin embargo, estas poblaciones están pobremente estudiadas, por lo que cualquier información que se obtenga sobre sus características de explotación (productivas, reproductivas, fenotípicas, sanitarias y socioeconómicas) y genético-moleculares (estructura y diversidad genética, razas), es valiosa para dirigir los esfuerzos de conservación, manejo y explotación.

La permanencia de estas aves en las rancherías o áreas suburbanas del país se debe principalmente a su rusticidad y resistencia, lo cual les han permitido valores de

adecuación positivos en condiciones ambientales adversas (climas extremos, condiciones sanitarias inadecuadas y alimentación con bajo valor nutrimental) (Mallia ,1998; Losada *et al.* 2006). En los últimos años se han realizado algunos estudios que incluyen la caracterización de sistemas de explotación de guajolote doméstico de traspatio en México (Aquino, 2003; Hernández *et al.*, 2005; Losada *et al.*, 2006; Hernández, 2006), su importancia dentro de las actividades económicas de los segmentos poblacionales suburbanos y rurales del país (Aquino, 2003; Estrada *et al.* , 2006), y caracterización morfométrica (Hernández *et al.*, 2005; Hernández, 2006, López *et al.*, 2006). Recientemente se realizó un análisis de diversidad genética de poblaciones de traspatio de los Estados de Puebla y Michoacán (Chassin-Noria *et al.* , 2005; López-Zavala *et al.*, 2005) y posteriormente la caracterización productiva fenotípica, socioeconómica y genético molecular de poblaciones de traspatio de las cinco regiones fisiográficas de Michoacán.

1.1. DOMESTICACIÓN DEL GUAJOLOTE MEXICANO.

El guajolote fue domesticado por los pobladores de Mesoamérica, sin que se tenga el conocimiento exacto de la o las culturas que realizaron el proceso de la domesticación (Valle, 1947). Originalmente se consideraba a los guajolotes como sagrados y útiles, su valor material se basaba en tres usos fundamentales: a) como alimento (carne y huevo), b) como herramienta (huesos) y c) como ornamento y vestimenta (plumas y espolones). En todas las culturas que se asentaron en Mesoamérica (Tabla 1) se ha encontrado evidencia arqueológica (figurillas, estelas y códigos) de la convivencia de los guajolotes en estas sociedades.

Los hallazgos antropológicos de restos de guajolote datan de entre 200 AC a 700 DC, pero no se cuenta con evidencias sobre el sitio exacto donde ocurrió la domesticación (Schorger, 1966). Sin embargo, se ha propuesto el origen de la domesticación en las tierras altas de México (altiplano) probablemente en Michoacán (Leopold, 1990). En la Figura 1 se muestra un esquema sobre un modelo probable de domesticación del guajolote (Valadez, 2002).

Posterior al descubrimiento de América, el primer reporte de la presencia del guajolote en el continente, en la costa de Cumaná (hoy Costa Rica y Nicaragua), es

presentada alrededor de 1499 por Pedro Alonso Niño. Posteriormente, en 1500 Vicente Yáñez Pinzon los describió en el golfo de Paria en Venezuela, y en 1502 Cristóbal Colón en Honduras (Crawford, 2002).

Tabla1. Evidencias de la presencia prehispánica de guajolotes en Mesoamérica

AÑO	CULTURA	EVIDENCIA
3500 AC	Asentamientos humanos alrededor de Tehuacan, Puebla	Restos de huesos
1700 AC	Olmeca	Estelas y en rituales
800 AC	Zapoteca	Restos de huesos
500 AC	Totonaca	Figurillas
200 AC	Teotihuacana	Ritos y restos de aves, pinturas de mercados
600 DC	Mayas	Ritos y restos alimento
900 a 1200 DC	Toltecas, Teotihuacan, Purepecha	Restos de hueso, crianza en casas de gobernantes
1325 DC	Aztecas, Otomíes	Ritos y como alimento
600 DC	Rarámuri	Ritos

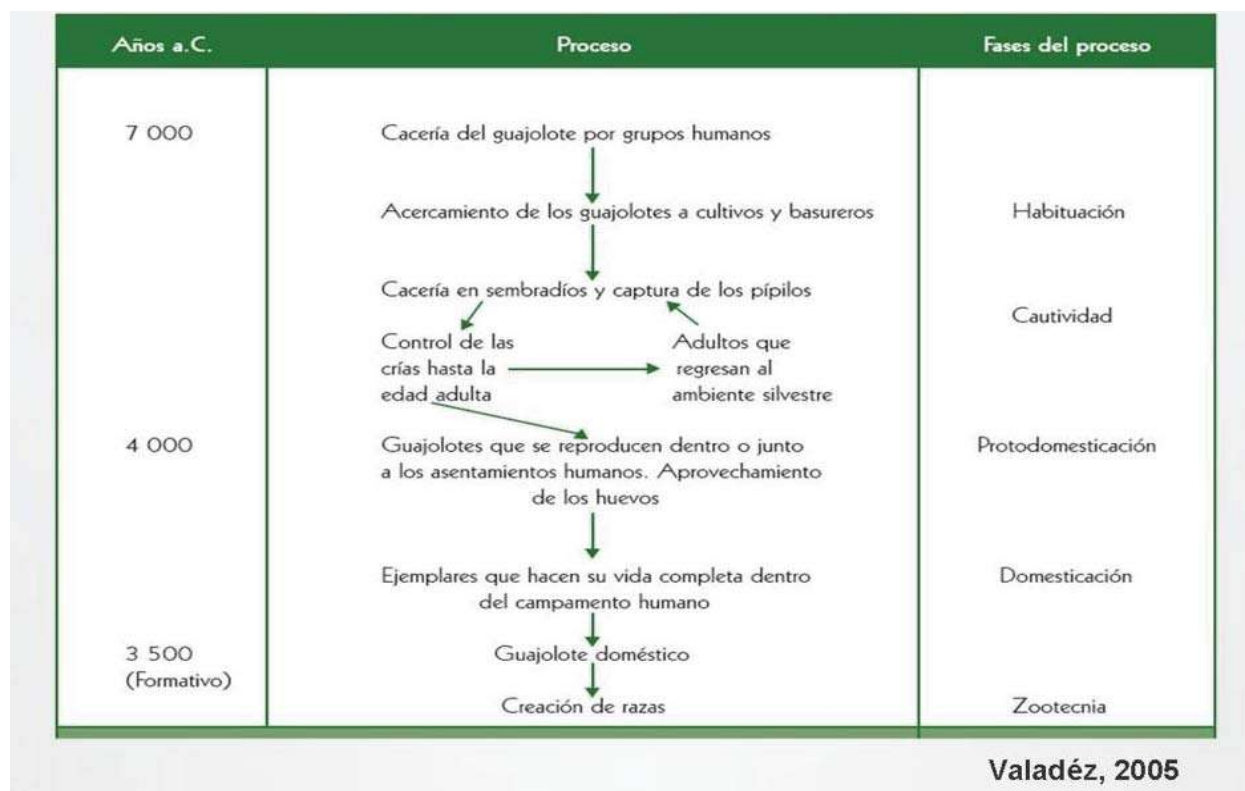
Adaptado de: Lee 2005, Crawford 1992, Valadez 2002

Algunos documentos españoles narran el envío desde las islas a tierra firme, de 10 “gallinas de la tierra” o “pavos”, 5 hembras y 5 machos para su reproducción. Otro documento redactado por el rey de España, refiere que en 1512 llegaron a España dos pavos provenientes de La Española. Posteriormente fue descrito por Grijalva, en la península de Yucatán en 1517. (Lee, 2005) y en Campeche por Córdoba en el mismo año (Mallia, 1998). En 1527 Bernal Díaz del Castillo señala la presencia del guajolote o “gallina de la tierra” y se le atribuye la mejor descripción del *totolin*, nombre local nahuatl del guajolote. (Lee, 2005).

La presencia de guajolotes en Michoacán queda manifestada en la Relación de Michoacán, escrita por Fray Jerónimo de Alcalá, entre 1539 a 1540 donde describe que los “Tarascos criaban muchas de estas aves que eran usadas para pagar tributo a sus reyes, además que el gobernante Tarasco alimentaba a sus halcones con

carne de guajolote, y ofrecieron alimento a los españoles con “gallinas y huevos”, (Schorger, 1966; Alcalá 1999).

Figura 1. Proceso de domesticación del guajolote



Otra evidencia de la presencia del guajolote en la mayoría de la culturas que florecieron en Mesoamérica son las diferentes sinonimias para llamar a esta ave como: chumpa, chompipe, totol, totolin, purhu, tuluc, cócono, cúcuno, picho, huexolotl, jolote, tundo, coruco, garullo, dam'oni, y pípil. Lo anterior demuestra que México ha sido tradicionalmente productor de guajolotes, ya que desde su domesticación hasta la fecha estas aves han representado aporte tanto alimenticio como económico para las familias de los criadores mexicanos (Vieyra, 2005).

1.2. CONOCIMIENTOS SOBRE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DEL GUAJOLOTE EN MÉXICO Y MICHOACÁN.

1.2.1. GRADO DE TECNIFICACIÓN.

La crianza de los guajolotes en México se desarrolla actualmente bajo tres sistemas de explotación:

a) El sistema a escala industrial o también llamado “Tecnificado”, que se lleva a cabo con guajolotes de variedades tipo “comercial”, provenientes de líneas genéticas seleccionadas para producir más peso por unidad alimenticia, con requerimientos muy estrictos en reproducción de las aves (fertilización artificial), alojamiento (instalaciones cerradas y climatizadas), nutrición (alimento balanceado de origen comercial), sanidad (aplicación de vacunas y desparasitantes) y comercialización (venta en canal). Las líneas comerciales más comunes que se utilizan son los denominados de “doble pechuga” como el White Holland y el Big-6 Large White, dos variedades de guajolotes blancos que tienen la cualidad de presentar un crecimiento más rápido comparado con el que desarrollan los guajolotes domésticos locales. Bajo este esquema se produce el 50% de las 27,000 toneladas de carne de guajolote que produce México (SIAP-SAGARPA, 2007).

b) El sistema semitecnificado, que se practica de manera aislada en algunos estados de la república. Los criadores de guajolotes que lo realizan incorporan algunas técnicas para mejorar la producción de las parvadas de guajolotes, como lo son; crianza de líneas comerciales o de variedades seleccionadas para crecimiento rápido, utilización de alimento balanceado de origen comercial, utilización de vacunas para prevenir enfermedades, así como el encierro de las parvadas en cobertizos no muy apropiados. Bajo este sistema se produce solo el 10% aproximado de la carne de guajolote que se produce en México (Villamar y Guzmán, 2006).

c) El sistema más extendido, denominado “Tradicional” o “Rústico”, se lleva a cabo en casi en todo el territorio nacional tanto en zonas suburbanas de las ciudades, como en la población rural de todos los estados del país. Este sistema, se lleva a cabo en su mayoría con aves nativas, pocas veces seleccionadas pero notablemente rústicas y adaptadas a las condiciones de crianza. No se utiliza tecnología moderna, rara vez se aplican vacunas y/o desparasitantes y el alojamiento se lleva a cabo en los patios de las casas, semicobertizos, corrales, y en algunos casos los guajolotes pernoctan en los árboles cercanos a las casas. Este modelo de producción denominado también de bajos insumos, en Oaxaca y Yucatán mantiene

el pastoreo de las aves adultas como fuente principal de alimentación (hojas tiernas de pastos y herbáceas, bayas y frutos de árboles e insectos y larvas de insectos), acompañada de alimentos tradicionales entre los que figura principalmente el maíz (Santos-Ricalde et al., 2004; Bautista, 2006). El aporte en producción de carne a la oferta mexicana, es del orden del 40% de la producción nacional. Michoacán por su parte, ocupa el 12o lugar a nivel nacional en cuanto a población de guajolotes se refiere, con 47 123 aves explotadas en todas las regiones fisiográficas del estado, bajo un sistema de explotación mayoritariamente rústica (80%), y con una producción de 171 toneladas de carne de guajolote por año (SIAP-SAGARPA, 2007).

1.2.2. ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS.

La información sobre la descripción del sistema de producción de guajolote en México, es escasa y reciente (últimos diez años). En los pocos reportes que hay se señala la presencia mayoritaria de unidades de producción rústicas en algunas localidades de los estados de Puebla, Oaxaca, Quintana Roo, Veracruz, zona suburbana del D.F. (Xochimilco) y Texcoco, México (Mallia, 1998, 1999; Aquino, 2003; Vieyra et al. 2004; Losada et al, 2004; Santos-Ricalde et al., 2004; Hernández et al., 2005, 2006; Bautista, 2006). Algunos de estos estudios destacan la importancia económica de la crianza en unidades de producción de traspatio como medio de subsistencia y para el ahorro familiar, además de su consumo en ocasiones especiales en Veracruz y Puebla (Aquino, 2003; Estrada, 2006). Como una característica relevante se señala que la crianza del guajolote es realizada principalmente por las mujeres, quienes contribuyen de ésta forma a la economía familiar (Santos-Ricalde et al., 2004; Vieyra et al. 2004; Bautista, 2006). Todos estos trabajos demuestran la presencia del guajolote al menos en el altiplano y el sureste mexicano. En Michoacán, los reportes que se tienen al respecto, señalan que la crianza del guajolote de traspatio se lleva a cabo en la zona centro-noreste del estado, bajo un sistema de explotación rústico en el 78% de las unidades de producción y bajo un sistema de explotación tecnificado en el 12% (INEGI, 2004).

1.3. CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA

Pocos son los estudios que se han realizado para describir morfométricamente a los guajolotes que se crían en el sistema de traspatio y hasta la fecha no se ha seguido una metodología homogénea. Se conocen algunos datos sobre peso corporal en kg de machos y hembras adultos; de 6.75 a 9.00 kg machos y 5.40 a 7.20 kg en hembras en Oaxaca y Quintana Roo, 8.90 kg machos y 2.00 a 3.00 kg hembras en Puebla, y 12.00 kg machos y 10.00 kg hembras en Xochimilco, (Mallia, 1998; Hernández et al., 2005; Losada et al., 2006). Otra característica morfométrica se refiere a la descripción del color del plumaje de guajolotes de Oaxaca y Quintana Roo, citando al color negro como predominante, algunos blancos y las combinaciones entre estos dos, además del color café o Buffy (Mallia, 1998). Con excepción del trabajo de Mallia (1998), no existe otro reporte que registre la existencia variedades en base al color del plumaje, como se tiene registradas en EUA para los guajolotes domésticos. Finalmente, se han realizado algunas mediciones corporales, que consideran la envergadura de las alas y lo largo del cuerpo, sin embargo, es en este tipo de mediciones donde existe más heterogeneidad en la metodología empleada, por lo que es difícil hacer comparaciones (Hernández et al., 2005).

1.4. ESTUDIOS MOLECULARES DEL GENOMA DEL GUAJOLOTE MEXICANO

El análisis molecular del genoma del guajolote (*Meleagris gallopavo*) se inició a mediados de la década pasada y a tomado un gran impulso desde el comienzo de este siglo. Varios análisis se han realizado a través del uso de algunos marcadores moleculares desarrollados para la construcción del mapa genético del pollo (Levin et al., 1995; Liu et al., 1996; Reed et al., 1999; Reed et al., 2003). De esta forma, entre los primeros marcadores desarrollados se encuentran las secuencias repetidas ó microsatélites (SSR) que se han empleado básicamente en el análisis de poblaciones de guajolote silvestre de localidades de EUA, revisándose aspectos tales como el impacto por reintroducción, evaluación de polimorfismo dentro y entre poblaciones (Smith et al., 1996), especiación (Szalanski et al., 2000), distancia y flujo genético dentro y entre poblaciones (Mock et al., 2002). Por otro lado, debido a la

importancia económica del género *Meleagris*, se han realizado investigaciones para la descripción y caracterización parcial de bancos genómicos de guajolote comercial enriquecidos con SSR, para desarrollar un mapa genético de utilidad pública (Huang et al., 1999). Actualmente, a nivel mundial la construcción del mapa genético del guajolote se está enfocando en el uso de mapas de ligación de polimorfismo de la longitud de fragmentos de restricción (RFLP) (Harry et al., 2003), mapas basados en SSR (Burt et al., 2003) y sitios de secuencia expresada (ESTs) (Dranchak et al., 2003; Smith et al., 2000).

Hasta ahora, la mayoría del trabajo para el desarrollo del mapa genético del guajolote doméstico (*M. gallopavo g.*) se ha realizado en el pavo de líneas comerciales, como el Big-6 Large White. Pocos son los trabajos que se han realizado en el guajolote mexicano doméstico (de traspatio) (Trigueros et al., 2003; Chassin et al., 2005) a pesar de su valor nutrimental y cultural, por ello la investigación de genética molecular de esta especie tiene amplias perspectivas, ya que posee un fondo genético con características adaptativas y de resistencia que se se pueden convertir en una fuente valiosa de genes para las poblaciones de guajolotes asociados a sistemas productivos altamente endogámicos que han perdido resistencia y otras características genéticas de interés pecuario.

1.4.1. ESTUDIOS GENETICOS EN POBLACIONES DE GUAJOLOTES

Los trabajos relacionados con la caracterización genética de poblaciones de guajolotes silvestres y domésticos han utilizado diversas fuentes de marcadores. En el caso de los marcadores dominantes de patrón múltiple, se ha demostrado que los marcadores tipo RAPD son aplicables para el trazo fácil de cromosomas sexuales, además de estar distribuidos en el genoma uniformemente y de que su polimorfismo se puede utilizar en análisis de secuencias de la regiones correspondientes de los genomas parentales, y cuando esto se realiza los RAPD se convierten en STS (Sitios etiquetados en la secuencia) (Dodgson et al., 1997). Se han utilizado marcadores RAPD para el desarrollo de los primeros estudios de diversidad genética en poblaciones de guajolotes de traspatio (*M. gallopavo g.*) de algunas localidades del Estado de Michoacán en México. El análisis preeliminar en 30 individuos, detectó un

alto nivel de locus polimórficos (58.3%) entre las poblaciones estudiadas. Por otro lado, un análisis en dos poblaciones de guajolotes de traspatio del estado de Michoacán, cuatro poblaciones de traspatio del Estado de Puebla y una de pavo comercial (Big-6 Large White) de Michoacán (65 individuos en total), detectó 18 *loci* de los cuales de acuerdo a la regla de 95% de Hart y Clark (1989), el 39% fueron monomórficos y el 61% fueron polimórficos. Los valores de diversidad genética más altos se obtuvieron para las poblaciones de traspatio de Michoacán (bajos valores de endogamia), siguieron a estos los valores intermedios de la población comercial, mientras que los más bajos y similares entre si fueron los de las poblaciones de traspatio de Puebla (altos valores de endogamia). Adicionalmente, mediante un análisis de distancia genética entre las poblaciones y la construcción del consenso de mayoría, se generó un fenograma que ubicó a las poblaciones de Puebla en una rama con un valor de "bootstrap" de 88%, una de las poblaciones de guajolotes de traspatio de Michoacán (Posta Veterinaria) mostró una alta diferenciación genética con respecto al resto de las poblaciones (100% valor bootstrap), mientras que la población comercial "Big-6 Large White" se agrupó estrechamente con la población de traspatio colectada en el municipio de Turicato, Michoacán. Los resultados de este trabajo mostraron que es posible diferenciar e inferir eventos históricos de las poblaciones en virtud de sus características genéticas con un análisis preeliminar, sin embargo, se consideró necesario incrementar el número de marcadores y utilizar marcadores tipo SSR, AFLP y RFLP (Chassin et al., 2005).

En el caso de la aplicación de marcadores codominantes e individuales, en poblaciones de guajolote silvestre, existe el reporte de un trabajo donde se analizó la variación de ADNmt intra e interespecífica de *M. gallopavo* en Nebraska (EUA), buscando definir un estatus de subespeciación de *M. gallopavo*. Basándose en la variación de la secuencia de la región control del ADNmt de 25 individuos de 4 subpoblaciones (*M. g. silvestris*, *M. g. intermedia*, *M. g. merriami* y *M. g. gallopavo*) se encontraron 16 sitios polimórficos. Se usó PCR-RFLP en 118 individuos de las cuatro subpoblaciones y los resultados revelaron 13 haplotipos diferentes. Con estos resultados, se concluyó que no existe diferencia significativa para que los guajolotes de estas subpoblaciones tengan estatus de subespecie y que la elevada similitud

entre guajolotes silvestres y domésticos basada en la secuenciación de ADNmt y PCR-RFLP que se encontró, pone en duda que estas aves difieran considerablemente. En este trabajo se predice sólo un 0.0008% de divergencia en la secuencias durante el tiempo transcurrido a partir de la domesticación de esta ave (Szalanski et al., 2000). En un estudio con otro tipo de marcadores, Latch et al. (2000) utilizaron SSR para detallar los niveles de polimorfismo y heterocigocidad en 7 *loci* de SSR en el guajolote silvestre del Este de EUA (*M.g. silvestris*), y su amplificación con niveles de polimorfismo en el guajolote doméstico (*M. gallopavo*). El número de alelos por locus promedio fue desde 5 a 15 para el guajolote silvestre, mientras que en el guajolote doméstico mostró un número reducido de polimorfismo por locus y un bajo nivel de heterocigosis que indica baja variabilidad genética en la población del guajolote doméstico analizado.

Por otro lado, Mock et al. (2002) reportaron el uso de SSR, secuenciación de la región control de ADN mitocondrial (RC de ADNm) y AFLP para analizar el genoma del guajolote silvestre. Este grupo de investigación comparó 2 poblaciones de *M. g. merriami* y 3 poblaciones de *M. g. mexicana* con la intención de averiguar si en Arizona (montañas Huachuca) se había producido una mezcla entre dos poblaciones de guajolotes. En 1950 introdujeron guajolotes *M. g. merriami* (Merriam) en una zona originalmente poblada con *M. g. mexicana* (Gould) mediante un programa de reintroducción de la población original, y posteriormente se cazó y eliminó de las montañas Huachuca a *M. g. merriami*. Para 1983 reintrodujeron a *M. g. mexicana* (procedentes de México), pero se creyó que *M. g. merriami* no fue totalmente extirpada antes de la llegada de los pobladores originales, y que la población hasta ese momento era una mezcla de estas dos subespecies. Se planteó buscar diferencias genéticas entre poblaciones relicto de *M. g. merriami* y *M. g. mexicana*, determinar afinidades genéticas de poblaciones silvestres y evaluar la diversidad genética de guajolotes silvestres de las montañas Huachuca. Para ello se secuenciaron 453 pb de la región control del ADNmt de 89 individuos de ambas subespecies más la población en duda, encontrándose 10 nucleótidos variables y 9 mitotipos. Se encontró además, que las secuencias de los individuos de las montañas Huachuca eran idénticas a las de los individuos Gould de México. Dos

mitotipos de individuos de dichas montañas difirieron sólo por una transición, lo que separa claramente a los guajolotes Merriam de los Gould y sugieren que todos los haplotipos de las montañas Huachuca derivan del mitotipo Gould. Con AFLP estos investigadores reportaron 75 *loci* polimórficos que muestran una clara separación entre poblaciones Merriam y Gould, donde la población de Huachuca no difiere significativamente de Gould pero si de Merriam. Con microsatélites se encontró que en la población de Huachuca un individuo comparte sólo un alelo con Gould y 3 comparado con Merriam, 8 alelos de Merriam están ausentes en Gould y ninguno se encuentra en Huachuca, 6 de estos están en Gould y ausentes en Merriam, 3 de ellos establecidos en Huachuca. Con estos argumentos concluyeron que las poblaciones de Merriam y Gould difieren genéticamente y que no existe cruce de ellas en las de Huachuca.

En un trabajo posterior, Mock et al 2004 abordó el análisis de variaciones genéticas entre subespecies de guajolotes silvestres a través de AFLP, SSR y análisis de la región control de ADN mitocondrial. Colectaron muestras a partir de 24 poblaciones que comprendían representantes de las 6 subespecies de guajolote incluyendo a *M. ocellata*, tomadas de acuerdo al historial de su distribución geográfica: del Este de EUA, de Florida (EUA), de Río Grande (incluyó una del Estado de Nuevo León, México), Merriam y Gould (estas poblaciones fueron colectadas en los Estados de Sonora y Chihuahua). Se secuenció la región control del ADNmt (de 438 pb) encontrando 42 mitotipos con 31 sitios polimórficos; con SSR encontraron 5 *loci*, con un número de alelos detectados por locus altamente variable, y por lo tanto frecuencias genotípicas significativamente diferentes, y con AFLP se obtuvo 83 *loci* polimórficos. A partir de los resultados de este trabajo se demostró que 5 subespecies corresponden con la designación basada en características morfológicas y que las subespecies del Este de EUA (*M.g. silvestris*) y Florida (*M. g. osceola*), son diferentes y forman unidades individuales. Los patrones genéticos son consistentes con los patrones históricos y actuales de su continuidad en el hábitat. Las poblaciones de Merriam's mostraron una asociación positiva entre distancia genética y geográfica; las poblaciones del Río Grande mostraron una asociación pico y las poblaciones del Este de EUA no mostraron asociación, sugiriendo diferencias

demográficas. Este grupo de investigación recomienda reconocer la importancia de mantener estructuras de poblaciones regionales que puedan reflejarse en variaciones adaptativas.

HIPOTESIS

- El sistema productivo con el que se cría el guajolote doméstico de traspatio (*Meleagris gallopavo gallopavo*) es mayoritariamente rústico.
- No existe diferenciación morfométrica entre las poblaciones de guajolotes de traspatio que se crían en las cinco regiones fisiográficas de Michoacán.
- El guajolote doméstico de traspatio que se cría en Michoacán mantiene un fondo genético similar entre regiones y diferente al silvestre.
- El comportamiento productivo del guajolote de traspatio es satisfactorio cuando se cría bajo condiciones de confinamiento total.

JUSTIFICACIÓN

Desde su domesticación a la fecha, el guajolote ha estado presente entre los mexicanos, su explotación se lleva a cabo en muchas regiones del país, aunque tradicionalmente su explotación se realiza de una forma no muy tecnificada y su sistema de crianza se basa fundamentalmente en la crianza de traspatio, sin embargo, no por ello deja de tener importancia para el aporte de proteína de origen animal para las familias que crían, al aprovechar de éste su carne.

A pesar de que el guajolote ha acompañado a los mexicanos desde su domesticación, esta especie ha sido poco estudiada desde el punto de vista genético, si bien hay estudios de genética molecular en poblaciones de guajolotes, estas se han realizado en su mayoría en guajolotes silvestres y en pavos de líneas comerciales, esto último en Estados Unidos de Norteamérica. En México, poco se conoce sobre el fondo genético del guajolote mexicano, sea este domestico nativo o silvestre; de tal modo que estudios como el presente, a través de la búsqueda de marcadores moleculares se puede contribuir a la construcción de una biblioteca inicial del genoma de los guajolotes domésticos y silvestres de México, y posteriormente relacionar estos marcadores genéticos moleculares con algunos rasgos de interés zootécnico-económico para esta especie tales como velocidad de crecimiento, deposición de masa muscular, adaptabilidad a diferentes regiones climatológicas, resistencia a enfermedades, etc. Además, con la utilización de la herramienta de microsatélites se podrán aportar nuevos loci para contribuir a la construcción del mapa genético de pavos domésticos y pavos silvestres.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Caracterización del sistema de producción, morfométrica y genética de guajolote de traspatio que se cría en las cinco regiones fisiográficas de Michoacán.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Caracterización productiva del sistema de producción de guajolote de traspatio que se desarrolla en las cinco regiones fisiográficas de Michoacán
2. Caracterización morfométrica de los guajolotes de traspatio que se crían en las cinco regiones fisiográficas del estado de Michoacan
3. Determinar la estructura genética de las poblaciones de guajolote de traspatio que se cría en Michoacán (diversidad genética, equilibrio de Hardy-Weinberg y distancia vg genética entre las poblaciones).
4. Establecimiento de las bases para identificar los loci polimórficos para relacionarlos con características productivas y adaptativas (QTL's) de las subespecies de pavos estudiados.

RESULTADOS

CAPÍTULO I

ARTÍCULO 1

La caracterización del sistema productivo, morfometría, aspectos socioeconómicos y sanitarios de las poblaciones analizadas en las cinco regiones fisiográficas de Michoacán, se reportan en este documento aceptado para publicación en la revista internacional indizada *Livestock Research for Rural Development*.

Características morfológicas y de producción de guajolotes (*Meleagris gallopavo*) criados en sistema de traspatio en el Estado de Michoacán, México

R López-Zavala, H Cano-Camacho, C T Monterrubio-Rico*, O Chassin-Noria*, U Aguilera-Reyes** y M G Zavala-Páramo

Centro Multidisciplinario de Estudios en Biotecnología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
rigoberto62@hotmail.com hcano1gz1@mac.com gzavalap@zeus.umich.mx

*Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
tmonter2002@yahoo.com.mx chassin@oikos.unam.mx

**Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México
ulare@hotmail.com

Resumen

Se estudiaron las condiciones actuales de crianza del guajolote de traspatio en el estado de Michoacán. Para ello, se realizó un muestreo estratificado mediante la colecta de información en las cinco regiones fisiográficas. Cada una de estas regiones presenta condiciones climáticas y socioeconómicas distintas. Se obtuvo información en aspectos poblacionales, morfométricos, socioeconómicos y sanitarios de las unidades de producción de guajolote de traspatio. El intervalo del tamaño de parvada mostró diferencias entre regiones, y se reportó reproducción a lo largo de todo el año en todas las regiones. Se registraron los colores de plumaje considerados como genéticamente básicos; negro, blanco, café y gris, además de sus combinaciones. En las poblaciones de la región de la Costa se observaron diferencias en algunas variables morfométricas con respecto al resto de las regiones. Las condiciones de manejo son predominantemente rústicas; solo 13% cuentan con un cobertizo para alojamiento. Los guajolotes son criados como tradición familiar y generalmente por las mujeres, para autoconsumo, venta y celebraciones; la comercialización se hace principalmente en las mismas comunidades. En general se utiliza alimento balanceado en la primera etapa de crecimiento de los pavipollos. Por el contrario, el ingrediente más utilizado en la dieta de juveniles y adultos es el maíz entero, crudo, o nixtamalizado, combinado con el forrajeo a la salida de las aves a áreas abiertas como huertas, potreros, predios o traspatios. En las regiones frías a templadas se tiene una alta incidencia de enfermedades de tipo respiratorio, mientras que en las regiones calientes y secas se reporta una alta incidencia de diarreas y viruela. Solo el 22% de las unidades de producción utiliza vacunas, y se observó un grupo de aves reportadas como resistentes a la viruela, ya que no enfermaron a pesar de no haber sido vacunadas.

Palabras clave: guajolote de traspatio, *Meleagris gallopavo*, regiones fisiográficas, unidades de producción de traspatio.

Morphologic and productive characteristics of guajolote (*Meleagris gallopavo*) raised in backyard systems in Michoacán, México

Abstract

The actual conditions of the breeding of backyard turkey were studied in the Michoacán state, México. For this, a sampling stratified was made by collects of information in the five physiographic regions. Each one of these regions presents different climatic and socioeconomic conditions. Information of populations, morphometric, and socioeconomic and sanitary aspects of the production units were obtained. The range of flock size was variable between regions; hatching of chicks happens in all seasons of year in all regions. Were registered the genetic solid colors of feathers of the adult birds as black, white, light brown (or red) and gray in addition to its combinations. We found some morphometric differences in the birds raised in the Costa region when compared with the rest of regions. The birds are raised in production units mainly rustic; only 13% of the facilities have sheds for lodging. The breeding of backyard turkey comes from familiar tradition and is made mainly for the women to provide meat for family festivities and some money income; is commercialized mainly in the same communities where they are produced. Generally commercial diet is used to feed the turkey poults and crude grain or boiled of maize (nixtamal) is used to feed gobblers and adult birds, combined with free foraging (eating tender leaves and/or insects) or go out to the culture field (milpa), orchards or backyards. Only 22% of the production units use vaccines. In temperate and cold regions, a high incidence of respiratory diseases was reported. High incidence of diarrhea, smallpox and newcastle were reported from warm and dry regions. We observed a group of birds that were reported immune to a smallpox outbreak, even though they weren't vaccinated.

Key words: backyard turkey, *Meleagris gallopavo*, physiographic regions, backyard production units.

Introducción

La explotación del guajolote doméstico (*Meleagris gallopavo gallopavo*) en México es una actividad que se desarrolla en las comunidades suburbanas y rurales de todo el territorio nacional (Mallia 1998 1999; Aquino et al 2003; Hernández et al 2005; Losada et al 2006). Se estima que la domesticación de esta ave se realizó en México entre los años 200 y 700 AC (Crawford, 1992). La presencia del guajolote se documentó en los reportes de las expediciones hechas por los conquistadores desde 1517, en lo que hoy constituye Yucatán, Campeche, Veracruz y Valle de México (Schorger 1966). El conocimiento que se ha adquirido acerca de la crianza del guajolote, ha permitido mantener vigente la actividad productiva en los traspatios, garantizando un medio para la obtención de múltiples productos como el huevo, la carne y las plumas, además de ser un recurso de subsistencia al obtener beneficios económicos cuando se ofertan sus productos en los mercados locales.

Michoacán ocupa el 14o lugar en el país en cuanto al tamaño de la producción en pie, con una explotación del 89% bajo condiciones rústicas o de traspatio (INEGI 2004). La permanencia de estas aves en las rancherías o áreas suburbanas del país parece deberse principalmente a su rusticidad y resistencia, lo cual les ha permitido adaptarse a condiciones de manejo rural y

bajo prácticamente todas las condiciones ecológicas (climas extremos, condiciones sanitarias inadecuadas y alimentación con bajo valor nutrimental) (Mallia 1998; Losada et al 2006). Estos diferentes ambientes de crianza no permiten el desarrollo de guajolotes de líneas comerciales altamente seleccionados, los cuales presentan una plasticidad fenotípica limitada debido a los elevados valores de endogamia que demandan prácticas de manejo como inseminación artificial, incubación artificial, y por su corpulencia tienen problemas podales y articulares (Sponenberg et al 2005). En este trabajo se planteó el objetivo de realizar la caracterización de las explotaciones del guajolote de traspatio en las cinco regiones fisiográficas del Estado de Michoacán, México, con respecto a sus características poblacionales, morfométricas, socioeconómicas y sanitarias, con el fin de identificar los problemas que enfrentan los criadores de la población rural del estado.

Materiales y métodos

Muestreo de campo

El estudio se realizó mediante un trabajo de campo que incluyó el levantamiento de encuestas y el registro de datos morfométricos de ejemplares de las cinco regiones fisiográficas establecidas para el Estado de Michoacán, México (Madrigal 1997; INEGI 2004). Las regiones fisiográficas, sus características climáticas y el número de sitios y encuesta se muestran en la Tabla 1. Se realizó un muestreo estratificado simple cuyos estratos fueron las regiones fisiográficas. Los sitios de las encuestas se seleccionaron al azar en cada región fisiográfica; se asignaron de 15 a 20 sitios por región o estrato, recorriendo cada sitio por carreteras y caminos secundarios, y sin importar la localidad, las unidades de encuesta fueron las casas o predios donde se visualizó la presencia de guajolotes en los traspacios o en predios aledaños a las casas. En la Figura 1 se muestra la delimitación de las regiones fisiográficas, así como la ubicación y dispersión de los sitios de encuesta dentro de cada región. El mapa se elaboró con el software Arc-view 3.2. Para fines de este estudio, cada predio o casa donde se dedicaran a la crianza del guajolote fueron considerados como “Unidades de Producción de Traspatio” o UPT_r y se levantó una encuesta por cada una de ellas.

Variables y análisis estadístico

Para las encuestas, el cuestionario utilizado se construyó de acuerdo a lo recomendado por Sherf (1997), por lo que se incluyeron los siguientes datos:

- a) Poblacionales, que incluyeron el tamaño de parvada, el número de aves adultas (consideradas a partir de los 10 meses de edad en adelante), el número de aves juveniles (a partir de los 4 meses y hasta los 9 meses), y pavipollos (desde el nacimiento hasta los 3 meses).
- b) Morfométricos, que incluyeron la descripción de cabeza, cuello y color de patas, peso de los ejemplares adultos de ambos sexos con báscula mecánica de reloj con error de ± 5 gr (Revuelta ^{MR}), medidas de envergadura en cm con cinta métrica convencional de acuerdo a James, (1970), largo de cuerpo en cm con cinta métrica convencional de acuerdo a Estrada (2006), y color del plumaje, por comparación con el esquema de colores elaborado en base a la clasificación de las variedades por la Asociación Americana de Aves de Corral reportado por Russell, y a la descripción de colores genéticamente básicos reportados por Sponenberg (citados en Christman y Hawes 1999).

c) Socioeconómicos, incluyendo el motivo de la crianza de los guajolotes, quien es el responsable de la UPTr, las prácticas culturales para la crianza y datos sobre la comercialización de los guajolotes.

d) Sanitarios, que incluyeron la información sobre la utilización de vacunas y/o desparasitantes, así como la presentación de enfermedades (viruela y newcastle) o síndromes (respiratorios, diarreicos y nerviosos).

Con esta información se elaboró una base de datos que se compiló y analizó en forma descriptiva. Algunas de las variables numéricas fueron sometidas a un análisis de varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis con SAS ver 8.1, y donde se encontró diferencia estadística significativa se realizaron análisis postANOVA de comparación de medias de Dunn.

Tabla 1. Características de las Regiones fisiográficas* del estado de Michoacán y encuestas levantadas en cada región.	
REGION FISIOGRAFICA	Número de encuestas levantadas
I. Bajío o depresión del Lerma	17
<i>Localización:</i> Al norte del estado, colinda con Guanajuato al norte y Jalisco al oeste, al sur con el Eje Neovolcánico	
<i>Altitud:</i> desde 1200 a 2000 msnm, con elevaciones de origen ígneo, con valles de sedimentos y aluviones	
<i>Clima:</i> Fríos a templados	
<i>Vegetación:</i> Matorral bajo subespinoso, pastizales,mezquital, bosque pino-encino, bosque de pino	
II. Eje Neovolcánico	20
<i>Localización:</i> Atraviesa el estado de este a oeste al sur de la región Bajío, al norte de la Depresión del Balsas	
<i>Altitud:</i> Aproximadas de 2000 a 3000 msnm, suelos de origen volcánico	
<i>Clima:</i> Climas templados	
<i>Vegetación:</i> Matorral subtropical de transición, bosque de encino, pino-encino, pino, oyamel y mesófilo de montaña	
III. Depresión del Balsas o tierra caliente	16
<i>Localización:</i> al norte de la Sierra Madre del sur y al sur del Eje Neovolcánico	
<i>Altitud:</i> media de 500 msnm pero existen zonas de 200 msnm conformada por rocas ígneas y metamórficas	
<i>Clima:</i> Cálidos secos y subhúmedos	
<i>Vegetación:</i> Mezquitales, bosque de encino, selva baja caducifolia, mediana subcaducifolia, palmar	
IV. Sierra madre del sur	17
<i>Localización:</i> Al sur de la región Balsas, al norte de la Costa, formada por elevaciones próximas a la costa del Oceano Pacífico	
<i>Altitud:</i> Desde nivel de mar hasta los 2000 msnm, con elevaciones de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas	
<i>Clima:</i> Cálidos semiseco y subtropical	
<i>Vegetación:</i> Mezquital, bosque de encino, pino-encino, cedro, oyamel y mesófilo de montaña, selva baja caducifolia y subcaducifolia	
V. Costa	18
<i>Localización:</i> Al sur del estado, colinda al sur con el oceano Pacífico y al norte con la región de la Sierra madre del sur	
<i>Altitud:</i> Desde el nivel del mar hasta los 500 msnm, constituido por rocas metamórficas, sedimentarias, ígneas y materiales aluviales	
<i>Clima:</i> Subtropical	
<i>Vegetación:</i> Pastizales, selva baja caducifolia, selva mediana subcaducifolia, palmar, manglar y de dunas costeras	

*Propuesto por Madrigal 1997.

Resultados y discusión

Características de las poblaciones

La conformación de las parvadas de guajolotes de las UPT_r se cita en la Tabla 2. En general, el rango en el tamaño de parvada fue mayor en la región del Bajío, intermedio para las regiones Sierra y Costa, y el más bajo para las regiones Eje Neovolcánico y Balsas. Las encuestas se aplicaron desde agosto de 2004 hasta agosto del 2005, y como se puede observar, hubo presencia de pavipollos en todas las regiones, lo cual sugiere que hay nacimientos en todas las estaciones del año en todas las regiones, ocurriendo en mayor número entre primavera-verano, fundamentalmente en las regiones Sierra y Costa. La región donde se encontraron más pavipollos fue el Eje Neovolcánico, lo cual como se describe más adelante parece estar relacionado con dos factores; la utilización de vacunas y la alimentación de los pavipollos con alimento balanceado, que mejora la tasa de sobrevivencia de las crías durante etapas tempranas de crecimiento. La presencia de juveniles en mayor proporción en la región del Bajío, indica que los nacimientos ocurrieron durante primavera y verano, y que también la utilización de vacunas favoreció la sobrevivencia y crecimiento de los pavipollos. En el mismo sentido, la ausencia de juveniles en la región del Balsas, podría deberse a la ausencia de vacunación y por ello a la presencia de enfermedades como la viruela, que merma las parvadas de pavipollos reflejándose esto en el tamaño de las parvadas.

Tabla 2. Conformación de las parvadas por región fisiográfica en las unidades de producción de guajolote de traspatio en Michoacán, México.

Parámetro/Región	Regiones fisiográficas				
	Bajío	Eje Neo	Balsas	Sierra	Costa
Estación de encuesta	Otoño 2004	Otoño 2004	Inv-Prim 2005	Verano 2005	Verano 2004
Machos adultos	29	54	27	30	25
Hembras adultas	55	66	49	71	73
Juveniles	91	29	0	12	24
Pavipollos	24	136	33	55	81
Aves totales encuestadas	199	285	109	168	203
Tamaño promedio de parvada en UPT _r	14.8b	11.0b	7.22a	12.0b	11.29b
Rango de parvadas	3 a 57	3 a 22	3 a 22	2 a 49	2 a 45

Literales diferentes en columnas indican diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$).

Apariencia y morfometría del guajolote de traspatio Michoacano

Color del plumaje. Las proporciones de los colores genéticamente básicos y sus combinaciones fueron consistentemente similares en todas las regiones fisiográficas del estado (valores no mostrados). El color negro se encontró en el 35 y 38% de las aves, con y sin tonos tornasoles y verdes, y con y sin las rayas blancas características en las plumas inferiores de las alas (Christman y Hawes 1999). Esta mayor proporción de ejemplares negros fue similar a la referencia de la literatura para otras dos localidades, una en Oaxaca y otra en Quintana Roo, México (Mallia 1999), sin embargo, contrastó con los reportes para EUA, donde hasta 1999 la población de guajolotes con este color se encontraba en situación crítica con aproximadamente 100-160 hembras (Christman y Hawes 1999), y al menos para las cinco regiones de Michoacán, los ejemplares negros son los más abundantes. El color blanco sólido o puro, se encontró en una proporción baja (5 a 7%), pero también se encontró en combinación con el negro en la mayoría de los casos y con el café de manera esporádica, en una proporción (de ambas combinaciones) ligeramente más alta (8%) que el blanco puro. Existen reportes de que los Aztecas y otras culturas prehispánicas criaban parvadas de guajolote blanco (Christman y Hawes 1999), por lo que su presencia en las poblaciones de guajolote de traspatio de Michoacán y de otras localidades de México parece ser histórica. El color café se encontró en aves de todas las regiones fisiográficas en una proporción similar (6 a 7%), aunque su presencia fue más notoria en la región Sierra. El color gris fue el menos encontrado, con proporciones similares en poblaciones de todas las regiones fisiográficas (2 a 3%). Anteriormente los ejemplares de color café se han reportado en otra localidad de Oaxaca México (Mallia 1999), y en extinción en poblaciones de EUA (< 100 hembras), y los de color gris como críticamente raros (60-100 hembras) también en EUA (Christman y Hawes 1999), por lo cual estos individuos constituyen un hallazgo importante para ser considerados en programas de conservación. Hasta ahora, las variedades Michoacanas y en general de México no son reconocidas por no contar con un historial sobre su origen, sin embargo la presencia de colores de plumaje raros (café, gris) además de los básicos, sugiere variedades en las poblaciones de traspatio que se han mantenido por la escasa selección que se aplica a su crianza. Los colores de plumaje que se encontraron corresponden a cruza al azar entre los

individuos de cada parvada en las cinco regiones, de manera que se identificaron variedades que tienen base genética, que no provienen de programas de selección por cruza controladas, como es el caso de las poblaciones de guajolotes domésticos en EUA. Por otro lado, se encontraron otros patrones de coloración (no mostrados) en algunos individuos que probablemente se deban a variaciones del color de las variedades establecidas (Christman y Hawes 1999). Sin embargo, la tipificación genética será útil para su identificación y registro. En la Tabla 3 se enlistan los colores de plumaje encontrados y su correspondencia con las variedades descritas por la Asociación Americana de Aves de Corral de EUA (The American Poultry Association) (Christman y Hawes 1999).

Tabla 3 Variedades de guajolote michoacano asignadas por color del plumaje y apariencia	
Color descrito en Michoacán	Variedades de guajolote correspondiente de acuerdo a APA*
Negro sólido	Negro español
Negro-blanco	Narrangansett
Negro-blanco tornasol	Bronce o bronceado
Blanco-negro	Palma Real, Swetgrass
Café o rojo	Rojo de Borbon, Buffy o Chocolate
Gris	Plateado o Slate

*American Poultry Association citado por Christman y Hawes 1999

Cabeza y cuello. La cabeza presentó coloración roja con dos tonalidades alrededor de los ojos; se presentó con más frecuencia una tonalidad azulada, seguida por blanca, esta característica se encontró tanto en hembras como en machos independientemente del color del plumaje. La piel del cuello mostró una tonalidad de blanco a rosáceo que se tornaba roja cuando las aves eran manejadas o manipuladas. Las carúnculas se presentaron tanto en machos como en hembras siendo más grandes y prominentes en los machos. Los machos presentaron el apéndice carnoso eréctil en la parte superior de la cabeza denominado “moco de guajolote”, en ejemplares que superaban los 8 meses de edad. La presencia del apéndice piloso (escobilla o escobillón) naciente en la región media del pecho también se encontró solamente en los machos adultos, esta característica es utilizada por los criadores como indicador de la edad para su comercialización o consumo.

Patatas. Se encontraron ejemplares con patas de color negro, blanco y rosado, pero también se encontraron algunas tonalidades intermedias como gris y puntilleo negro en base blanca. El color del plumaje negro y negro-blanco se relacionó con la tonalidad negra de las patas, mientras que los colores blanco y rosado de patas se relacionaron con los colores de plumaje blanco, el café o el gris.

Tamaño y peso. Las características morfológicas más importantes de los ejemplares adultos (de 10 a 18 meses de edad) se muestran en las Tablas 4 y 5, donde se observa que el largo de cuerpo promedio fue similar para cuatro de las regiones ($P>0.05$), mientras que en la Costa fue menor tanto en hembras como en machos ($P<0.05$). Se observa además, que las poblaciones adultas de las regiones Bajío, Eje Neovolcánico y Balsas presentaron mayor envergadura que las de las regiones Sierra y Costa. Sin embargo, para las poblaciones de la región Sierra, la envergadura no fue proporcional con los pesos registrados, ya que estas aves presentaron un peso promedio bajo, similar a las de la Costa, pero fueron tan largas de cuerpo como las del

Bajío, Eje Neovolcánico y Balsas, sugiriendo una conformación ósea similar a la de los guajolotes de estas regiones, pero con menor peso. En contraste con lo anterior, las aves adultas de la Costa tuvieron un peso promedio bajo proporcional con un tamaño (largo y envergadura) menor que el de las aves del Bajío, Eje Neovolcánico y Sierra, sugiriendo una estructura ósea más pequeña que marca una diferencia morfométrica de estas poblaciones con las de las otras cuatro regiones. Este patrón es similar al conocido bajo la regla ecológica de Bergman citada por Futuyma (2005), que indica que los mamíferos y las aves tienden a variar su tamaño en diferentes latitudes, y apoya la hipótesis de que la variación en el tamaño de las aves esta relacionada con los efectos combinados de la humedad, la temperatura y la altitud (James 1970). Sin embargo, otra explicación potencial es que las poblaciones de la región Costa tengan un nivel de aislamiento que las haya diferenciado de las otras por un posible efecto de fundador.

Tabla 4. Características morfométricas de las hembras adultas de guajolote de traspatio de las cinco regiones fisiográficas de Michoacán, México

Parámetro	Regiones fisiográficas				
	Bajío	Eje Neo	Balsas	Sierra	Costa
<i>Peso (Kg)</i>					
Promedio	4.15b	4.82b	3.26a	2.97a	2.93a
Desv est	0.48	0.17	1.17	0.40	0.32
<i>Largo de cuerpo (Cm)</i>					
Promedio	82.45b	79.00b	82.78b	82.75b	71.67a
Desv est	7.17	0.03	4.86	8.11	3.76
<i>Envergadura (Cm)</i>					
Promedio	103.90b	103.20b	97.76b	86.5a	88.16a
Desv est	6.10	7.70	14.02	8.80	8.70

Literales diferentes en fila son estadísticamente significativas ($P < 0.05$)

Tabla 5. Características morfométricas de los machos adultos de guajolote de traspatio de las cinco regiones fisiográficas de Michoacán, México.

Parámetro	Regiones Fisiográficas				
	Bajío	Eje Neo	Balsas	Sierra	Costa
<i>Peso (Kg)</i>					
Promedio	7.86b	9.09b	7.40b	6.90a	7.10a
Desv est	0.89	2.17	1.47	0.92	0.18
<i>Largo de cuerpo (Cm)</i>					
Promedio	94.51b	94.13b	94.81b	95.95b	85.71a
Desv est	5.20	7.09	3.95	3.20	4.40
<i>Envergadura (Cm)</i>					
Promedio	113.50b	113.75b	110.33b	95.35a	93.14a
Desv est	9.89	6.95	12.21	3.40	4.20

Literales diferentes en fila son significativas ($P < 0.01$)

Aspectos socioeconómicos de la crianza del guajolote de traspatio michoacano

Motivo de la crianza de guajolotes. De manera similar para todas las regiones fisiográficas en Michoacán, los motivos que tienen los propietarios de las UPTr para la crianza del guajolote fueron los siguientes: Un 27 % de los encuestados contestó que por tradición familiar, 36 % realiza la actividad considerándolo como un medio de subsistencia, 32 % lo realiza para autoconsumo, mientras que el 6% de los encuestados cría los guajolotes por motivos religiosos (sacrificio en fiestas de santo patrón o pago de diezmo a iglesias).

El hallazgo de que el 36% de los encuestados críe guajolotes para subsistencia (venta y autoconsumo de carne), es similar con lo reportado para la región Mixe en Oaxaca, donde se crían guajolotes para autoconsumo, ahorro o subsistencia y para ser utilizados como objeto de trueque (Bautista, 2006). En algunos lugares de las regiones Sierra y Costa Michoacana la crianza del guajolote funciona como un refuerzo de vínculos familiares, ya que las aves adultas se sacrifican y cocinan para ser consumidas en festividades familiares importantes ó para las fiestas anuales de las comunidades. Todas las personas encuestadas reconocieron que la actividad de crianza de los guajolotes proviene ancestralmente o de costumbre de familia. La participación de la mujer en las labores de crianza y atención de los guajolotes fue muy superior a la de otros miembros de la familia; las UPTr son atendidas en un 77% por la madre de familia, un 13% por el padre de familia y solo un 10% por los hijos (Figura 2). La madre de familia se encarga no solamente de las labores de la crianza y cuidados de las parvadas de guajolotes, se encarga además de otras aves o animales que se encuentran en el traspatio, como cerdos, cabras o bovinos.

Lo anterior es similar a lo reportado para unidades de producción en la zona suburbana del sur del Distrito Federal, México (Losada et al 2006) y para unidades de producción en Texcoco, Estado de México (Vieyra et al 2004), quienes citan que las mujeres son pieza clave en el desarrollo y preservación de los traspacios ya que al incorporar sus conocimientos y habilidades, permiten su integración en las actividades de producción de alimentos como parte de un estilo de vida. Por otro lado, la venta de las aves que se producen en los traspacios representa un ingreso económico extraordinario para la familia, la mujer lleva también el trabajo de administradora de los bienes familiares (Vieyra et al 2004).

Prácticas culturales en la crianza del guajolote de traspatio. El alojamiento de las aves en gallineros o corrales se realiza principalmente (13%) en cobertizos con y sin piso de concreto y percheros, que se localizaron básicamente en las regiones Bajío y Eje Neovolcánico. En el resto de las UPTr las aves pernoctan en árboles o “palos”, encontrándose estas distribuidas en todas las regiones fisiográficas. Previamente se ha reportado una práctica de alojamiento en la casa o en el jardín parecida en la región Mixe en Oaxaca (Bautista 2006).

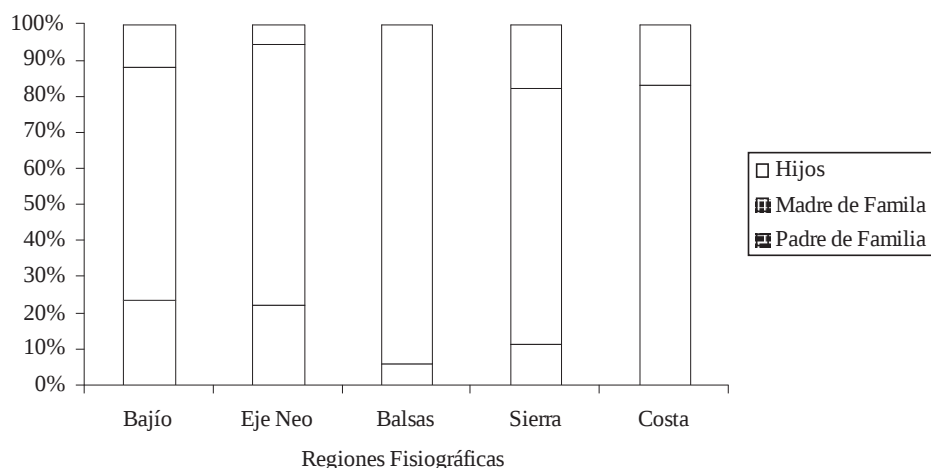


Figura 2. Porcentaje de responsabilidad de la familia en la crianza de los guajolotes en las Unidades de Producción de Traspatio en las diferentes regiones fisiográficas de Michoacán.

Alimentación. La alimentación de las aves es un punto muy importante a considerar. Se encontró que para garantizar un crecimiento normal hasta los dos meses de edad, en el 74% de las UPTTr de Michoacán, los criadores utilizan alimento balanceado para pollo de origen comercial. Por otro lado, la utilización de alimento balanceado para las aves adultas solo se lleva a cabo en el 7% de las UPTTr, ubicándose estas en las regiones Bajío y Eje Neovolcánico, mientras que en el 93% restante se alimenta parcialmente a las aves con diferentes ingredientes que se citan en la Figura 3. El grano de maíz crudo o nixtamalizado es el alimento tradicional utilizado para alimentar a los guajolotes desde juveniles hasta adultos; los otros ingredientes se administran solos o algunas veces combinados, cultivados en la misma UPTTr, o son producto de los cultivos presentes en la región, como pueden ser los frutales (guayaba, mango o toronja), el sorgo o mijo y el arroz. Las tortillas elaboradas con harina de maíz también figuran en los ingredientes utilizados. La práctica de alimentación de los guajolotes se lleva a cabo una sola vez al día y se realiza cuando los guajolotes regresan del traspatio, de los pastizales o de los huertos donde estuvieron alimentándose con hojas tiernas, semillas, frutos o insectos en un sistema de pastoreo. La suplementación vitamínica y/o mineral no se lleva a cabo en las aves adultas en el 93% de las UPTTr, salvo en aquellas donde se alimentan a las aves con alimento balanceado.

Una comparación de la base alimenticia de las UPTTr de Michoacán mostró pocas diferencias con las que se desarrollan en Oaxaca y Yucatán, donde se practica la utilización de granos, especialmente maíz y sorgo en la alimentación de adultos (Santos-Ricalde et al 2004; Bautista 2006). Por otro lado, es probable que en el sistema de traspatio de Michoacán y en el de Oaxaca (Mallia 1998; Bautista 2006), un aporte importante de proteína provenga del pastoreo de pastos y hojas tiernas de herbáceas y del consumo de insectos y sus larvas, un aspecto importante que se debe comprobar en estudios futuros. El resto de los ingredientes con que se alimentan los guajolotes en las diferentes regiones de Michoacán, depende de la época de colecta de frutos con que cuenta cada región fisiográfica. En contraste con lo anterior, en Xochimilco además de la utilización de granos se suministra alfalfa verde en el 100% de las

UPTr y cebada en el 70%, como parte de un sistema productivo de semiconfinamiento que garantiza un mejor aporte proteico para las aves (Losada et al 2006).

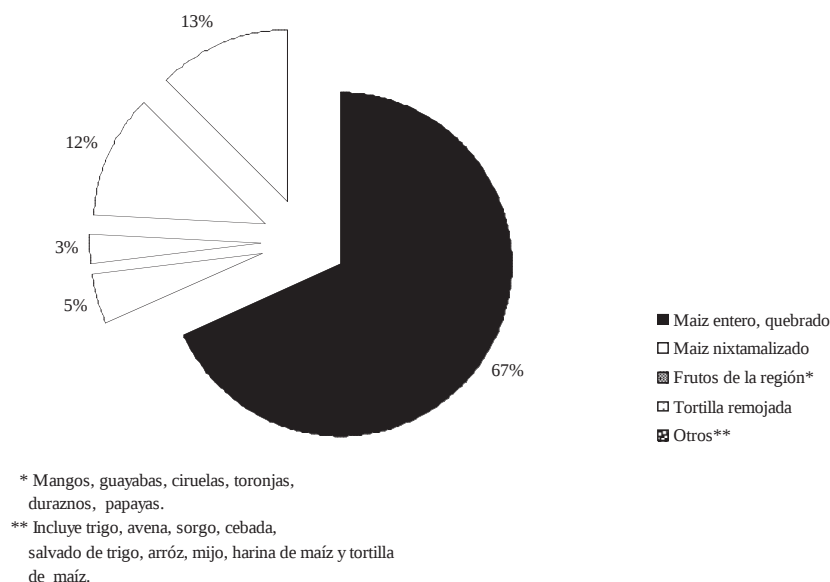


Figura 3. Ingredientes utilizados para alimentar a los guajolotes adultos en las Unidades de Producción de Traspatio de las cinco regiones fisiográficas de Michoacán

Comercialización de los guajolotes. El precio de venta del guajolote macho adulto comercializado se cita en la Tabla 6. El precio por individuo más elevado se encontró en la región Balsas, posiblemente debido a que las parvadas son pequeñas y por ello la oferta es baja, comparada con la que se presenta en las regiones Bajío y Eje Neovolcánico, donde el precio es más bajo debido a que las parvadas son más grandes y por ello hay mayor oferta de aves para los mercados locales. El precio de venta de los machos supero 1.7 veces el valor del de las hembras. Esta diferencia se explica por la superioridad de peso corporal alcanzada por los machos cuando son adultos. Sin embargo, al calcular el precio por kg de guajolote en pie, (peso del macho o hembra/precio de venta), el precio de las hembras resultó ser más elevado; \$37.41 pesos mexicanos por kg en pie, mientras que el kg en pie de macho fue de \$ 30.97 pesos mexicanos (US \$ 3.34 y 2.76 por kg para hembra y macho respectivamente). La razón de esta diferencia estriba en que el precio de venta se fija por ave adulta y no por kg producido, y la comercialización se realiza en forma directa al interior de las comunidades encuestadas en las cinco las regiones fisiográficas, ya sea en la misma UPTr, o llevándolos a comercializar al tianguis o mercado del poblado más cercano. Los criadores aseguran que la demanda del guajolote es alta en todas las regiones y no se alcanzan a producir suficientes aves adultas para satisfacer dicha demanda en algunas épocas del año, como lo son la temporada navideña y las festividades de fin de año, así como también en eventos sociales importantes donde el platillo fuerte lo constituye el tradicional Mole de guajolote. Los criadores mencionaron que la demanda de aves adultas es mayor que la oferta, esto provoca que la actividad funcione como un ahorro en especie, ya que la crianza se realiza mayoritariamente bajo un esquema de insumos mínimos. Este hecho no debe considerarse

como una buena cultura de crianza, lo que es importante es la rusticidad y el poder de adaptación que ha desarrollado los guajolotes para mantenerse en toda la geografía Michoacana.

Tabla 6. Precio por ejemplar en pie y precio por Kg en pie del guajolote macho adulto de traspatio en las cinco regiones fisiográficas de Michoacán, México.

	Regiones Fisiográficas				
	Bajío	Eje Neo	Balsas	Sierra	Costa
Precio de venta por ejemplar en pie*	\$200.00	\$220.00	\$275.00	\$250.00	\$200.00
US Dolares	\$17.80	\$19.59	\$24.87	\$22.26	\$17.80
Precio por Kg *	\$25.44	\$24.20	\$37.12	\$36.23	\$28.16
US Dolares	\$2.26	\$2.15	\$3.30	\$3.22	\$2.50

* \$ Pesos mexicanos en junio de 2007

Aspectos sanitarios

Utilización de vacunas y desparasitantes. La utilización de vacunas para prevenir algunas de las enfermedades más comunes de las aves resultó ser una práctica pobre, ya que solamente en el 22 % de las UPTr se realiza vacunación contra la viruela y newcastle, mientras que en el 78% restante no se realiza vacunación. En las regiones Bajío y Eje Neovolcánico, los criadores manejan un calendario de vacunación adecuado, aunado a un buen manejo de la vacuna. La utilización de desparasitantes es nula en todas las UPTr. La práctica nula o escasa de vacunación y desparasitación en la crianza de los guajolotes, es similar en otros estados como Oaxaca y Puebla (Bautista 2006; Hernández et al 2005). Debido a la utilización escasa de vacunas, la ocurrencia de enfermedades es frecuente.

Presencia de enfermedades o síndromes. En la Figura 4 se muestran los porcentajes de presencia de las enfermedades o síndromes más comunes en las UPTr. La viruela fue la enfermedad más común reportada por los criadores, encontrándose presente en todas las regiones, concordando con los reportes de su distribución mundial (Alfonso et al 2003). Las enfermedades con síndrome diarreico y con síndrome nervioso tuvieron la misma distribución, presentándose en cuatro de las cinco regiones fisiográficas; desde el Eje Neovolcánico hasta la Costa, excepto en Bajío. Las enfermedades del tipo respiratorio se presentaron también en cuatro regiones fisiográficas; excepto en la región Costa, zona subtropical seca. El análisis de correspondencia de χ^2 mostró una evidencia moderada de relación entre la presencia de las enfermedades y la región fisiográfica ($P=0.02$). Las enfermedades con síndrome respiratorio se reportaron en climas fríos, templados y secos, mientras que las enfermedades con síndrome diarreico se reportaron en los climas templados hasta los subtropicales, al igual que las que producen síndromes nerviosos.

Se detectó la aparición de enfermedades virales en las aves a pesar de haber sido vacunadas. En la Figura 5 se observa que la viruela y newcastle se reportaron en el 13.64 % de las UPTr que vacunan, un porcentaje doble al de las UPTr que tuvieron aves sanas con la vacunación (7.95%). En un análisis de χ^2 de correspondencia, no se pudo encontrar evidencia de relación entre la vacunación y la presencia o ausencia de enfermedades ($P=0.224$), lo cual sugiere que las vacunas no están protegiendo contra las enfermedades en algunas regiones como Balsas y

Costa; probablemente debido a una baja respuesta inmune de las aves, o a un error de manejo debido a que la vacuna se aplica una sola vez y a edades muy tempranas, lo cual suele provocar protección insuficiente a los pavipollos. Por otro lado, una mala práctica de aplicación de la vacuna también es causa de aparición de la enfermedad contra la cual se vacuna, debido al mal manejo de la cadena fría de conservación de la vacuna, así como a la aparición de cepas mutantes del virus (Fernández 2003).

Adicionalmente, en las UPTr donde no se vacunó se reportó un 39.77% de individuos enfermos, mientras que el porcentaje con aves sanas pese a que no fueron vacunadas, fue similar al grupo donde hubo enfermos no vacunados (38.64 %) (Figura 5). De esta forma, se detectó un grupo de aves aparentemente resistentes a la viruela y newcastle. Por ello, el grupo de UPTr con aves sanas sin vacunar constituyen fondos genéticos por caracterizar y conservar, en próximos estudios.

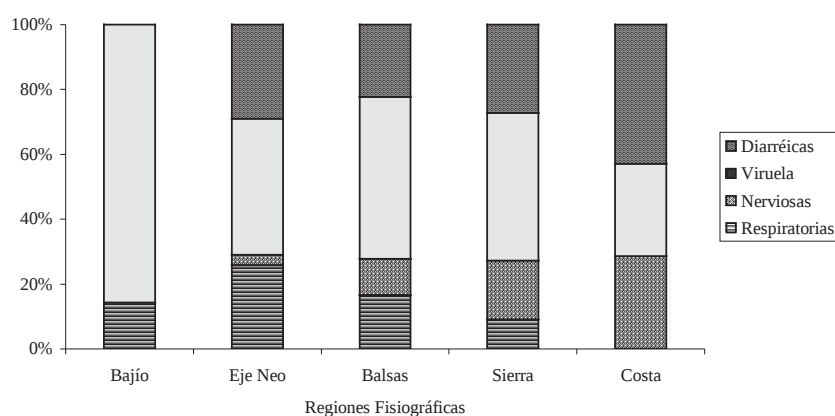


Figura 4. Porcentaje de presentación de enfermedades y/o síndromes más comunes en las Unidades de Producción de guajolote de traspatio en las cinco regiones fisiográficas de Michoacán.

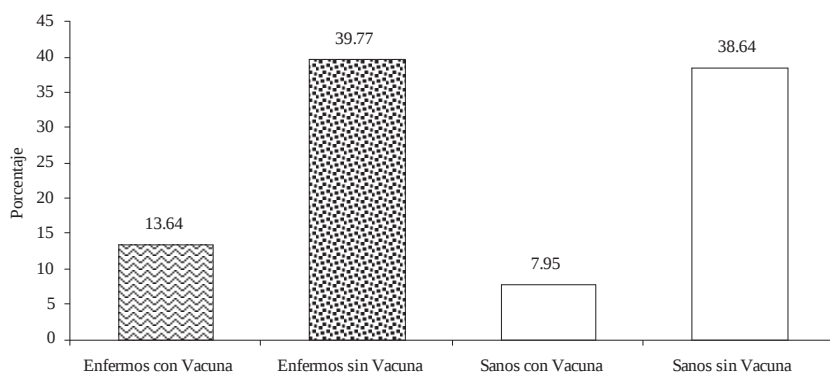


Figura 5. Grupos de aves vacunadas y no vacunadas y la presentación y no presentación de las enfermedades contra las que se vacunan los guajolotes en Michoacán

Conclusiones

- En las UPTr de las regiones frías a templadas, Eje neovolcánico y Bajío las parvadas son más grandes y los individuos son más corpulentos y pesados, y se cuenta con una mayor oferta de guajolotes adultos para los mercados locales.

- En las UPTr de las regiones secas, cálidas y subhúmedas, Balsas, Sierra y Costa, las parvadas son más pequeñas, y particularmente en la Costa se crían guajolotes más pequeños y ligeros morfológicamente diferentes a los de las otras regiones. La oferta del guajolote en estas regiones aunque es constante, no satisface la demanda local y el precio de venta es más elevado.
- Se reportó reproducción a lo largo de todo el año en todas las regiones.
- Las parvadas de las cinco regiones fisiográficas presentan porcentajes similares de los cuatro colores básicos de plumaje, negro, blanco, café y gris y sus combinaciones.
- En general, la mujer tiene la participación principal en la crianza del guajolote de traspatio.
- Se reportó una alta incidencia de enfermedades de tipo respiratorio en las regiones frías a templadas, y una alta incidencia de diarreas y viruela en las regiones calientes y secas.
- Se reportaron individuos resistentes a la viruela.

Literatura citada

Alfonso P, Noda J, Perera L C y Cuello S 2003 Viruela aviar: Estabilidad de atenuación y rango de hospedero de un candidato vacunal adaptado a cultivo de tejido. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 27:147-151.

Aquino R, Arroyo A L, Torres H G, Riestra D D, Gallardo L F y López Y B A 2003 El guajolote criollo (*Meleagris gallopavo* L) y la ganadería familiar en la zona centro del Estado de Veracruz. *Técnica Pecuaria en México* 41(2):165-173.

Bautista J M 2006 Diseño de una estrategia de transferencia de tecnología en la ganadería campesina de la región Mixe (Ayuuk) en Oaxaca, México. *Raximhai* 2(2):419-433.

Christman C J and Hawes R 1999 Birds of feather, saving rare turkeys from extinction. *American Livestock Breeds Conservancy*. North Carolina. USA p 25-52.

Crawford R D 1992 Introduction to Europe and diffusion of domesticated turkey from America. *Archivos de Zootecnia* 41:307-314.

Estrada A, Rodríguez J, Hernández S, Casiano M y Barrera B 2006 Caracterización fenotípica y usos del pavo doméstico en la comunidad de Kopola en la Sierra Nor-oriental de Puebla, México. *Memorias. VII Simposio Iberoamericano sobre conservación y utilización de recursos zoogenéticos*. Cochabamba, Bolivia p 69-71.

Fernández A 2003 Enfermedades infecciosas emergentes y reemergentes de las aves. *Revista Cubana de Ciencia Avícola*. 27:95-101.

Futuyma D J 2005 *Evolution*. Suinauer Association Press. USA. p 213-214.

Hernández J S, Oviedo M R, Martínez A S, Carreon L L, Resendiz M R, Romero B J, Ríos M J, Zamitiz G J y Vargas S 2005 Situación del guajolote común en la comunidad de Santa Ursula (Puebla, México). *Memorias. VI Simposio Iberoamericano sobre conservación y utilización de recursos zoogenéticos*. San Cristobal de las Casas, Chiapas, México. p 277-281.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática 2004 Monografía del Estado de Michoacán. INEGI, México p 15.

James F C 1970 Geographical size variation in birds and its relationship to climate. *Ecology* 51(3): 365-390.

Losada H, Rivera J, Cortes J, Castillo A, González R O y J Herrera 2006 Un analisis de sistemas de produccion de guajolotes (*Meleagris gallipavo*) en el espacio suburbano de la delegacion Xochimilco al sur de la Ciudad de Mexico. *Livestock Research for Rural Development* Volume 18, Artículo #52 Retrieved Febrero 15, 2007 from <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd18/4/losa18052.htm>

Madrigal S X 1997 Ubicación fisiográfica de la vegetación en Michoacán, México. *Ciencia Nicolaita Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo* 15: 65-75.

Mallia J G 1998 Indigenous domestic turkeys of Oaxaca and Quintana Roo, México. *Animal Genetic Resources Information* 23:69-78

Mallia J G 1999 Observations on family poultry units in parts of Central America and sustainable development opportunities. *Livestock Research for Rural Development* Volume 11, Article #3 Retrieve October 13, 2007 from <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd11/3/mal113.htm>

Santos-Ricalde R, Hau C E R, Beldar-Casso I, Armendáriz-Yañez R, Cetina-Góngora L Sarmiento-Franco y J. Segura-Correa 2004 Socio-economic and technical characteristics of backyard animal husbandry in two rural communities of Yucatán, México. *Journal of Agriculture and rural development in the tropics and subtropics* 105(2):166-173.

Schorger S W 1966 The wild turkey: Its domestication. University of Oklahoma Press, Norman, Oklahoma p 625.

Sherf B D 1997 Lista mundial de vigilancia para la diversidad de los animales domésticos. FAO/UNEP. 2da Edición. Roma Italia. p 422-424.

Sponenberg D P, Bender M, Jonson P, Smith E, Gogal R, Pierson F W, Gómez-Jaramillo M 2005 La Conservación del pavo en los Estados Unidos. *Archivos de Zootecnia*. 54:177-183.

Vieyra J, Castillo A, Losada H, Cortes J, Alonso G, Ruiz T, Hernández P, Zamora A y Acevedo A 2004 La participación de la mujer en la producción de traspatio y sus beneficios tangibles e intangibles. *Cuadernos de Desarrollo Rural* (53): 9-23.

CAPÍTULO II

ARTÍCULO 2

La caracterización del nivel de tecnificación de los sistemas productivos, de las poblaciones analizadas en las cinco regiones fisiográficas de Michoacán, se reportan en este documento aceptado para publicación en la revista nacional en el padrón de CONACYT *Técnica Pecuaria en México*

Caracterización de sistemas de producción del guajolote doméstico (*Meleagris gallopavo gallopavo*) de traspatio distribuidos en las cinco regiones

fisiográficas del Estado de Michoacán, México

**López-Zavala R.¹, Monterrubio-Rico T.², Cano-Camacho H.¹, Chassin-Noria O.²,
Aguilera-Reyes U.³, Zavala-Páramo M.G.¹**

¹**Centro Multidisciplinario de Estudios en Biotecnología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo,**

²**Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo,**

³**Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México.**

Autor para correspondencia:

***Dra. María Guadalupe Zavala Páramo**

Centro Multidisciplinario de Estudios en Biotecnología, U.M.S.N.H.

Posta Veterinaria, Km. 9.5 Carretera Morelia-Zinapécuaro, Tarímbaro, Morelia, Mich.

Tel. y Fax: (4) 295 80 29

e-mail: gzavalap@zeus.umich.mx gzavpar@hotmail.com

Proyecto Apoyado por Fondos Sectoriales CONACYT-SAGARPA 2004

Clave de Registro: SAGARPA-2004-C01-201

Título del proyecto: Rescate del fondo genético del guajolote mexicano

RESUMEN

En este trabajo se caracterizaron unidades de producción (UP) de traspatio de guajolote doméstico en las cinco regiones fisiográficas del estado de Michoacán. La meleagricultura de traspatio se lleva a cabo en todas las regiones fisiográficas del estado, con UP promedio de 7.20 a 14.80 aves, superior al reportado para Puebla, Oaxaca y Quintana Roo, pero inferiores a las reportadas para el estado de México. La relación hembra/macho es de 1.69 a 3.69 hembras por macho. De acuerdo a la coloración del plumaje, se encontraron las variedades Bronceado, Narrangansett, Palma Real, Negro español, Slate o plateado y Buffy (café o rojo) y otros colores que no se pudieron asignar a las variedades descritas. El peso en adultos mayores de 12 meses (6.70 a 8.90 kg machos y 2.90 a 4.35 kg hembras) fue similar al reportado en UP de Puebla, e inferior a los reportados en los estados de México, Oaxaca y Quintana Roo. Las aves más pesadas se localizaron en las regiones de clima templado. Las hembras anidan 2 a 3 veces por año, produciendo de 12 a 15 huevos por evento con nacimientos de 10 a 12 pavipollos por evento. El 94.32% de las UP son no tecnificadas, con incorporación de algunas prácticas de manejo mejorado, como utilización de alimento balanceado en pavipollos hasta los dos meses de edad, poco o nulo esquema de vacunación y sin utilización de variedades “mejoradas”, lo que indica que el tipo genético de guajolote es autóctono y es un fondo genético propio.

PALABRAS CLAVE: *Meleagris gallopavo*, guajolote doméstico, Michoacán, traspatio.

INTRODUCCIÓN

La crianza del guajolote (*M. gallopavo g.*) en traspatio es una actividad típica de los poblados pequeños y medianos de México, y constituye un importante apoyo económico-alimenticio para las poblaciones rurales y suburbanas así como un recurso genético pecuario propio de México (Medrano, 2000). El interés económico de la explotación actual del guajolote se apoya en su enorme rendimiento en carne (Castellanos 2004), su bajo costo de producción, y la calidad nutritiva por el bajo contenido de grasa de su carne (Board of Science and Technology, 1991). Se estima que la domesticación de esta importante ave americana se realizó en México entre los años 200 y 700 AC. La presencia del guajolote se documentó en los reportes de las expediciones hechas por los conquistadores desde 1517, en lo que hoy constituye Yucatán, Campeche, Veracruz y Valle de México (Schorger, 1966). Sin embargo, se desconoce si existieron uno o varios centros de domesticación, pero se cree que los pueblos que pudieron domesticar al guajolote fueron los Aztecas, Mayas y Purépechas; probablemente en las tierras altas del centro-occidente de México (Leopold, citado por Board of Science and Technology, 1991; Becerril, 2000). Otros autores también destacan al Estado de Oaxaca como posible centro de domesticación (Mallia, 1998).

La persistencia del guajolote de traspatio a lo largo de la historia, en casi toda la república mexicana ha estado ligada a su resistencia, adaptabilidad, así como su utilidad para los criadores (Board of Science and Technology, 1991). La finalidad de la explotación actual de estas aves esta encaminada a la producción de proteína animal para el autoconsumo, así como para la obtención de algún ingreso económico adicional (Villamar y Guzmán, 2007). Por otro lado, se ha establecido su importancia social y económica en la ganadería familiar de zonas rurales, como se reporta para localidades marginadas del centro de Veracruz; donde se destaca como un sistema de explotación mayoritariamente rústico y no tecnificado (Aquino et al., 2003). Recientemente se realizó un análisis del sistema de producción del guajolote en Xochimilco, México, donde se encontró que la actividad meleagícola es desarrollada por las amas de casa como parte de sus actividades domésticas, en un sistema de producción suburbano que se caracteriza por tener parvadas numerosas por

productor y cuyo uso principal es la venta y después el autoconsumo en reuniones y fiestas familiares (Losada et al., 2006).

Sin embargo, pese a la enorme importancia de esta especie para las poblaciones rurales de gran parte del país, existe una enorme escasez de información acerca de las características poblacionales regionales de esta ave y su explotación (Villamar y Guzmán, 2007), ya que los trabajos realizados sobre la caracterización de la producción de guajolote de traspatio en México son pocos. Destacan algunos estudios sobre unidades de producción en Oaxaca y Quintana Roo; características raciales, usos que se le dan (venta, autoconsumo, regalo, etc.), así como sus ventajas y limitaciones (Mallia, 1998). Se sabe que en los últimos años Michoacán ha ocupado entre el 13 y 15vo lugar en el país en población de guajolote, y para el año 2005 se sacrificaron alrededor de 25000 cabezas de guajolote con una producción de 8565 kg de carne (SAGARPA, 2007). Pero su sistema de explotación según información oficial sigue siendo mayoritariamente rústico (INEGI-Michoacán, 2004).

En este trabajo se presenta un diagnóstico descriptivo sobre las características de la producción del guajolote doméstico de traspatio del Estado de Michoacán, desarrollado con los siguientes objetivos: 1) evaluar las características de las unidades productivas, con respecto al grado de tecnificación 2) analizar estas características en las cinco regiones naturales en las que está dividido el estado y 3) obtener información morfométrica sobre los guajolotes de traspatio distribuidos en las cinco regiones fisiográficas de Michoacán.

MATERIAL Y MÉTODOS

Muestreo de campo

El estudio se realizó mediante un trabajo de campo que incluyó el levantamiento de encuestas, la colecta de muestras biológicas (sangre y plumas) y el registro de datos morfométricos de ejemplares de las cinco regiones fisiográficas establecidas para el estado de Michoacán, México por Madrigal (1997). Las regiones fisiográficas, sus características climáticas y el número de sitios y encuestas-colecta se muestran en la tabla 1. Se realizó un muestreo estratificado simple, cuyos estratos estuvieron constituidos por cada una de las regiones fisiográficas del estado. Los sitios de encuesta-colecta fueron seleccionados al azar dentro de cada región fisiográfica; se

asignaron de 15 a 20 sitios por región o estrato, recorriendo cada sitio por carreteras y caminos secundarios, y sin importar la localidad, las unidades de encuesta-muestreo fueron las casas o predios donde se visualizó la presencia de guajolotes en los traspatios o en predios aledaños a las casas. En el mapa de la figura 1 se señalan los sitios de encuesta-colecta distribuidas en las cinco regiones fisiográficas, elaborado con el software Arc-view 3.2. Para fines de este estudio, cada predio o casa donde se dedicaran a la crianza del guajolote fueron considerados como “Unidades de Producción” o UP y se levantó una encuesta por cada UP.

En cada UP se solicitó la colaboración de los propietarios para registrar la información. Con la encuesta se documentó la información necesaria para la caracterización de las UP de traspatio; se incluyó y documentó información sobre el peso de las aves, aspectos poblacionales, productivos, reproductivos, y actividades sanitarias y de manejo. Para la caracterización morfométrica se tomó en cuenta el peso de adultos (mayores de doce meses) y el color del plumaje de los individuos presentes en cada UP de acuerdo a lo descrito por FAO (Sherf, 1997). La identificación de variedades por el color del plumaje se realizó en base a la clasificación establecida por la Asociación Americana para la Conservación de Razas de Ganadería (Christman y Hawes, 1999). En la tabla 2 se enlistan las variables registradas para la caracterización de las unidades de producción.

Evaluación del grado de tecnificación

Para el establecimiento del grado de tecnificación de las unidades de producción (GTUP), se consideraron los cuatro factores que utilizaron Aquino et al. (2003), quienes para una caracterización similar diseñaron un método basado en la Teoría general de sistemas de Gigh (1990): $GTUP = NTA(VR) + NTSA(VR) + NTRM(VR) + NTI(VR)$; donde GTUP es el grado de tecnificación en la unidad de producción de guajolote; NTA es la proporción del uso de alimento balanceado en cada una de las etapas del guajolote: (0.33) si se utiliza sólo en iniciación, (0.66) si se utiliza en iniciación y crecimiento y (1) si se utiliza en todas las etapas, y VR es el valor relativo de este factor (0.45); NTSA es la práctica de sanidad animal, conformado por la utilización de vacunas (0.5), más la utilización de desparasitantes (0.5), y VR es el valor relativo de este factor (0.20); NTRM es la

utilización o introducción a la unidad de pavo de doble pechuga (1) multiplicado por su valor relativo (0.2) y NTI corresponde al uso de gallinero (0.33), más el uso de comedero (0.33), más el uso de bebederos (0.33), y VR es el valor relativo de este factor (0.15). El criterio de asignación de grado de tecnificación fue el siguiente; las unidades productivas que obtuvieron valores de entre 0 y 0.5 se consideraron Unidades de Producción Tradicional o no tecnificadas (UPTr), las que obtuvieron valores entre 0.51 y 0.75, se consideraron medianamente tecnificadas o semitecnificadas (UPST), y aquellas que obtuvieron valores mayores de 0.75 se consideraron tecnificadas (UPT).

Análisis estadísticos

Para todas las variables se realizaron análisis estadísticos descriptivos. Para evaluar posibles diferencias entre regiones se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. También se aplicaron análisis post-ANOVA en aquellas variables donde se encontraron diferencias significativas, realizando pruebas pareadas de medias por medio de la prueba de Dunn. Las proporciones de colores del plumaje se analizaron por X^2 . Todas las pruebas estadísticas se realizaron utilizando Sigmastat (ver. 3.01) y SAS (ver. 8). Con los resultados de estos análisis se construyeron las figuras y tablas correspondientes reportadas en el trabajo.

RESULTADOS

Características de las poblaciones

Las características de las poblaciones de guajolote de traspatio de las UP por región, se muestran en la tabla 3. El tamaño promedio más bajo de parvada (7.20), se encontró en la región del Balsas y el más alto (14.8) fue para la región del Bajío ($P < 0.05$). Las UP en Michoacán presentaron un número variable de guajolotes, de 2 a 57 individuos. Un análisis sobre la relación de hembras por macho en las UP, mostró valores que van desde 1.69 en la región del Eje Neovolcánico hasta 3.69 en la Sierra Madre del Sur, sin embargo las diferencias no fueron estadísticamente significativas entre regiones ($P > 0.05$).

Debido a que el patrón de coloración del plumaje es una variable considerada para la caracterización de los animales (Sherf, 1997) y en especial en la clasificación de variedades de guajolotes por la Asociación Americana para la Conservación de

Razas de Ganadería (Christman y Hawes, 1999), se analizó la coloración del plumaje. Se encontraron los patrones de coloración básicos: negro, blanco, café y gris, así como las combinaciones negro/blanco y blanco/negro, denominados así por la proporción predominante de los colores manifestados en los individuos. En la categoría señalada como “otro” se ubicaron aquellas combinaciones entre café, gris y blanco que por su indefinición no pudieron asignarse a una variedad específica. En todas las regiones fisiográficas se encontraron todos los colores y combinaciones en proporciones similares, no mostrando diferencias estadísticas significativas las proporciones de coloración entre regiones ($P > .05$). Los colores que predominaron fueron el negro y sus combinaciones; se registraron tres variedades, Bronceado, Narrangansett y Negro español. Para el blanco sólido no se registró ninguna variedad, pero cuando el blanco estuvo combinado con el negro se registró la variedad Palma real, mientras que para el negro con blanco se identificaron las variedades Narrangansett y/o Palma real y a una variedad rara reportada previamente para USA: el Sweetgrass. El gris fue equivalente al Slate” o plateado. Finalmente, para el color café se encontró que corresponden a la variedad Buffy. En este estudio no se encontró la variedad chocolate mientras que el equivalente al Buffy tuvo más presencia en la región de la Sierra Madre del Sur que en el resto de las regiones. Las diferentes proporciones de color de muestran en la figura 2.

Características productivas de las UP

La información que se obtuvo respecto al peso que alcanzan los machos y hembras adultas a los doce meses de edad se muestra en las figuras 3 y 4, donde se puede observar que los machos y hembras más pesados ($P < 0.0001$) se localizaron en la región del Eje Neovolcánico. En el caso de los machos, el rango de peso promedio entre todas las regiones fue de 6.71 a 8.92 kg y el de las hembras de 2.92 a 4.35 kg.

Características reproductivas de las UP

En este factor se agruparon las siguientes variables; el número de veces que las hembras anidan al año (NA), el número de huevos que ponen por evento de anidación

(NHA) y el número de pollos nacidos por nidada (NPN). En la figura 5 se muestran los datos de NA, así como el resultado de su análisis donde se encontró una diferencia estadística significativa entre regiones ($P < 0.0001$). El NA fue mayor en la región del Bajío, seguido de la región del Eje Neovolcánico ($P < 0.0001$), mientras que en las regiones secas y tropicales el número de anidamientos fue menor, sin mostrar diferencia estadística entre sí ($P > 0.05$).

El NHA mostró una diferencia estadística significativa entre regiones ($P = 0.012$) (Fig. 6); el mayor NHA se observó para la región del Bajío y fue diferente a todas las demás regiones, cuyos valores no fueron significativamente diferentes entre sí ($P > 0.05$). En cuanto al NPN, los valores no mostraron diferencia estadística significativa entre las diferentes regiones ($P > 0.05$) (datos no mostrados), lo cual sugiere que la eclosión no se ve afectada por el número de huevos puestos en la nidada, por el número de anidamientos por hembra por año ó por las diferentes condiciones ambientales que predominan en las distintas regiones fisiográficas del estado.

Grado de tecnificación

De acuerdo a lo obtenido en el análisis de GTUP, del total de UP solamente 5.68% (5 UP) obtuvieron calificación de unidades medianamente tecnificadas o semitecnificadas (UPST) encontradas solamente en las regiones Bajío y del Eje Neovolcánico, mientras que el resto (94.32%) se caracterizaron como no tecnificadas o tradicionales (UPTr) encontrándose estas distribuidas en todas las regiones fisiográficas del estado. Los resultados del valor promedio de GTUP se citan en la tabla 4, así como también el número y porcentaje de los diferentes grados de tecnificación encontrados en las regiones fisiográficas del estado. Los valores promedio de GTUP más bajos fueron obtenidos en las regiones Costa y Balsas. Las prácticas de manejo mejoradas por las que fueron caracterizadas como UPST en Bajío y Eje Neovolcánico fueron; la utilización de vacunas, desparasitantes y antibióticos para prevenir enfermedades, la utilización de alimento balanceado en todas las etapas de desarrollo de los guajolotes, así como los materiales con que estaban contruidos los albergues para que los guajolotes pernoctaran (madera, con piso de tierra y/o concreto y techos de lamina o teja, percheros y nidales), además de

tener en forma permanente un bebedero y un comedero. Estas UP no se consideraron totalmente tecnificadas porque no incorporan aves “mejoradas” a sus esquemas de cruzamiento. Por otro lado, las UP que se caracterizaron como UPTr cumplieron solo uno o dos de los factores contemplados para su caracterización: La utilización de alimento balanceado para pollito durante los primeros dos meses de vida de los pavipollos y/o la utilización ocasional de vacunas contra viruela y newcastle. En general las UPTr se caracterizaron así por tener una utilización pobre o nula de vacunas contra viruela y newcastle, nula hibridación de sus aves con variedades comerciales con fines de mejoramiento y ninguna selección de ejemplares para la siguiente generación. Además, se encontró que las instalaciones donde pernoctan las aves no son las más adecuadas y en aquellas regiones donde el clima es seco, subtropical y tropical (Balsas, parte de Sierra y Costa) un 70% de las UPTr no poseen cobertizos ni corrales y los guajolotes pernoctan en el “palo” (árboles secos o verdes), el resto se mantienen en un albergue rústico construido con restos de madera con techo de lámina de cartón o teja en algunos sitios y sin comedero permanente.

DISCUSIÓN

Características de las poblaciones

El rango en el tamaño de las parvadas encontrado en este trabajo (2 a 57 aves) mostró mayor similitud con los datos reportados para la región del Valle de México (15 a 80 aves en Xochimilco), que con los datos reportados para Oaxaca y Quintana Roo (1 a 18 aves) (Mallia, 1998); o con respecto al tamaño promedio de las parvadas (desde 7.2 hasta 14.80 aves) mostró que fue mayor en las cinco regiones fisiográficas de Michoacán a lo reportado para un municipio del Estado de Puebla (2.7 aves)(Estrada, 2006) y para unidades de producción de traspatio en comunidades de Yucatán (2 a 3 aves) (Santos-Ricalde, 2004). Estos resultados sugieren que la meleagricultura de traspatio que se desarrolla en Michoacán y Xochimilco se realiza con parvadas más numerosas, y que el grado de cultura meleagrícola que han desarrollado los criadores de guajolotes dejó de ser meramente de subsistencia. Para incorporarse como un campo de su cultura y tradición culinaria. (Sierra et al., 2006). El bajo número de individuos por parvada en

la región del Balsas, puede explicarse en función de la escasa o nula utilización de vacunas ya que esto permite la aparición de enfermedades de alta morbilidad como la viruela que merma la población de pavipollos, así como la presencia de otras causas de mortalidad de tipo no infeccioso como picaduras de alacranes, arañas y las víboras que se alimentan de los pavipollos.

El número de hembras por macho (rango de 1.69 a 3.69) encontrado en las regiones fisiográficas de Michoacán, fue similar en su valor más alto comparado con lo reportado para Oaxaca y Quintana Roo (3 a 5), donde los criadores de guajolote encuestados consideran que se requiere un macho por cada 3 hembras para conformar el harem (Mallia, 1998).

Como se señaló antes, en este trabajo se encontró que las parvadas de guajolotes de las cinco regiones fisiográficas de Michoacán presentaron individuos con características de plumaje similares a las de las variedades reportadas para USA (Chrismán y Hawes, 1999). Sin embargo, se detectaron individuos con combinaciones de colores entre café, gris y blanco que por su indefinición no pudieron asignarse a una variedad específica registrada previamente. Esto sugiere que se trata de variedades de individuos con una combinación de los alelos pertenecientes a los loci responsables de la coloración de la capa de plumas de los guajolotes (Chrismán & Hawes, 1999), propios de las poblaciones de traspatio de México, que hasta ahora no se han registrado. Debido a lo anterior, y ya que el porcentaje de aves con estas combinaciones de colores fue importante en todas las regiones fisiográficas (6 a 8%), se considera necesario establecer si las mismas se presentan en otras localidades de México para caracterización y registro. También se requieren otras características a considerar, tales como color de las patas o la tonalidad de la piel de la cabeza (blanca o azulada), descritas también por Mallia (1998) en guajolotes de Oaxaca y Quintana Roo, y que en este estudio no se tomaron en consideración.

Una descripción de colores reportada para guajolotes de Oaxaca y Quintana Roo mostró que además de los colores puros negro, blanco y sus combinaciones blanco/negro se reporta el color rojo (Mallia, 1998), el cual podría corresponder a la variedad reportada como Buffy y al café registrado para Michoacán. Un reporte

realizado para el estado de Veracruz señala el color abado (chaco o pinto) como el más consistente y el color canelo como el de menor proporción (Aquino, 2003). El color abado podría corresponder con las combinaciones de negro/blanco y blanco/negro encontrados en el presente estudio; y el color canelo probablemente corresponda al café de este estudio y al rojo reportado para Oaxaca y Quintana Roo (Mallia, 1998).

Características productivas de las UP

De acuerdo a los datos de peso, los machos y hembras adultos de las regiones con climas templados a fríos fueron más pesados que aquellos que se crían en las regiones cálidas y secas. Este hallazgo se puede explicar por la regla de Bergman que indica que los mamíferos y las aves tienden a variar su tamaño en diferentes latitudes (Futuyma, 2005) y apoya la hipótesis de James (1970), quien propone que la variación en el tamaño de las aves esta relacionada con los efectos combinados de la humedad, la temperatura y la altitud. James (1970) encontró que 12 especies de aves del centro y el este de EUA, presentaban tamaños grandes en la montaña y pequeños en el valle. Además, es probable que las prácticas de manejo mejoradas incorporadas por los criadores de guajolote de las regiones Bajío y Eje Neovolcánico puedan también explicar estas diferencias de peso de los animales adultos, por la utilización de alimento balanceado en todas las etapas de desarrollo de las aves, así como la utilización de las vacunas, sin embargo, esto solo puede ser aplicable en aquellas UP que se caracterizaron como UPST.

En Michoacán los pesos que alcanzan los machos adultos (6.70 a 8.90 kg), son similares a los reportados previamente para Oaxaca, Quintana Roo (6.75 a 9.00 kg) (Mallia, 1998) y Puebla (8.90 kg) (Hernández, 2005), pero todos ellos fueron bajos comparados con los reportados para Xochimilco (12.00 kg en promedio) (Losada et al., 2006). Por separado, los pesos de las hembras adultas de Michoacán (2.90 a 4.30 kg) resultaron ligeramente más altos que los reportados para Puebla (2.00 a 3.00 kg) (Hernández, 2005), pero resultaron más bajos que los documentados para Oaxaca y Quintana Roo (5.40 a 7.20 kg) (Mallia 1998). Sin embargo, los mayores pesos reportados hasta ahora para hembras de guajolote de traspatio son los reportados para Xochimilco, con 10.00 kg de peso en promedio (Losada et al., 2006).

A pesar de que se desconoce el grado de tecnificación de las parvadas de guajolote estudiados en Puebla, Oaxaca y Quintana Roo, la similitud en el peso de los machos adultos con los de Michoacán, nos permite considerar que el GTUP de las UP corresponderían a no tecnificadas o tradicionales que es el modo de producción predominante en Michoacán. Sin embargo, el registro de pesos mayores en las hembras adultas de Oaxaca y Quintana Roo no correlaciona con la aplicación de un GTUP de UPTr como en Michoacán, lo cual sugiere una diferencia en la crianza que podría atribuirse a una alimentación balanceada, a la selección de aves pesadas, ó a la hibridación con aves de línea comercial que son característicamente más pesadas, como las líneas comerciales Big-Large 6 ó Blanco Holandés.

En el mismo sentido, los altos pesos de los machos y hembras adultas de Xochimilco sugieren un GTUP de las UP medianamente tecnificado o semitecnificadas, donde además podría haber un cierto grado de hibridación con aves de las líneas comerciales pesadas ya citadas.

Características reproductivas de las UP

El número de anidamientos por año de las hembras encontrado en las distintas regiones fisiográficas, es característico de la especie doméstica reportada en la literatura de otros países (Christman y Hawes 1999). La cluequez de las hembras de traspatio es tan marcada que pueden alcanzar a empollar sus huevos hasta por tres ocasiones durante el año, lo cual corresponde al número de anidamientos encontrado en las encuestas.

En este estudio se encontró un rango de 12 a 15 huevos por hembra, por evento de anidamiento. Estos datos coinciden con lo descrito para las hembras de guajolote doméstico que ponen de 30 a 90 huevos por año en un lapso de hasta 24 semanas con un GTUP de UP tecnificadas en granjas de USA (Christman y Hawes, 1999), pero es menor que lo registrado para guajolotes de traspatio (colectados de localidades de Michoacán) criados bajo condiciones de semiconfinamiento con un GTUP semitecnificado, donde las hembras ponen de 16 a 18 huevos por evento de cluequez (Juárez-Caratachea, comunicación personal). Por el número de anidamientos y la cantidad de huevos puestos por hembra, se puede considerar que

hay una tasa reproductiva aceptable que permite obtener las parvadas necesarias para mantener el sistema de producción.

Grado de tecnificación

Los resultados del análisis del grado de tecnificación mostraron un porcentaje ligeramente mayor de UP en sistema tradicional o no tecnificado de producción (94.32%) que lo reportado por el INEGI, (2004) (89%), y ubicó al resto de las UP en sistema semitecnificado (5.68%) encontrado en las regiones Bajío y Eje Neovolcánico.

En aquellas UP caracterizadas cuyo valor de GTUP permitió clasificarlas como UPST, se cumplieron tres factores que marcaron la diferencia con las UPTr: 1) utilización de alimento balanceado en todas las etapas de desarrollo de los guajolotes, 2) utilización de vacunas, desparasitantes y antibióticos, y 3) albergue nocturno en cobertizos construidos ex profeso para los guajolotes. No se pudo comprobar si estas aves eran criadas por familias de mayor poder adquisitivo. Este hallazgo coincide con el hecho que los guajolotes más pesados se crían también en estas regiones. De acuerdo a esto, parece ser que las Regiones Bajío y Eje Neovolcánico son más propicias para la crianza de estas aves y los resultados son mejores si se incorporan las prácticas de manejo mejorado al sistema de crianza. Como se mencionó anteriormente, en las UPTr se utiliza solo uno o dos factores que corresponden a prácticas mejoradas: La alimentación de los pavipollos durante los dos primeros meses de vida y la vacunación. Sin embargo, en estas condiciones de producción no tecnificada, las características productivas y reproductivas determinadas en este estudio permitieron conocer el estado que guardan las parvadas de guajolotes de traspatio criadas en las cinco diferentes regiones fisiográficas de Michoacán. En este sentido, la similitud del peso entre machos adultos de Oaxaca y Quintana Roo con los de Michoacán, sugiere un sistema de producción similar, el no tecnificado. De igual forma, el 62% de las UP en sistema de producción tradicional reportado para el estado de Veracruz (Aquino, et al., 2003), podrían tener poblaciones de aves con características productivas y reproductivas similares a las de Michoacán. Para confirmar esta suposición sería necesario realizar un estudio en otras zonas del país para localizar otras UPTr y establecer si las

características de GTUP encontradas en este estudio son similares a de las UPTr de las regiones fisiográficas de Michoacán.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES.

La crianza del guajolote doméstico se desarrolla en todas las regiones fisiográficas del estado de Michoacán, donde los tamaños de parvada de las UP son generalmente pequeñas y cuya explotación constituye un recurso animal disponible que brinda carne y huevo tanto para el autoconsumo, como para mejorar los ingresos económicos de los criadores. Las regiones mas templadas fueron donde se encontraron los ejemplares mas pesados, lo que permite suponer que esta actividad se lleva a cabo con una cultura meleagricola diferente a la que se lleva a cabo en otras regiones del estado. Esta actividad productiva esta arraigada en Michoacán como parte de la cultura productiva en la población rural y suburbana.

Se estableció que algunos de los criadores de las regiones del Bajío y Eje Neovolcánico han incorporado prácticas de manejo mejoradas que les permite criar ejemplares más pesados que los de Balsas, Sierra y Costa. Los criadores de guajolote de Balsas, Sierra y Costa, han incorporado una o dos prácticas de manejo en sus sistemas de producción como la utilización de alimento balanceado en los dos primeros meses de vida del pavipollo pero con un uso bajo o nulo de vacunación y una ausencia total de incorporación de variedades “mejoradas”. Las aves mantienen una tasa de reproducción adecuada, con un porcentaje aceptable de incubación y obtienen un peso adulto al año de edad que es catalogado como satisfactorio para los mercados locales. A pesar de que el sistema de explotación sigue siendo mayoritariamente no tecnificado o tradicional, los niveles de producción son aceptables como lo muestran los resultados, pero consideramos que la incorporación de algunas prácticas de manejo como la inclusión de un cuadro básico de vacunas para la prevención de enfermedades, utilización de alimento balanceado en al menos una etapa más (de 2 a 4 meses de edad) así como la utilización de un cobertizo construido ex profeso para albergar a los guajolotes podría mejorar la producción así como la oferta de guajolote terminado destinado a consumo humano.

La mejora en las prácticas de manejo deben ser sugeridas por personal técnico calificado, pero esto no necesariamente implica la introducción de variedades

pesadas o de doble pechuga de origen comercial, ya que estas difícilmente pueden sobrevivir a las condiciones ambientales que enfrentan las poblaciones de traspatio, ya que tienen dificultad para reproducirse naturalmente y su viabilidad biológica esta llegando a su límite (Spoonenberg et al., 2005).

Además de la información obtenida en este estudio, es importante realizar un análisis sobre la productividad de las poblaciones para evaluar la velocidad de crecimiento y la edad adecuada para alcanzar pesos de mercado que permitan llevar a cabo una selección de individuos para incrementar la productividad. Y por otro lado, la tipificación molecular de las poblaciones para analizar la diversidad genética y establecer las diferencias genéticas y geográficas entre las poblaciones de guajolote presentes en el Estado de Michoacán.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero del Fondo Sectorial SAGARPA-CONACYT para el proyecto SAGARPA-2004-C01-201, de la Coordinación de la Investigación Científica de la UMSNH, para el proyecto clave 14.6, y el apoyo al M.C. Rigoberto López Zavala, con la beca PROMEP-UAT.

ABSTRACT

In this study units of domestic production (UP) of turkey in the five physiographic regions of Michoacan state were characterized. The meleagiculture of backyard is present along all physiographic regions of the state, with UP average of 7.20 to 14.80 birds, superior to reported for Puebla, Oaxaca y Quintana Roo, but inferior to the reported one for the state of Mexico. The female/male ratio is of 1.69 to 3.69. According to the plumage color, the found varieties were Bronze, Narrangansett, Palma Real, Spanish black, Slate or silverplated, Buffy (coffee or red) and Swetgrass and other colors that could not be assigned to the described varieties. Live weight of greater adult of 12 months (6.70 a 8.90 kg males y 2.90 a 4.35 kg females) was similar to the reported one UP of Puebla, and inferior to the reported ones in the states of Mexico, Oaxaca y Quintana Roo. The heavy birds were located in the tempered climate regions. The females nest 2-3 times per year with an egg production of 12-15 per nesting event, hatching rate was 10-12 poults/nesting. 94.32% of the UP are not technified, with incorporation of some practices of handling; use of balanced diet in chicks until two months of age, little or null scheme of vaccination, without use of improved varieties, which indicate that the genetic type of turkey is native and is an own genetic bottom.

KEY WORDS: *Meleagris gallopavo*, domestic turkey, Michoacán, backyard.

LITERATURA CITADA

1. Aquino RE, Arroyo LA, Torres HG, Riestra DD, Gallardo LF y López YBB. El guajolote criollo (*Meleagris gallopavo* L.) y la ganadería familiar en la zona centro del estado de Veracruz. Tec Pec Méx 2003; 41(2): 165-173.
2. Becerril CA. Los animales en la cultura prehispánica. En: UNAM editor. Primera Jornada de la Historia de la Medicina Veterinaria y Zootecnia. México 2000; 25-30.
3. Board of Science and Technology for Internacional Development. Microlivestock: little-known small animals with promising Economic Future. Nat Acad Press 1991; 157-166.
4. Castellanos El. Punto de acuerdo en relación a la importación de carne de pavo a México. Gaceta del Senado de la República. No 85. México. 2004. Disponible en: http://www.senado.gob.mx/sen60/SgSp/gaceta/?sesion=2004/12/14/1&document_o=110. Consultado 19 de Julio de 2007.
5. Christman CJ and Hawes R. Rare turkey varieties. In: Christman CJ and Hawes R editors. Birds of feather, saving rare turkeys from extinction. North Carolina USA: The American livestock breeds conservancy; 1999; 31-52.
6. Estrada A. Caracterización fenotípica y usos del pavo doméstico en la comunidad indígena de Kapola en la Sierra de Puebla, México. En: Stemmer A editor. VII Simposium Iberoamericano Sobre Conservación y Utilización de Recursos Zoogenéticos. Cochabamba, Bolivia. 2006.
7. Futuyma DJ. Variation. In: Futuyma DJ editor. Evolution. USA: Suinauer Associated Press; 2005; 213-214.
8. Gigch VJ P. Teoría general de sistemas. Trillas editorial. México: 1990.
9. Hernández JS, Oviedo MR, Martínez AS, Carreón LL, Reséndiz MR, Romero BJ, Ríos MJ, Zamitiz GJ y Vargas S. Situación del guajolote común en la comunidad de Santa Ursula (Puebla, México). En: Universidad Autónoma de Chiapas editor. VI Simposio Iberoamericano sobre conservación y utilización de recursos zoogenéticos. San Cristóbal de las Casas, México. 2005: 277-281.
10. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Monografía del Estado de Michoacán. INEGI. México; 2004: 15.

11. James FC. Geographic Size variation in birds and its relationship to climate. *Ecology*. 1970: 51(3): 365-390.
12. Losada H, Rivera J, Castillo A, González RO y Herrera J. Un análisis de sistemas de producción de guajolotes (*Meleagris gallopavo*) en el espacio suburbano de delegación Xochimilco al sur de la ciudad de México. *Lives Re Ru Develop*. 2006:18(52):4.
13. Madrigal SX. Ubicación fisiográfica de la vegetación en Michoacán, México. *C. Nic. UMSNH* 1997: 15: 65-75.
14. Mallia G. Indigenous domestic turkeys of Oaxaca and Quintana Roo, México. *Anim Gen Re Bull* 1998; 23: 69-78.
15. Medrano JA. Recursos Animales locales del centro de México. *Arch Zoo* 2000; 49: 385-390.
16. Santos-Ricalde R, Hau CE, Beldar-Casso R, Armendáriz-Yañez I, Cetina-Góngora R, Sarmiento-Franco L y Segura-Correa J. Socio-economic and technical characteristics of backyard animal husbandry in two rural communities of Yucatán, México. *J Ag Ru Dev Trop Sub-trop* 2004; 105(2): 166-173.
17. Sierra VA, Canul SM, Pérez GF, Brito EE, Hernández ZJ y Ortiz OJ. Los pavos en la cosmovisión indígena y su participación en el traspatio. En: Hernández ZJ y Reséndiz R Editores. *Uso de los Recursos Zoogenéticos: Los pavos*. Puebla, México: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla; 2006: 33-39.
18. Schorger AW. Norman Editors In: *The Wild Turkey: Its History and Domestication*. Oklahoma, USA: University of Oklahoma Press; 1966: 625.
19. SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Sistema de información estadística, agroalimentaria y pesquera. Producción, precio, valor, animales sacrificados y peso en pie y en canal. Michoacán. Disponible: http://www.siea.sagarpa.gob.mx/integra/pecuario/AnuarioIDic_2004/michddr.pdf. Consultado 18 Mayo, 2007.
20. Sherf, BD *Lista Mundial de Vigilancia para la Diversidad de los Animales Domésticos*. FAO/UNEP Editor, 2da Ed. Roma Italia; 1997.

21. Spoonenberg DP, Bender M, Jhonson P, Smith E, Gogal R, Pierson FW y Gomez-Jaramillo A. La conservación del pavo en los Estados Unidos. Arch Zoo 2005; 54: 177-183.
22. Villamar AL y Guzmán VH. Situación actual y perspectiva de la producción de carne de guajolote (pavo) en México 2006. InfoAserca: Clarid Agropec. 2007; 161: 60.

Tabla 1. Regiones fisiográficas, características climáticas y número de sitios y encuestas-colecta realizados.

Región*	Clima	No. de sitios de encuesta-colecta	No. encuestas
Bajío o Lerma	Templado con lluvias en Verano; temperatura media anual 13 a 17°C	7	17
Eje Neovolcánico	Templado y sub-húmedo con lluvias en verano; temperatura media anual 15 a 20°C	8	20
Balsas o Tierra Caliente	Seco muy cálido con lluvias en verano. Tropical seco con lluvias en verano; temp. media anual de 25 a 30°C	8	17
Sierra Madre del sur	Tropical seco con lluvias en verano. Tropical lluvioso con lluvias en verano. Templado en zonas altas de Coalcomán; temp. media anual de 22 a 27°C	4	16
Costa	Tropical húmedo con lluvias en verano; temp. media anual 25°C	3	18

*Madrigal, 1997.

Tabla 2. Variables empleadas en la caracterización productiva de las unidades de producción de guajolote de traspatio en el estado de Michoacán.

Factor	Variable
Poblacional	Número de individuos presentes en la unidad; machos adultos, hembras adultas, pavipollos.
Productivo*	Peso que alcanzan los adultos (machos y hembras) a los 12 meses.
Reproductivo*	Número de anidamientos por hembra por año. Número de huevos por nido por hembra. Número de pavipollos nacidos por nidada.
Sanitario*	Utilización de vacunas y desparasitantes.
Instalaciones y manejo*	Presencia de gallinero, bebedero, comedero.
Alimentación*	Utilización de alimento balanceado.
Mejoramiento genético*	Utilización de razas de líneas comerciales.

* Factores utilizados para el modelo de GUTP propuesto por Aquino, 2003.

Tabla 3. Número de encuestas y datos poblacionales de guajolote de traspatio presentes en las UP encuestadas.

REGIÓN Parámetro	BAJIO	EJE NEO	BALSAS	SIERRA MADRE	COSTA
Encuestas	17	20	17	16	18
Población de guajolote encuestada	210	187	109	168	158
Tamaño promedio de parvada en UP	14.80 ^b	11.00 ^b	7.20 ^a	12.00 ^b	11.50 ^b
Mediana de Parvada	5.5	10	4	7	8
Rango	2-57	3-31	3-22	2-50	2-45
Relación Hembras/Macho	2.39 ^a	1.69 ^b	2.34 ^b	3.69 ^b	3.16 ^b

Superíndices diferentes indican diferencia estadística significativa ($P < 0.05$)

Fuente: “Elaboración propia”

Tabla 4. Número y porcentaje de las Unidades de Producción de guajolote de traspatio de las diferentes regiones fisiográficas de Michoacán caracterizados por el Sistema de Producción.

	SPST*		SPTTr*	
	Valor de GTUP**	n(%)	Valor de GTUP**	n(%)
Bajío	0.524	2(11.76)	0.161	15(88.23)
Eje Neovolcánico	0.575	3(15.00)	0.282	17(85.00)
Balsas	-	0	0.187	17(100.00)
Sierra	-	0	0.210	16(100.00)
Costa	-	0	0.134	18(100.00)

*SPST= Sistema de Producción semitecnificado

*SPTTr= Sistema de Producción Tradicional o no tecnificado

**Valor de Grado de Tecnificación de Unidades de Producción

Fuente:"Elaboración Propia".

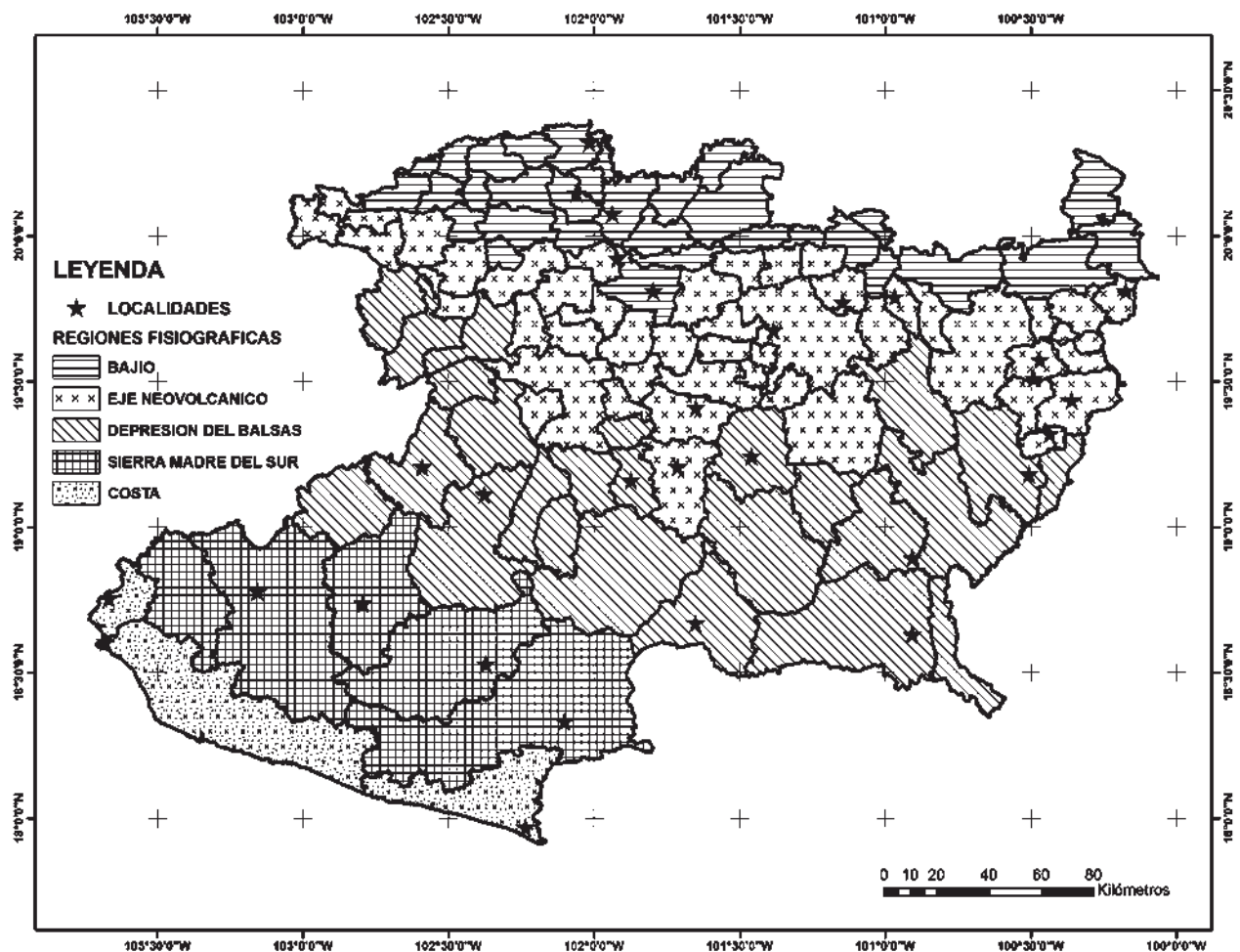


Figura 1. Localización de los sitios de encuesta-colecta en las regiones fisiográficas presentes en el Estado de Michoacán, México propuestas por Madrigal (1997).
“Elaboración propia”

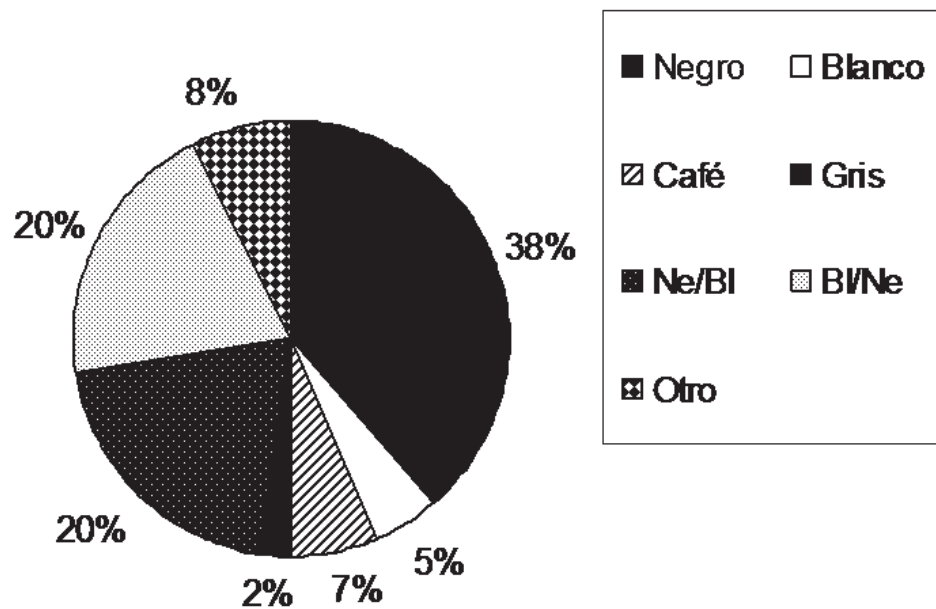


Figura 2. Distribución del patrón de colores del plumaje de guajolote doméstico de traspatio, criado en las diferentes regiones fisiográficas del Estado de Michoacán, México.

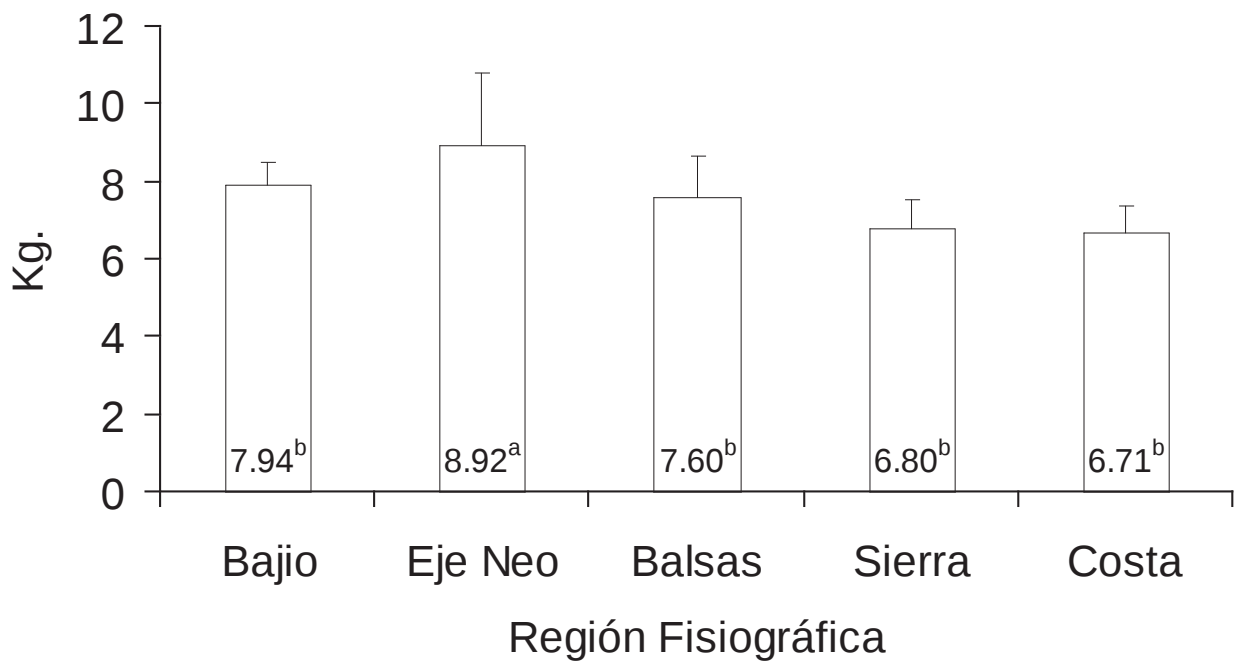


Figura 3. Peso adulto promedio (kg) de machos mayores de doce meses en las diferentes regiones fisiográficas del Estado de Michoacán, México. Superíndices diferentes significan diferencia estadística significativa ($P < 0.0001$).

Fuente "Elaboración propia"

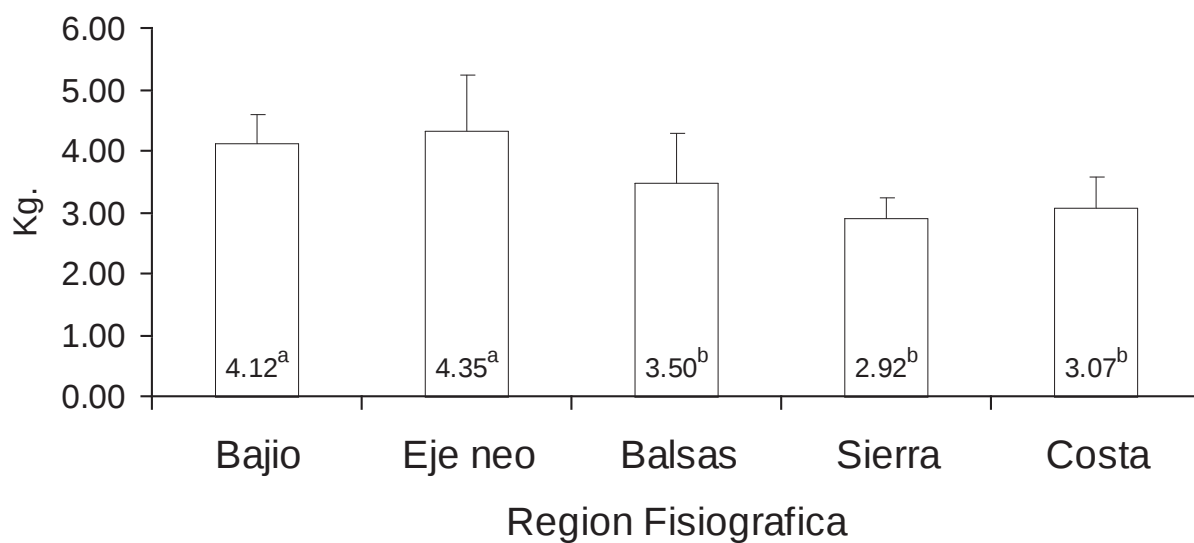


Figura 4. Peso adulto promedio (kg) de hembras mayores de doce meses en las diferentes regiones fisiográficas del Estado de Michoacán, México. Superíndices diferentes significan diferencia estadística significativa ($P < 0.0001$).

Fuente "Elaboración propia"

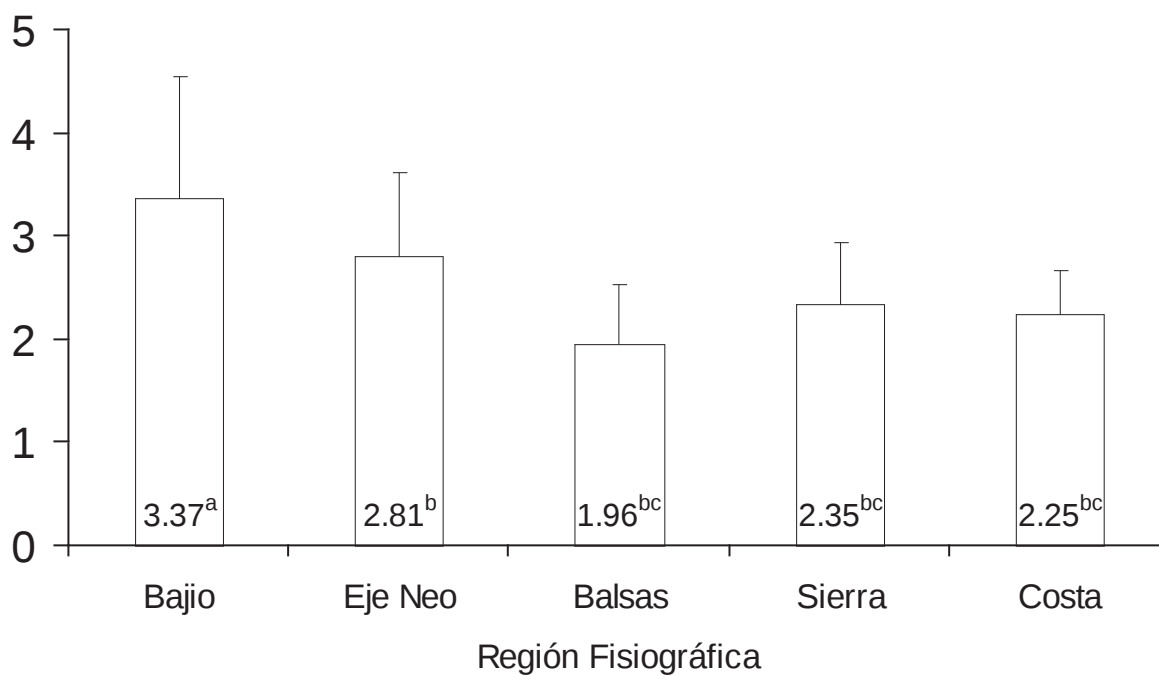


Figura 5. Número promedio de anidamientos por hembra de guajolote, por año, reportada por los criadores en las diferentes regiones fisiográficas del Estado de Michoacán, México. Superíndices diferentes significan diferencia estadística significativa ($P < 0.001$).

Fuente "Elaboración propia"

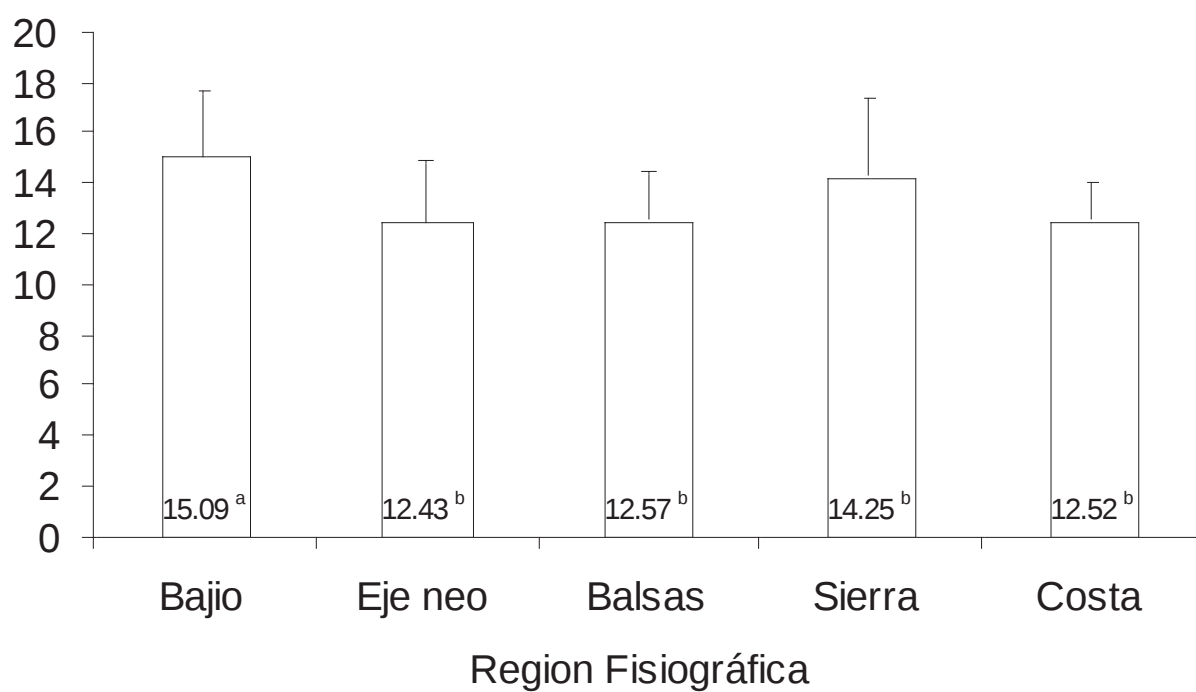


Figura 6. Número promedio de huevos puestos por hembra de guajolote por evento de anidamiento, reportado por los criadores de las diferentes regiones fisiográficas del Estado de Michoacán, México. Superíndices diferentes significan diferencia estadística significativa ($P < 0.001$).

Fuente “Elaboración propia”

CAPÍTULO III

ARTÍCULO 3

La caracterización genético molecular de las poblaciones analizadas en las cinco regiones fisiográficas de Michoacán, se reportan en este documento en preparación para someterse a la revista internacional indizada *Poultry science*.

ANÁLISIS DE DIVERSIDAD GENÉTICA DE POBLACIONES DE GUAJOLOTE DOMÉSTICO DE TRASPATIO (*Meleagris gallopavo g.*) EN MICHOACÁN, MÉXICO

López-Zavala R, Chassin-Noria O, Cano-Camacho H, Oyama-Nakagawa K, Zavala-Páramo MG

RESUMEN

El análisis con 7 *loci* microsatélites (SSR) evidenció diversidad genética en las poblaciones. Todos los *loci* fueron 100% polimórficos, y se encontraron más alelos por *loci* de los esperados. Se encontró una H_e de 0.606. Las regiones con menor H_e (0.543) fueron Eje Neovolcánico y Costa, sin que represente riesgo de endogamia. En las poblaciones de Balsas y Costa 4 de 7 *loci* presentaron equilibrio de Hardy-Weinberg, Bajío y Sierra 3 de 7 y Eje Neovolcánico 2 de 7. La media de F_{IS} (0.109), indicó un contenido heterocigótico multilocus adecuado. La media de F_{ST} (0.122) indicó variabilidad genética dentro de las poblaciones, correlacionando con el resultado del análisis de la varianza molecular, que mostró una variabilidad de 82% dentro de las poblaciones y de 18% entre poblaciones. La espacialidad geográfica evaluada por medio del número de migrantes (N_m) (vía F_{ST}), indicó intercambio de migrantes; el N_m fue mayor entre Eje Neovolcánico y Costa (no colindantes). El análisis de distancia genética de Nei, confirmó un flujo génico mayor entre las poblaciones de la Costa y los del Eje Neovolcánico y menor entre el Balsas y Bajío (no colindantes). En el árbol filogenético los guajolotes domésticos se separaron de los silvestres (grupo externo). Los guajolotes domésticos se separaron en 3 grupos genéticos; el grupo del norte en Bajío y Eje Neovolcánico, el grupo del centro en Balsas, y el grupo del sur, en Sierra y Costa.

INTRODUCCIÓN

El análisis molecular del genoma del guajolote (*Meleagris gallopavo*) se inició a mediados de la década pasada y a tomado un gran impulso desde el comienzo de este siglo. Varios análisis se han realizado mediante el uso de algunos marcadores moleculares desarrollados para la construcción del mapa genético del pollo (Levin et al., 1995; Liu et al., 1996, Reed et al., 1999; Reed et al., 2003). De esta forma, entre los primeros marcadores desarrollados se encuentran los microsatélites (SSR) que se han empleado básicamente en el análisis de poblaciones de guajolote silvestre de localidades de EUA, revisándose aspectos tales como el impacto por reintroducción, evaluación de polimorfismo dentro y entre poblaciones (Smith et al., 1996), especiación (Szalanski et al., 2000), distancia y flujo genético dentro y entre poblaciones (Mock et al., 2002). Por otro lado, se han realizado investigaciones para la descripción y caracterización parcial de bancos genómicos de guajolote comercial, enriquecidos con SSR, para desarrollar un mapa genético de utilidad pública y se ha descrito la relación genética de cinco variedades de guajolote doméstico de traspatio en E.U.A por medio de SSR (Huang et al., 1999; Smith et al., 2006). Actualmente, a nivel mundial la construcción del mapa genético del guajolote se enfoca en el uso de mapas de ligación de polimorfismo de la longitud de fragmentos de restricción (RFLP) (Harry et al., 2003), mapas basados en SSR (Burt et al., 2003) y sitios de secuencia expresada (ESTs) (Dranchak et al., 2003; Smith et al., 2000).

Hasta ahora, la mayoría del trabajo para el desarrollo del mapa genético del guajolote doméstico (*M. gallopavo g.*) se ha realizado en el pavo de líneas comerciales como el Big-6 Large White. Pocos son los trabajos que se han realizado en el guajolote mexicano doméstico (de traspatio) (Trigueros et al. 2003; Chassin et al., 2005) a pesar de su valor nutrimental y cultural, por ello la investigación de genética molecular de esta especie tiene amplias perspectivas, ya que posee un fondo genético con características adaptativas y de resistencia que se se pueden convertir en una fuente valiosa de genes para las poblaciones de guajolotes asociados a sistemas productivos altamente endogámicos que han perdido resistencia y otras características genéticas de interés pecuario.

En general, en atención al aspecto productivo de animales domésticos, los estudios moleculares que se han desarrollado para algunas especies se enfocan en la identificación de rasgos productivos que implican la caracterización genética de las poblaciones (diversidad), la identificación individual, el seguimiento de líneas parentales, la búsqueda de patrones de paternidad, y la identificación de loci relacionados con características productivas o adaptativas (López et al., 2006). En este estudio se presenta un análisis de diversidad genética por SSR, de poblaciones de guajolotes criados bajo condiciones de traspatio y distribuidos en las cinco regiones fisiográficas de Michoacán, México (Madrigal, 1997).

MATERIAL Y METODOS

Colecta de muestras biológicas.

Se colectaron 144 muestras de sangre de guajolotes domésticos, hembras y machos de diferentes edades de localidades de las cinco regiones fisiográficas del estado de Michoacán, México (Madrigal, 1997); 31 de la región Bajío, 32 de la región Eje Neovolcánico, 28 de la región Balsas, 31 de la región Sierra y 22 de la región Costa (Figura 1).

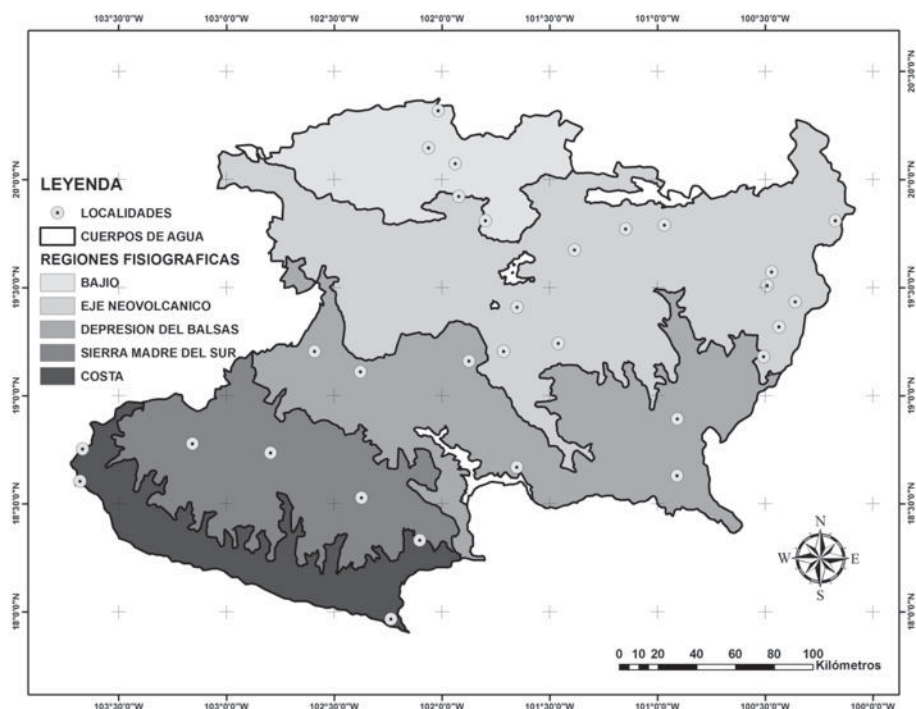


Figura 1. Localización de los sitios de colecta en las regiones fisiográficas de Michoacán, México propuestas por Madrigal (1997).

También se colectaron 16 muestras de sangre de guajolote silvestre; 9 de Jalisco y 7 de Durango, México. La sangre se recolectó por venopunción de la vena braquial (0.2 ml) y se depositó en un vial con 0.5 ml de solución para conservación de muestras de sangre a temperatura ambiente (Dutton, 1996).

Extracción de ADN, PCR y detección de SSR

A partir de las muestras de sangre colectadas se extrajo el ADN por el método de FitzSimons (1998). Para los ensayos de PCR se seleccionaron los juegos de oligonucleótidos de 7 loci de SSR previamente reportados para guajolote doméstico (MNT) y silvestre (WT, RHT0031), que se enlistan en la tabla 1 (Reed et al., 2003; Latch et al., 2002; Burt et al., 2003). Para el análisis de los SSR, el oligonucleótido directo de cada juego de SSR se marcó con el fluorocromo 5-Fam en el extremo 5' (Invitrogene). La amplificación se realizó en un volumen total de 25µl; cada mezcla de reacción contenía 0.02-0.03 µg de ADN, 1 µmol de cada oligonucleótido del juego a probarse, Buffer para PCR 1X, 200 µM de cada dNTP (dATP, dCTP, dGTP, dTTP), 0.75 ó 1.25 mM de MgCl₂ para MNT ó WT respectivamente, 0.3 U de Platinum *Taq* DNA polimerasa (Invitrogene) y H₂O destilada, desionizada, esteril.

Tabla 1 Juegos de oligonucleótidos SSR empleados, secuencia, temperatura de alineamiento y tamaño de banda esperado.

Primer	Secuencia (5' → 3')	Tm °C	Fragmentos pb
MNT2*	D CTACGCCCTTAGTATTGTGAC R GCCTAGCTGTAAGCAAGTCTC	55	135-166
MNT13*	D TTAGGGGATGCTGAACTGTG R GCGTAATTGGTGCTTTCTCC	56	205-227
MNT19*	D GCAGGAGGCTCTGAGCTATG R TTATACGGAAGGCGGTTGA	58	222
MNT211*	D TTTTCCCATGACCAAGTGAC R TTGCATTGGGAAGGCTTAAC	56	186-212
WT75**	D CCAACTGCAAGATGCTTCTG R CTGCATTACTGTTGCATCATGG	53	278-298
WT77-2**	D CAGTGCCGAGGGGTTTTATGT R ATTTGCAAGGAAAAACACTTCC	58	162-172
RHT0031***	D CCATGGGTCACTTAATTGG R CTTCTTTCATTCCCTTCACACC	58	132-136

* Reed et al., 2003; ** Latch et al., 2002; ***Burt et al., 2003.

Las amplificaciones se hicieron en un termociclador (2700 Applied Biosystems) bajo las siguientes condiciones: desnaturalización 95°C por 5 minutos, seguido por 35 ciclos; 95°C por 2 minutos, 53-58°C por 2 minutos y 72°C por 2 minutos, con una extensión final a 72°C por 8-10 min. Para confirmar la presencia de los fragmentos de ADN esperado, los productos de amplificación se separaron por electroforesis en un gel de agarosa al 1.2%, en TAE 1X (Tris-base 45 mM, ácido bórico 89 mM, EDTA 2.5 mM [pH 8.3]), con el marcador de tamaño molecular 1 kb DNA Plus Ladder (Invitrogen), y teñido con bromuro de etidio (10 mg/ ml) a 110 volts y se visualizaron en un transluminador de UV a 320 nm. Una vez confirmada la presencia de los fragmentos de ADN, se realizó el análisis de detección con una alícuota de 1 µl de cada amplificación y el marcador de tamaño molecular Genescan-350ROX (Applied Biosystems). Los productos de amplificación se analizaron en un AB 3100 *avant*, de donde se obtuvieron los electroferogramas con los tamaños de los alelos de los 7 *loci* amplificados.

Análisis estadísticos

Los tamaños de los fragmentos se obtuvieron mediante análisis con el software Peak Scanner v1.0. Los datos de las poblaciones se analizaron con GeneAlex v6.0 para obtener los valores variabilidad genética, estructura genética (diferenciación por F_{IS} , F_{ST} y F_{IT}), equilibrio de Hardy-Weinberg por Locus, AMOVA y distancia genética de Nei (1972). Se construyó un árbol filogenético (vía F_{ST}) por el método de neighbor-joining con (999 replicas bootstrap) con el software Phylip v3.3, (visualizado por Treeview v1) empleando los datos de las poblaciones de guajolote silvestre como grupo externo.

RESULTADOS

Variabilidad genética

El número de alelos esperado, número de alelos amplificados, número efectivo de alelos e índice de información polimórfica por *locus* y heterocigocidad esperada (H_e), para todos los individuos muestreados de todas las poblaciones, se enlistan en la tabla 2. En seis de los siete *loci* se obtuvieron más alelos de los esperados; el

número efectivo de alelos fue en general más alto en los *loci* diseñados en guajolote comercial (MNT2, MNT13 y MNT211) que para los *loci* diseñados en guajolote silvestre (WT75 y RHT0031). Los *loci* MNT2 y MNT19 presentaron el valor más alto en el índice de información polimórfica, mientras que el *locus* WT77-2 mostró el índice más bajo. Los resultados del análisis de *He* mostraron valores mayores a 0.05 para seis de los *loci*; los valores de *He* más altos fueron para los *loci* MNT13 y MNT211, intermedios para el *locus* WT75 y el más bajo para el *locus* WT77-2.

El número de alelos privados de cada una de las regiones fisiográficas se citan en la tabla 3, donde se observa que los guajolotes de la región Sierra poseen el número de alelos privados más alto, y los de la región Costa el más bajo. Por otro lado, el *locus* MNT211 fue el más variable, al presentar el mayor número de alelos privados dentro de cada región fisiográfica.

Tabla 2. Número de alelos esperado, alelos amplificados y número efectivo de alelos de los siete *loci* SSR.

	Num Alelos Esperado	Num Alelos por Locus	Num efectivo de Alelos	Índice de Información Polimórfica	He
MNT2	4	13	7.17	2.19	0.627
MNT13	5	15	5.71	1.32	0.737
MNT19	1	4	2.58	2.05	0.528
MNT211	NR*	16	4.09	1.04	0.689
WT75	6	8	2.92	1.93	0.606
WT77-2	4	3	2.08	0.84	0.485
RHT0031	2	6	2.84	1.22	0.573
Promedio		9.29	3.91	1.51	0.606

*No Reportado

Tabla 3. Número de alelos privados de cada región fisiográfica

Locus	Bajío	Eje Neo	Balsas	Sierra	Costa
MNT2	0	1	2	0	2
MNT13	0	2	1	2	0
MNT19	1	0	0	0	0
MNT211	2	2	1	2	0
WT75	0	0	1	2	0
WT77-2	0	0	0	0	0
RHT0031	1	0	0	1	0
Total	4	5	5	7	2

El valor de *He* por locus, por región fisiográfica e índice de polimorfismo se citan en la tabla 4. En general, la *He* fue similar en los siete *loci*, sin embargo cabe destacar

que la región Sierra presentó el valor más alto (0.658) y la región Costa el más bajo (0.543). Todos los *loci* fueron 100% polimórficos.

Tabla 4. Heterocigocidad esperada (*He*) por *locus* SSR, por región fisiográfica, e índice de polimorfismo en poblaciones de guajolote de traspatio en Michoacán.

	Bajío	Eje Neo	Balsas	Sierra	Costa	Índice de Polimorfismo
MNT2	0.562	0.285	0.769	0.768	0.749	100.00
MNT13	0.801	0.795	0.723	0.738	0.629	100.00
MNT19	0.545	0.488	0.490	0.601	0.515	100.00
MNT211	0.678	0.796	0.777	0.761	0.434	100.00
WT75	0.703	0.563	0.515	0.614	0.635	100.00
WT77-2	0.425	0.515	0.531	0.620	0.334	100.00
RHT0031	0.710	0.596	0.545	0.505	0.507	100.00
He Promedio	0.632	0.577	0.621	0.658	0.543	

Equilibrio de Hardy-Weinberg

En la tabla 5 se muestran los resultados del análisis de equilibrio de Hardy-Weinberg de las poblaciones domésticas de traspatio y de las poblaciones silvestres utilizadas como grupo externo. Como se puede observar, no todos los *loci* mostraron equilibrio, las regiones del Balsas y Costa presentaron más *loci* en equilibrio (2 silvestres y 2 domésticos), mientras que el Bajío, Eje Neovolcánico y Sierra un *loci* doméstico y 1-2 silvestres en equilibrio. De manera contrastante, las regiones Balsas y Costa presentaron el menor número de *loci* en desequilibrio (2) y las regiones Bajío, Eje Neovolcánico y Sierra mostraron el mayor número de *loci* en desequilibrio (3-4). Por otro lado, en las poblaciones silvestres los *loci* mostraron mejor evidencia de equilibrio; la población de Jalisco presentó todos los *loci* en equilibrio y la de Durango 6 de 7. Las poblaciones de las regiones Balsas y Costa mostraron un número de *loci* en equilibrio intermedio entre los de las poblaciones de las otras regiones, y el de las poblaciones silvestres.

Diferenciación genética (Valores F de Wright)

Los índices para establecer los valores de endogamia para todos los *loci* se muestran en la tabla 6. Para F_{IS} , se encontró desde un valor negativo en el *locus* MNT19, hasta un valor de 0.308 para el *locus* MNT2. Los otros cinco *loci*, mostraron valores más cercanos a 0; el valor promedio de F_{IS} fue de 0.109, el cual no se

considera alto y permite suponer que el contenido heterocigótico multilocus es adecuado.

Tabla 5. Número de *loci* SSR domésticos y silvestres en equilibrio y desequilibrio de Hardy-Weinberg dentro de cada región fisiográfica del estado de Michoacán y poblaciones de guajolote silvestre

	En Equilibrio ($\chi^2 \geq NS$)			En Desequilibrio (χ^2 Significativo*)		
	Doméstico	Silvestre	Total	Doméstico	Silvestre	Total
Bajío	1	2	3	3	1	4
Eje Neovolcánico	1	1	2	4	1	5
Balsas	2	2	4	2	1	3
Sierra	1	2	3	3	1	4
Costa	2	2	4	2	1	3
Jalisco**	4	3	7	0	0	0
Durango**	3	3	6	1	0	1

* ($P < .05$)

**Poblaciones Silvestres

Para F_{ST} , de nuevo los mayores valores se presentaron en el *locus* MNT2 (0.278), mientras que el menor se encontró en el *locus* WT77-2 (0.054). La media de F_{ST} (0.122), es un valor bajo que permite inferir que la variabilidad genética total se encuentra dentro de las poblaciones, y el número de migrantes (vía F_{ST}) indica que hay migración de 1.799 *loci* entre las regiones, cifra que no es alta para una población doméstica, y que muestra que la heterocigocidad sigue estando presente en la mayoría de los *loci*. El *locus* menos compartido entre las poblaciones fue MNT2 (polimórfico), y el más compartido fue WT77-2 (monomórfico).

Tabla 6. Valores F de Wright para los *loci* SSR de guajolote doméstico de traspatio de las cinco regiones fisiográficas de Michoacán.

	MNT2	MNT13	MNT19	MNT211	WT75	WT77-2	RHT0031	Media
F_{IS}	0.308	0.163	-0.090	0.111	0.048	0.044	0.177	0.109
F_{IT}	0.501	0.249	0.075	0.176	0.129	0.095	0.269	0.213
F_{ST}	0.278	0.102	0.151	0.073	0.085	0.054	0.112	0.122
N_m	0.649	2.204	1.406	3.174	2.695	4.403	1.991	1.799

En la tabla 7 se observa que el número de migrantes (vía frecuencia) entre las diferentes regiones fisiográficas del estado, no muestra una migración asociada a la

distribución geográfica (por la colindancia) de las regiones fisiográficas (Figura 1). Este hecho se pudo observar porque la región del Balsas presentó mayor número de migrantes con la región del Bajío a pesar de no ser colindantes. Por otro lado, la menor migración observada fue entre la región Costa y el Eje Neovolcánico. La región Sierra también presentó un flujo de migrantes con la región del Balsas, probablemente por la colindancia geográfica (Figura 1). Los valores pareados de F_{ST} fueron cercanos a 0, excepto entre el Eje Neovolcánico y la región Costa, cuyo valor fue el más alto. Estos valores sugieren que el flujo génico es escaso entre regiones y que la diversidad genética se encuentra dentro de cada región fisiográfica y poco compartida entre las regiones.

Tabla 7. Número de migrantes (vía frecuencia, valores diagonales inferiores), y F_{ST} multilocus (valores diagonales superiores) pareados entre las diferentes regiones fisiográficas de Michoacán.

	Bajío	Eje Neovolcánico	Balsas	Sierra	Costa
Bajío	-	0.072	0.044	0.070	0.097
Eje Neovolcánico	3.240	-	0.071	0.088	0.148
Balsas	5.493	3.283	-	0.051	0.090
Sierra	3.333	2.602	4.631	-	0.070
Costa	2.337	1.434	2.533	2.970	-

Análisis de la varianza molecular (AMOVA)

El análisis molecular de la varianza resultó en una He de 18% entre poblaciones y de 82% dentro de las poblaciones. En la tabla 8 se presentan los valores de distancia genética pareados entre las cinco regiones fisiográficas. Los valores más altos se encontraron entre los individuos de la región Costa, los del Eje Neovolcánico y los de la región del Bajío. Sin embargo, mientras que en forma general, las distancias genéticas de Nei correlacionan con las distancias geográficas entre las poblaciones de las diferentes regiones, la distancia entre Costa y Bajío no correlaciona con la distancia geográfica entre ellas.

Árbol filogenético

La construcción de un árbol filogenético por el método de neighbor-joining via F_{ST} , permitió separar de una forma objetiva los diferentes grupos genéticos de los

guajolotes criados en Michoacán, así como marcar las diferencias genéticas entre los domésticos y los silvestres.

Tabla 8. Distancia genética pareada de Nei (Vía frecuencia)

	Bajío	Eje Neovolcánico	Balsas	Sierra	Costa
Bajío	0.000				
Eje Neovolcánico	0.256	0.000			
Balsas	0.187	0.289	0.000		
Sierra	0.341	0.392	0.226	0.000	
Costa	0.404	0.607	0.336	0.303	0.000

En la figura 2 se muestra el árbol filogenético, donde se puede observar la diferenciación genética de las poblaciones dentro de las regiones fisiográficas y la separación monofilética de las dos poblaciones de guajolote silvestre. Los guajolotes domésticos de traspatio criados en Michoacán conforman grupos genéticos diferentes a los silvestres. Por otro lado, se observan tres grupos genéticos separados espacialmente (geográficamente); un grupo lo constituyen las poblaciones criadas en las regiones Bajío y Eje Neovolcánico, otro lo constituyen las poblaciones de guajolotes criados en la región Balsas y el tercero esta constituido por las poblaciones criadas en las regiones Sierra y Costa. Adicionalmente, los guajolotes de las poblaciones de la región Costa muestran una distancia que los aleja y diferencia de las otras poblaciones, aunque el valor de Bootstrap (46%) en la clada es bajo.

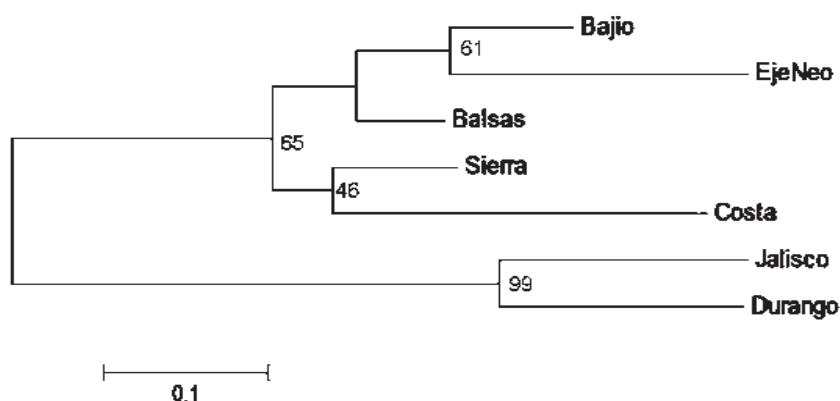


Figura 2. Árbol filogenético construido con los 7 *loci* SSR de poblaciones de guajolotes criados en las cinco regiones fisiográficas de Michoacán, los números en las cladas indican el valor de Bootstrap de 100 réplicas.

DISCUSION

Variabilidad genética

En general, el número de alelos amplificados fue mayor al esperado; en 6 de 7 *loci*, solo el locus WT77-2 amplificó un alelo menos que el que había sido previamente reportado (Latch et al., 2002). Esta diferencia en el número de alelos se puede explicar porque 4 *loci* de los 7 fueron diseñados en pavo de línea comercial o de doble pechuga, donde el polimorfismo es menor debido a la deriva genética producida por la alta selección que han aplicado los criadores (Reed et al., 2002; Reed et al., 2003). En el caso de los *loci* diseñados en el guajolote silvestre, se encontró que los guajolotes domésticos de Michoacán poseen más alelos para los *loci* WT75 y RHT0031 que los reportados para algunas poblaciones domésticas de USA (Latch et al., 2002; Burt et al., 2003). En cuanto al número efectivo de alelos, estos se mostraron más diversos en los *loci* domésticos MNT2, MNT13 y MNT211, los cuales presentaron los índices de polimorfismo más altos. En los *loci* silvestres el número efectivo de alelos fue aproximadamente similar, y el mejor índice de polimorfismo fue para WT75. De acuerdo a los resultados, los alelos de los *loci* domésticos estuvieron mejor representados que los *loci* silvestres, ya que como se esperaba, hay una disminución alélica de los *loci* silvestres en los guajolotes domésticos de traspatio, explicable por el mismo proceso de domesticación que han sufrido estas poblaciones.

La H_e en los *loci* domésticos (0.528-0.737) y la H_o (0.684) (dato no mostrado en tablas) mostraron altos valores de diversidad genética en estas poblaciones domésticas de traspatio. Por otro lado, la H_o fue mayor a la reportada previamente para guajolote comercial (0.510), confirmando una mayor diversidad en los guajolotes domesticados de traspatio michoacanos (Reed 2002). Adicionalmente, se observó que el locus MNT19, previamente citado como monomórfico (Reed et al 2002), en este estudio mostró una H_o de 0.575 (dato no mostrado en tablas).

La H_e de los *loci* silvestres (0.485 y 0.606) resultó baja comparada con la reportada anteriormente para el locus WT75 ($H_e=0.768$), pero fue alta comparada con la reportada para WT77-2 ($H_e= 0.308$) (Latch et al., 2002). Una posible explicación es que Latch et al. (2002), utilizaron estos *loci* en una población de 12 individuos, y una

baja diversidad alélica puede ser afectada por el tamaño de muestra o un uso limitado de *loci* (Bernatche & Duchesne, 2000; Zane, 2002). Un valor de *He* similar al encontrado en este trabajo, fue el reportado en poblaciones de guajolote silvestre reintroducido en el centro-sur de USA donde se esperaba un valor de *He* más alto (Mock et al., 2003). Los autores de este trabajo explican esta baja *He* de poblaciones silvestres por la pérdida de alelos de los SSR utilizados en el análisis, lo cual sugiere un proceso similar (deriva genética) en los guajolotes domésticos de Michoacán para un solo locus (WT77-2). En este estudio el análisis con 7 *loci* SSR mostró una *He* multilocus de 0.606, con el 100% de los *loci* polimórficos, lo cual permitió definir la diversidad genética de los guajolotes criados en las diferentes regiones de Michoacán.

Equilibrio de Hardy-Weinberg

El análisis de equilibrio de Hardy-Weinberg, mostró que las poblaciones de las regiones Balsas y Costa presentaron equilibrio respecto a las frecuencias de los alelos de dos *loci* silvestres y dos domésticos, permitiendo identificar un nivel de cruzamiento al azar de estos individuos, e indicando un bajo nivel de selección en la crianza. Por otro lado, las regiones Bajío, Eje Neovolcánico y Sierra presentaron un mayor desequilibrio respecto a las frecuencias de los alelos de los *loci* domésticos, indicando un nivel de cruza al azar menor que el de las regiones Balsas y Costa, que se puede deber a un mayor nivel de selección durante la crianza. Las poblaciones de guajolotes silvestres (grupo externo) presentaron equilibrio respecto a la frecuencia de alelos seis de los *loci*, indicando su procedencia de poblaciones no domesticadas y libres, con una buena relación de frecuencias de genotipos y alelos. Cabe destacar, que las poblaciones de las regiones Balsas y Costa tienen un manejo menos intensivo (cruzamientos más abiertos), manteniendo a las poblaciones en condiciones de crianza abiertas (sin confinamiento), mientras que las poblaciones de las regiones Bajío, Eje Neovolcánico y Sierra donde se encontraron *loci* en desequilibrio, tienen un manejo más intensivo, donde participan un menor número de sementales y mantienen a las poblaciones en condiciones de crianza más cerradas (en semiconfinamiento) (López et al., en prensa), lo cual contribuye a una baja de diversidad genética. Pese a lo anterior, de manera general no se observa una

pérdida de diversidad genética. Poca es la información que se tiene acerca del equilibrio de Hardy-Weinberg en loci de SSR en guajolote, Smith et al (2005) encontró uno de tres loci en equilibrio, en poblaciones de guajolote doméstico de la variedad Narrangansett y Palma Real, no encontrando equilibrio en ninguno de los tres loci utilizados en las variedades Bronce, Negro español y Slate.

Estructura genética

El coeficiente de endogamia (F_{IS}) fue diferente para cada *locus*, con valores extremos como el de MNT19 que no presentó endogamia (-0.09) en ninguna de las poblaciones y el locus MNT2 que presentó un nivel de endogamia que tiende a ser alto (0.309). Sin embargo, el valor medio de F_{IS} , indica un bajo grado de endogamia a pesar de estos datos extremos, lo cual sugiere que se mantiene un nivel de heterozigocidad importante. El 10.9% correspondiente a la media de F_{IS} dentro de las poblaciones estudiadas podría estar relacionado con la utilización (participación) de pocos sementales o mal manejo de los cruzamientos en las explotaciones animales. El grado de diferenciación génica entre poblaciones (divergencia genética) o valor medio de F_{ST} para todas las poblaciones fue de 0.122 reflejando una tasa de flujo genético que lleva a subdivisión genética poblacional moderada en los guajolotes de Michoacán. El análisis pareado de F_{ST} (vía frecuencia), resultó en valores que indican que solo las regiones Costa y Eje Neovolcánico, y Costa y Bajío reflejan diferenciación espacial o geográfica más divergente, con un menor número de migrantes entre estas regiones. Por otro lado, los valores pareados de F_{ST} (vía frecuencia) entre las regiones Bajío y Balsas que presentan el número de migrantes más alto, no correlaciona con la espacialidad geográfica, corralción que si se ve reflejada en las demás poblaciones ubicadas en las regiones fisiográficas vecinas, que muestran un número de migrantes entre ellas relativamente similar y comprensible por su vecindad.

Árbol filogenético

El árbol filogenético construido por el método de neighbor-joining via F_{ST} , mostró una separación genética entre las poblaciones de guajolote doméstico de las diferentes regiones de Michoacán y las poblaciones de guajolote silvestre. Este resultado confirma que los 7 *loci* SSR utilizados en este trabajo fueron adecuados

para establecer dicha diferenciación, con un valor Bootstrap de 99%, observado en la clada que los separa. Adicionalmente, las poblaciones de guajolote doméstico se separaron en tres grupos genéticos distintos, que correlacionaron con la distribución fisiográfica establecida para el estado de Michoacán. En el primer grupo se encuentran las poblaciones de las regiones Bajío y Eje neovolcánico, en el segundo la region Balsas, y en el tercero las regiones Sierra y Costa. La clada que conforma la unión Sierra-Costa, presentó un valor de 65% de Bootstrap, sugiriendo mejor vecindad genética entre los guajolotes de ambas regiones. Por otro lado, los guajolotes de las poblaciones de la región Costa muestran una distancia que los aleja y diferencia de las otras poblaciones, sin embargo, el valor de Bootstrap en la clada fue de 46%, por lo cual se requiere un mayor muestreo para robustecer el análisis.

Literatura citada

1. Bernatchez L. and P. Dúchense 2000. Individual based genotype análisis in studies of parentage and population assignment: how many loci, how many alleles?. Canadian Journal of Fisheries and aquatic sciences. 57:1-12.
2. Burt D.W., Morrice D.R., Sewalem A., Smith J., Paton I.R., Smith E.J., Bently J. and P.M.Hocking. 2003. Preliminary linkage map of the turkey (*Meleagris gallopavo*) based on microsatellite markers. Animal Genetics. 34: 399-409.
3. Chassin-Noria O., Lopez-Zavala R., Cano-Camacho H., Suárez-Corona E., Juárez-Caratachea A. y Zavala-Páramo M.G. 2005. Diversidad y Similitud Genética entre poblaciones de guajolotes mexicanos utilizando un método de amplificación aleatorio de ADN polimórfico (RAPD). Tec Pecu Mex 43(3): 415-424.
4. Cooper G., Amos W, Bellamy R., Siddiqui M.R., Frodsham A., Hill A.V:S: & D.C. Rubinztein. 1999. An empirical explotation of the $(\Delta\mu)^2$ genetic distance for 213 human microsatellite markers. American Journal of Human Genetics, 65, 1125-1133.
5. Dutton, PH. 1996. Methods for collection and preservation of simples for sea turtle genetic studies. En: Bowen, BW and Witzel WN. Proceedings of International Simposium on Sea Turtle Conservation Genetics. NOAA Technical Memorandum. NMFS-SETSC-396, pp 17-24.

6. Felsenstein J. Confidence limits on phylogenies: an approach using the bootstraps. *Evolution* 1985;(39):783-791.
7. Felsenstein J. Phylogeny inference package (PHYLIP). Version 3.5. University of Washington, Seattle, USA 1993.
8. FitzSimmons, N. 1997. Male marine turtles: gene flow, philopatry and matting systems of green turtles *Chelonia mydas*. Doctoral Thesis. University of Queensland, Australia. Pp 241.
9. Harry D.E., Marini, P.J., Zaitlin D. and Reed, K.M. 2003. A first generation of map of turkey genome. *Genome*, 46: 914-924.
10. Latch E.K., Smith E.J. and Rhodes Jr. O.E. 2002. Isolation and characterization of microsatellite loci in wild and domestic turkeys (*Meleagris gallopavo*). *Molecular Ecology Notes*, 2: 176-178.
11. Levin I., Santangelo L., Cheng H., Crittendend L.B. and Dogdson J.B. 1994. An Autosomal genetic linkage map of the chicken. *Journal Heredity*, 85:79-85.
12. López-Zavala R., Monterrubio-Rico T., Cano-Camacho H., Chassin-Noria O., Aguilera-Reyes U., Zavala-Páramo MG. 2008. Caracterización de sistemas de producción del guajolote doméstico (*Meleagris gallopavo gallopavo*.) de traspatio distribuidos en las cinco regiones fisiográficas del Estado de Michoacán, México. *Téc. Pec. Mex.* En Prensa.
13. Madrigal S. X. 1997 Ubicación fisiográfica de la vegetación en Michoacán, México. *Ciencia Nicolaita Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo* 15: 65-75.
14. Page RD. TREEVIEW: An application to display phylogenetic trees on personal computers. *Comp Applic Biosc* 1996;(12):357-358.
15. Peakall, R. and Smouse P.E. (2006) GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetics ofware for teaching and research. *Molecular Ecology Notes*. 6, 288-295.
16. Reed, K.M., Chávez L.D., Hall M.K., Knutson T.P., Rowe J.A. and Torgersen, A.J. 2003. Microsatellite loci for genetic mapping in the turkey (*Meleagris gallopavo*). *Anim. Biotech.* 14:119-131.

17. Reed K.M., Mendoza K. M. and Beattie C. W. 1999. Utility of Chicken-specific microsatellite primers for mapping turkey genome. *Animal Biotechnology*. 10:137-41.
18. Reed K.M., Chaves L.D., and Rowe J.A. 2002. Twelve new turkey microsatellite loci. *Poultry Science*. 81:1789-1791.
19. Smith, J., Geng T., Long E., Pierson F.W., Spoonenberg P.D., Larson C. and R. Gogal. 2005. Molecular Analysis of Relatedness of five Domesticated Turkey Strains. *Biochemical Genetics*, Vol 43, Nos 1/2 p 35-47.
20. Szalanaski A.L., Church K.E., Oates D.W., Bischof and Powers T.O. 2000. Mitochondrial-DNA variation within and among wild turkey (*Meleagris gallopavo*) subspecies. *Transactions of the Nebraska Academy of Sciences*, 26:47-53.
21. Trigueros-Campos .J.C., López-Meza J.E., Cano-Camacho H., Zavala-Páramo M.G. 2003. Análisis molecular de dos poblaciones de guajolotes nativos mexicanos y una línea comercial de pavos por RAPD's. *Tec. Pec. Mex.* 41(1):111-120.
22. Zane L., L. Bargelloni and T. Patarnello 2002. Strategies for microsatellite isolation: a review. *Molecular Ecology*. 11, 1-16.

CAPÍTULO IV

ARTÍCULO 4

La caracterización productiva de una parvada de guajolotes provenientes de las regiones Bajío y Eje Neovolcánico de Michoacán y crecidos en confinamiento total en el Sector de Aves de la Posta Veterinaria de la FMVZ, se reportan en este documento preparado para someter para publicación en la *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*.

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE UNA PARVADA DE GUAJOLOTE DOMÉSTICO (*Meleagris gallopavo gallopavo*) DE TRASPATIO CRIADO BAJO CONDICIONES DE CONFINAMIENTO TOTAL

López-Zavala Rigoberto, Cano-Camacho Horacio, Chassin-Noria Omar y Zavala-Páramo María Guadalupe

RESUMEN

Se evaluó el comportamiento productivo de una parvada de 67 guajolotes domésticos (*Meleagris gallopavo gallopavo*) de traspatio, obtenidos de 87 huevos con 77.07% de viabilidad. El peso inicial de los huevos fue de 78.34 ± 6.9 gr, y previo al nacimiento de los pavipollos de 66.07 ± 15.6 , el periodo de incubación de 28 ± 1.2 días. Se observó un mayor incremento de peso en los machos que en las hembras (4576 ± 272 vs 3019.28 ± 379.81). El Índice de Conversión Alimenticia de la parvada fue de 4.58 kg, y el de Productividad (174.40 gr) fue 2.4 veces inferior al encontrado en pavos de líneas comerciales criados en confinamiento total.

ABSTRACT

Was carried out a trial about the productive performance of a group of 67 Mexican native turkeys (*Meleagris gallopavo gallopavo*) that were obtained from 87 eggs with 77.07% of hatching. The egg weight was 78.34 ± 6.9 gr; the one day weight of poults was 66.07 ± 15.6 gr and the incubation period was of 28 ± 1.2 days. The starting weight was similar between sexes ($p > .05$) and at end of 22 weeks males showed more weight than the hens (4576 ± 272 vs 3019.28 ± 379.81 gr) ($p < .001$). Feed ratio was 4.58 kg and productivity index was 174.40, this index was 2.4 times less than founded in commercial lines of turkeys raised in total confinement.

INTRODUCCION

Los guajolotes domésticos (*Meleagris gallopavo gallopavo*), son aves de importancia económica y cultural en nuestro país, cuya domesticación fue realizada con tan profundo arraigo, que en la actualidad sigue presente en las rancherías y pueblos pequeños (Crawford, 1998; Newmann, 2001; Medrano 2000). Constituyen un importante recurso genético autónomo y un apoyo económico y alimenticio para las

poblaciones rurales y suburbanas (Medrano, 2000; SAGARPA 2002). Como principales sistemas de producción de estas aves se utilizan el de tipo comercial o tecnificado, donde se explotan aves de líneas seleccionadas para rápido crecimiento y aumento de peso en confinamiento total, y el denominado sistema tradicional de traspatio o rústico, ampliamente desarrollado en nuestro país, donde se crían aves que no han sido sujetas a una selección artificial y no se encuentran confinadas. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la productividad de una parvada de guajolote doméstico de traspatio proveniente de dos zonas biogeográficas del Estado de Michoacán. Este análisis nos permite contar con datos sobre razgos productivos que en estudios futuros pudieran asociarse a marcadores moleculares como parte del proyecto Rescate genético del guajolote mexicano.

MATERIALES Y METODOS

Material biológico

El estudio se realizó en las instalaciones del sector Avícola de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Se evaluó productivamente a una parvada de 67 guajolotes domésticos de traspatio, criados en confinamiento total. 12 hembras y 3 machos adultos provenientes la región del Eje Neovolcánico (Morelia y Pururarán) de Michoacán (Madrigal, 1997) fueron traídas al sector avícola de la FMVZ-UMSNH y puestas en corrales, se permitió la cruce al azar y los huevos fueron recolectados en un lapso de tiempo de 3 semanas. El número de huevos colectados fue de 87.

Condiciones de Incubación de huevos

Los huevos se pesaron al momento de la colecta en el laboratorio y se desinfectaron con una solución de yodo al 10%, se incubaron a 37 °C, por un periodo máximo de 30 días en una incubadora automática (Huajuca MR). Se estimaron los siguientes parámetros: peso del huevo al momento de incubar, número de días de incubación y peso del pavipollo al nacimiento en g.

Condiciones de crianza

Una vez que los pavipollos nacieron se colocaron en una criadora eléctrica (Huajuca MR) con fotoperiodo de 24 hrs. hasta que cumplieron ocho semanas de edad. Como medida de prevención de enfermedades los pavipollos se vacunaron contra la viruela

(Lab Bio Zoo) y newcastle (cepa Lasota) a los 15 días de nacidos. Después de este periodo, los pavipollos se colocaron en un corral de piso de concreto (de 5 mt por 4 mt) previamente desinfectado con cal y acondicionado con cama de rastrojo molido de maíz, donde se dispusieron comederos de tolva y bebederos automáticos de alimentación permanente. Tanto en jaula (criadora) como en piso, las aves bebieron agua y se alimentaron *ad libitum* con alimento tipo comercial (Purina): iniciación hasta las ocho semanas y finalización desde la nueve y hasta la 22. El alimento se pesó antes de ofrecerlo, se administró diariamente y se pesó el remanente al final de cada semana antes de volver a administrar nuevo alimento. Se registró el peso corporal en kg de cada individuo una vez por semana desde el nacimiento y hasta que cumplieron la semana 22.

Análisis de datos y estadísticos

Se estimó el Índice de Conversión Alimenticia (ICA), el incremento de peso semanal y mensual, así como el Índice de Productividad (IP) de la parvada según la fórmula propuesta por Ortiz y Núñez en 2002. Con los datos de peso corporal se construyó una curva de crecimiento de la parvada con el software Proc Mix de SAS Ver8), bajo un modelo de efectos fijos. Los datos de peso inicial y final de los individuos de cada sexo se sometieron a un análisis de varianza con la rutina de GLM Proc de SAS.

RESULTADOS

Se obtuvo un 77.07% de viabilidad en los 87 huevos colectados, de modo que la parvada evaluada fue de 67 aves. En la Tabla 1 se muestran los datos del peso de los huevos, del periodo de incubación de cada uno hasta su eclosión, así como los datos del peso al nacer de los pavipollos. No se encontró diferencia estadística significativa ($p>0.05$) de peso entre huevos previos al nacimiento de machos y hembras.

En la Tabla 2 se muestran los datos de peso semanales estandarizados por Proc Mix de SAS donde se observa un incremento semanal sostenido hasta la semana 17, ya que durante la semana 18 el incremento fue mínimo, regresando el incremento semanal normal hacia la semana 19 manteniéndose así hasta el final del experimento.

Tabla 1. Peso de huevo previo a la eclosión y periodo de incubación de una parvada de guajolote doméstico de traspatio criada en confinamiento total.

Peso de huevo (g)	78.34±6.9
Peso previo a la eclosión ambos sexos (g)	66.07±15.6
Peso al Nacimiento hembras (g)	61.23±6.7 a
Peso al Nacimiento machos (g)	66.07±12.2 a
Días de Incubación	28±1.2

Literales iguales en columna no son significativas ($p>.05$).

Tabla 2. Peso acumulado semanal de una parvada de guajolote doméstico de traspatio (ambos sexos) criado en confinamiento total.

Edad (Semanas)	Peso (g)	Error Estándar
1	80.22	54.94
2	120.63	54.94
3	214.14	54.94
4	325.70	54.94
5	449.73	54.94
6	579.12	54.94
7	778.56	55.63
8	943.89	55.63
9	1085.34	55.53
10	1197.63	55.53
11	1378.82	56.13
12	1529.77	56.13
13	1733.62	57.75
14	1985.05	57.75
15	2155.53	58.10
16	2343.77	63.75
17	2547.38	64.86
18	2522.42	68.03
19	2863.78	67.39
20	2759.61	93.76
21	3060.65.65	74.86
22	3608.81	74.86

En la Figura 1 se observa que la parvada mostró un aumento sostenido hasta la semana 17, también se observan dos fases de alto crecimiento en las semanas 20 y 21, mientras que de la 19 a la 20 no hubo incremento marcado de peso. También en la figura 1, se observa que las diferencias de peso en cuanto a sexo comienzan a manifestarse después de la semana 14, al incrementarse la desviación estándar. Por otro lado, como se muestra en la Tabla 3, no hubo diferencia estadística significativa ($p>0.05$) en el peso corporal inicial por sexo, sin embargo, hacia la semana 22 los machos superaron a las hembras (4576 ± 272 vs 3019.28 ± 379.81) con cifras estadísticamente significativas ($p<0.001$).

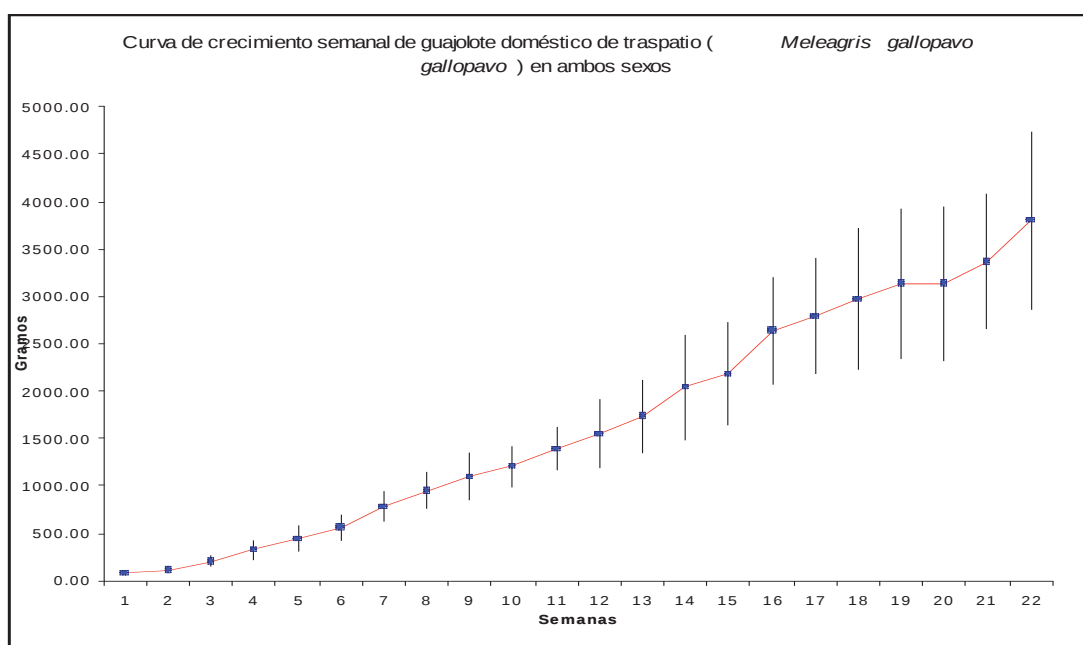


Figura 1. Curva de crecimiento semanal de una parvada de guajolote doméstico de traspatio.

Tabla 3. Peso inicial y final de una parvada de guajolote doméstico de traspatio criado bajo condiciones de confinamiento total.

Sexo	Peso Inicial (semana 1)	Peso Final (semana 22)
Hembras	81.075±11.84 ^a	3019.28±379.81 ^a
Machos	80.29±15.06 ^a	4576.0±272.85 ^b

Literales diferentes en columnas son significativas ($p<.001$)

A diferencia del análisis de incremento de peso semanal, el análisis del incremento de peso mensual (Figura 2) mostró tres picos de máximo crecimiento hacia el 2º, 4º y 6º mes, y una notable disminución en el 5º mes. El ICA fue de 4.58 kg para todas las semanas en ambos sexos, y el IP para la parvada fue de 174.40.

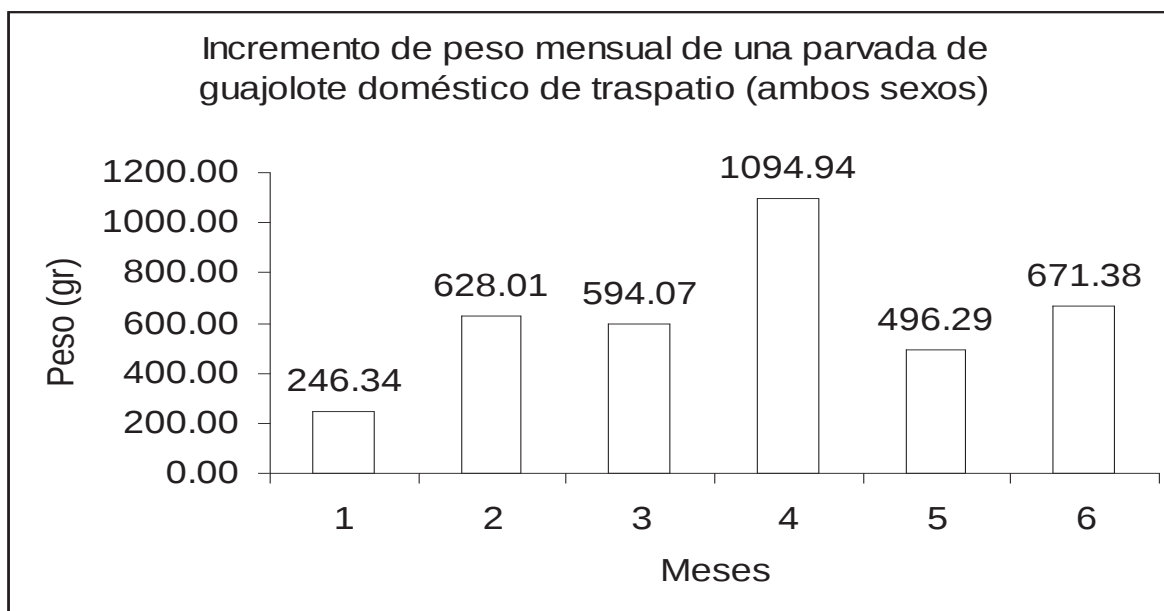


Figura 2. Incremento de peso mensual en una parvada de guajolote doméstico de traspatio criado bajo condiciones de confinamiento total.

DISCUSION

En general, el peso del huevo fue similar al reportado para una parvada de guajolotes domésticos de traspatio (Juárez-Caratachea, comunicación personal) y al reportado (68.4 g) para la selección de líneas para producción de huevo (Nestor *et al*, 2006). En el caso del pavo comercial se ha demostrado que la selección de individuos para incremento de peso, conduce a un incremento en el peso del huevo viable, pudiendo llegar a pesar hasta 98 gr cuando se seleccionan líneas para crecimiento rápido (Nestor, *et al* (2006). El periodo de incubación los huevos de este estudio (28 ± 1.2 días) fue similar a lo reportado por Nestor *et al*. (2006) para el huevo del pavo comercial (27.25 días). El ICA resultante en la parvada de guajolotes domésticos de traspatio (4.58 kg) fue superior al encontrado por Galicia-Juárez *et al*. en (2002), quienes reportan un ICA de 3.03 para pavo de línea comercial bajo sistema de crianza en confinamiento y 3.38 para sistema semiconfinado. Los

resultados del IP mostraron que los pavos comerciales utilizados por Galicia-Juárez et al. (2003), fueron 2.4 veces mas eficientes que los utilizados en el presente experimento. Esto último sugiere que los guajolotes domésticos de traspatio de las región del Eje Neovolcánico de donde se trajeron las aves, además de ser criados bajo condiciones de rusticidad por largo tiempo, no han sido objeto de selección para incremento de peso. Al analizar la curva de crecimiento se observa que el aumento de peso fue sostenido hasta la semana 17, no siendo consistente de la 19 y hasta la 20, de hecho, las ganancias de peso durante esas cuatro semanas no fueron satisfactorias, ya que mostraron disminución de peso en algunas aves, pero hacia la semana 21 los incrementos de peso volvieron a mostrar un resultado positivo. Las mejores ganancias de peso se obtuvieron al 4to mes de edad.

LITERATURA CITADA

1. Crawford AM and Littlejohn RP 1998. The use of DNA markers in deciding conservation priorities in sheep and other livestock. Bol Inf Sobre Rec Genet Anima. FAO/IDAP 23, 20-26.
2. Galicia-Juarez G, Gorostiola HML, García GI y Arevalo DA 2003. Análisis comparativo de la producción del guajolote con dos sistemas de producción. XII Congreso Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico Agropecuario. Memorias. Conkal, Yucatán. p 119.
3. Madrigal SX. Ubicación fisiográfica de la vegetación en Michoacán, México. C. Nic. UMSNH 1997: 15: 65-75.
4. Medrano JA 2000. Recursos Animales locales del centro de México. Arch. Zootec. 49: 385-390.
5. Nestor KE y Noble DO 1999. Influence of Adult Body Weight and Egg Weight on Hatching Time in Selected and Randombred Control Lines of Turkeys. Research and Reviews: Poultry and Swine Special Circular 164-99. http://ohioline.osu.edu/sc164/sc164_4.html, Fecha de consulta diciembre 2007.
6. Newmann KF 2001. Crianza de Pavos, Serie agronegocios. Centro de Estudios Agropecuarios. Ed Iberoamericana, México, D.F. pp 7-15.

7. Ortiz. MA y Núñez GJ 2000. Análisis de rentabilidad y costos de producción de doce granjas de pollo de engorda en el estado de Veracruz. Agropecus. Año1, Vol 1, Num 1. Ene-Jun 2000.
8. SAGARPA. 2002. Anuario Estadístico de la Producción Pecuaria de los Estados Unidos Mexicanos 2001. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. pp 33, 67 y 92.

DISCUSIÓN GENERAL

De manera general, el INEGI (2004) describe la presencia del guajolote en Michoacán reportando a las poblaciones más importantes en el norte del estado, y solo en algunos municipios del sur. Los reportes se ha enfocado específicamente en el conteo de cabezas de aves, con la descripción de su crianza como rústica, semitecnificada o tecnificada, solo de aquellas localidades que cuentan con más de 1000 cabezas, descartándose al resto de las poblaciones. Michoacán ocupa así el 14o lugar en el país por su número de cabezas de guajolote, con una explotación del 89% bajo condiciones rústicas o de traspatio. El documento sobre “La situación de los recursos zoogenéticos mundiales para la alimentación y la agricultura”, generado por la FAO en el 2007, entre otros aspectos señala que, *probablemente la más importante de las amenazas para el sector ganadero es la marginación de los sistemas de producción tradicionales y de las razas locales asociadas, impulsada principalmente por la rápida dispersión de la producción ganadera intensiva, a menudo a gran escala, que utiliza una gama reducida de razas.*

A pesar del arraigo de la crianza de guajolote en Michoacán, hasta este estudio se desconocían las características y el grado de tecnificación de los sistemas de producción, así como los problemas que enfrentan los criadores en las diferentes regiones fisiograficas. Por ello se planteo el objetivo de realizar esta caracterización por encuestas aplicadas mediante un muestreo estratificado simple, tomando como estratos a las regiones fisiograficas. Esta estratificación en regiones fisiograficas permitió obtener información sobre las poblaciones de guajolote que probablemente han permanecido por siglos en algunas localidades del estado, adaptandose a las diferentes condiciones climáticas. También permitió registrar por primera vez las prácticas que han mantenido a estas poblaciones y establecer de esta forma las bases de datos que describen estos sistemas para la implementación de estrategias de registro, conservación y manejo sostenible. La información obtenida incrementa el conocimiento previamente reportado para Yucatán, Oaxaca, Puebla, Estado de México, Distrito Federal y Veracruz (Santos-Ricalde et al 2004, Mallia 1998, Estrada et al 2006, Hernández et al 2006, Lozada et al 2006 y Aquino et al 2003) y establece

datos sobre las generalidades de la producción como la relación hembras/macho, el tipo de alojamiento, el peso de los adultos hembras y machos, los colores del plumaje, el tipo y práctica de alimentación, la reproducción, la aplicación de vacunas para el control de enfermedades y la práctica de selección por cruces con material de origen comercial para “mejoramiento genético”. Todos estos datos se utilizaron para establecer el grado de tecnificación de cada unidad de producción encuestada. Con ello también se pudo establecer que el alto porcentaje de unidades de traspatio se distribuye de manera similar en todas las regiones fisiográficas, gracias a una adaptación de los guajolotes a todas las condiciones climáticas presentes en el estado. Como dato importante se estableció que una característica de las unidades de traspatio es la ausencia de selección por cruces dentro de las poblaciones o con material de origen comercial.

Debido que la caracterización productiva mostró que las parvadas no están sujetas a selección y que por ello podrían estar en un nivel intermedio de diversidad entre poblaciones silvestres y aves de líneas comerciales, se decidió combinar loci detectados previamente en aves de líneas comerciales y loci detectados en aves silvestres, esta combinación permitió establecer una divergencia genética entre las poblaciones de guajolote doméstico de traspatio analizadas y poblaciones de guajolote silvestre. El análisis con 7 loci de SSR permitió revisar la diversidad genética de las poblaciones de todas las regiones de manera que se pudo establecer que a pesar de mantener las parvadas más pequeñas localizadas en la región Balsas, presentó la diversidad más alta y la más divergente por el alto número de alelos privados que presentó; se encontró que en Bajío y Balsas presentaron un tamaño de parvada y H_e similar. La caracterización morfométrica mostró tres conformaciones que se separaron en un grupo de aves grandes y pesadas localizadas en las regiones Bajío y eje Neovolcánico, un grupo de aves grandes y ligeras localizadas en Balsas y Sierra y un grupo de aves pequeñas y ligeras localizadas en Costa. El análisis molecular correlacionó con la separación morfométrica en tres grupos genéticos asociados a las regiones fisiográficas, exceptuando a la región Balsas, que se separó en un solo grupo. De esta forma la región Costa tiene poblaciones de guajolotes pequeños y ligeros con el más bajo

nivel de He que sugieren una divergencia importante y sorprendentemente fue una de las dos regiones con mayor número de loci en equilibrio de Hardy-Weiberg. Por otro lado, las poblaciones del Eje Neovolcánico grandes y pesadas, con un nivel de He similar al de Costa presentó el menor número de loci en equilibrio de Hardy-Weinberg.

Los datos obtenidos del estudio de comportamiento productivo de la parvada de guajolotes en confinamiento total, son los primeros que describen el peso al nacer, cuándo aparece el dimorfismo sexual, el índice de conversión alimenticia y de productividad que son datos básicos para estudiar la productividad de las parvadas; sin embargo durante el periodo del estudio se observó que las aves sufrieron estrés, lo cual se vio reflejado en los resultados de comportamiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. Burt D.W., Morrice D.R., Sewalem A., Smith J., Paton I.R., Smith E.J., Bently J. and P.M.Hocking. 2003. Preliminary linkage map of the turkey (*Meleagris gallopavo*) based on microsatellite markers. *Animal Genetics*. 34: 399-409.
2. Chassin-Noria O., Lopez-Zavala R., Cano-Camacho H., Suárez-Corona E., Juárez-Caratachea A. y Zavala-Páramo M.G. 2005. Diversidad y Similitud Genética entre poblaciones de guajolotes mexicanos utilizando un método de amplificación aleatorio de ADN polimórfico (RAPD). *Tec Pecu Mex* 43(3): 415-424.
3. Chávez L.D., Rowe J.A. and Reed. K.M. 2005. Survey of a cDNA from the trukey (*Meleagris gallopavo*). *Genome*. 48: 12-17.
4. Dodgson J.B., Hans H., and R.Okimoto 1997. DNA marker technology: a revolution in animal genetics. *Poultry Science* 76: 1108-1114.
5. Hartl D.L. and Clark A.G. 1989. Principles of population genetics. Sinauer Associates. Sunderland, Massachusetts, USA.
6. Harry D.E., Marini, P.J., Zaitlin D. and Reed, K.M. 2003. A first generation of map of turkey genome. *Genome*, 46: 914-924.
7. Huang H.B., Song Y.Q., Hsei M., Zahorchak R., Chiu J., Teusher C., and Smith E. J. 1999. Development and characterization of genetic mapping resources for the turkey (*Meleagris gallopavo*). *The journal of Heredity*, 1:240-242.
8. Latch E.K., Watson C.J., Mock K.E., Rhodes O.E. 2000. Microsatellite polymorphisms in wild turkeys. En: http://www.umd.edu/scb2000/abstract_info.asp?id=315 Fecha de consulta: 31 marzo 2004.
9. Latch E.K., Smith E.J. and Rhodes Jr. O.E. 2002. Isolation and characterization of microsatellite loci in wild and domestic turkeys (*Meleagris gallopavo*). *Molecular Ecology Notes*, 2: 176-178.

10. Leopold S.A. 1990. Fauna Silvestre de México: Aves y Mamíferos de caza. 2^a ed. Ediciones Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. México, D.F.
11. Levin I., Santangelo L., Cheng H., Crittendend L.B. and Dogdson J.B. 1994. An Autosomal genetic linkage map of the chicken. *Journal Heredity*, 85:79-85.
12. Minnesota Turkey Genoma Project. Turkey microsatellite loci developed at University of Minnesota. In: <http://www.tc.umn.edu/~reedx054/Turkeygenome.htm>. Fecha de consulta 30 Abril de 2006.
13. Mock K.E., Theimer T.C., Rhodes Jr. O.E., Greenberg D.L. and Keim P. 2002. Genetic variation across the historical range of the wild turkey (*Meleagris gallopavo*). *Molecular Ecology*, 11:643-657.
14. Mock K.E., Match E.K. and Rhodes Jr. O.E. 2004. Assessing losses of genetic diversity due to translocation: long-term case histories in Merriam's turkey (*Meleagris gallopavo merriami*). *Conservation Genetics*, 5: 631-645.
15. Primmer, R.C., T.Raudsepp, P.B Chowdhary, Pape M.A, and Ellegren, H. 1997. Low Frequency of Microsatellites in the Avian Genome. *Genome Research*, 7:471-482.
16. Reed K.M., Mendoza K. M. and Beattie C. W. 1999. Utility of Chicken-specific microsatellite primers for mapping turkey genome. *Animal Biotechnology*. 10:137-41.
17. Reed K.M., Mendoza K.M. and Beattie C.W. 2000. Comparative analysis of microsatellite loci in chicken and turkey. *Genome* Oct:43(5):796-802.
18. Reed K.M., Chávez L.D. and Rowe J.A. 2002. Twelve new turkey microstellite loci. *Animal Biotechnology*, 13(2):203-9.
19. Reed K.M., Chávez L.D., Garbe J.R., Da Y. and Harry D.E. 2003a. Allelic variation at avian microstaellites in a new turkey population for genetic mapping. *Cytogenet. Genome Res.* 120:331-339.
20. Reed, K.M., Chávez L.D., Hall M.K., Knutson T.P., Rowe J.A. and Torgersen, A.J. 2003b. Microsatellite loci for genetic mapping in the turkey (*Meleagris gallopavo*). *Anim. Biotech.* 14:119-131.

- 21.Scott M. L y Müller-Using B. 1992. Aspectos Genéticos de una Población de guajolote silvestre (*Meleagris gallopavo*) al Sureste de Nuevo León, México. Reporte Científico num. 30. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- 22 Smith E. J., Jhones C.P., Barttlet J., and Nestor K.E. 1996. Use of Randomly amplified polymorphic DNA markers for the genetic analysis of relatedness and diversity in chickens and turkeys. Poultry Science 75:579-584.
- 23.Stangel P.W. Leberg P.L., Smith J.I. 1992. Systematics and population genetics. In The Wild Turkey: Biology and Management Ed Dickinson Jg. pp 18-28.
- 24.Szalanaski A.L., Church K.E., Oates D.W., Bischof and Powers T.O. 2000. Mitochondrial-DNA variation within and among wild turkey (*Meleagris gallopavo*) subspecies. Transactions of the Nebraska Academy of Sciences, 26:47-53.
25. Trigueros-Campos J.C., López-Meza J.E., Cano-Camacho H., Zavala-Páramo M.G. 2003. Análisis molecular de dos poblaciones de guajolotes nativos mexicanos y una línea comercial de pavos por RAPD's. Tec. Pec. Mex. 41(1):111-120.

ANEXOS

Variedades de Guajolote asignadas por color del plumaje encontrados en Michoacán, de acuerdo a la Sociedad Americana de Avicultura

Variedades de guajolote asignadas por color de plumaje encontrados de Michoacán

Bronce



Narrangansett



Negro Español



Buffy o Chocolate



Palma Real



Slate



CAPÍTULO DE UN LIBRO

Se presenta el documento que corresponde al capítulo “Estudios moleculares del genoma del guajolote mexicano (*Meleagris gallopavo gallopavo*)”. Capítulo 8 en el libro “Uso de los recursos Zoogenéticos: Los Pavos”. Editores J. Santos Hernández Zepeda y Roberto Reséndiz Martínez, publicado por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Red Iberoamericana sobre la Conservación de la Biodiversidad de los Animales Domésticos Locales para el Desarrollo Rural Sostenible. (RED XII-H, FAO-CYTED), ISBN 968 863 922-2, Puebla, México pp. 89-102.

ESTUDIOS MOLECULARES DEL GENOMA DEL GUAJOLOTE MEXICANO

(*Meleagris gallopavo gallopavo*).

Rigoberto López Zavala, Horacio Cano Camacho, Omar Chassin Noria y María Guadalupe Zavala Páramo.

Centro Multidisciplinario de Estudios en Biotecnología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

INTRODUCCION.

El género *Meleagridinae* comprende las dos especies de guajolote conocidas y ambas se encuentran en México, una es el guajolote norteno (*M. gallopavo*), del cual se deriva el guajolote doméstico y la otra es el guajolote de monte (*M. ocellata*), que se presenta solamente en el sureste de México y zonas colindantes de Guatemala y Honduras (Leopold, 1990). De acuerdo a diferentes características morfológicas como tamaño, coloración de las patas, del pico o plumaje, se han reconocido seis subespecies (Stangel *et al.*, 1992): *M. g. intermedia* (Guajolote Río Grande), *M. g. merriami* (Merriam), *M. g. osceola* (Guajolote de la Florida), *M. g. silvestris* (Guajolote Silvestre), *M. g. mexicana* (Guajolote Gould) y *M. g. gallopavo* (guajolote doméstico). Las poblaciones silvestres de guajolotes de México, pertenecen a la subespecie *M. g. mexicana* y las domésticas obviamente a la subespecie *M. g. gallopavo* (Mock *et al* 2002).

El guajolote norteno es una especie originalmente neártica, su distribución se extiende hasta el sureste de Canadá, este y sureste de Estados Unidos donde se encuentran representantes de las seis subespecies. Las variedades comerciales de esta ave se han establecido por todo el mundo. En México se encuentra la subespecie de guajolote silvestre (*M. g. mexicana*) desde el norte del país hasta el centro (Mock *et al.*, 2002). Originalmente se encontraba en bosques de pino-encino de las mesetas del occidente de Sonora y Chihuahua, en Michoacán, en el este de México y los planos costeros de Coahuila, Tamaulipas y Veracruz (Leopold, 1990). Actualmente la distribución del guajolote silvestre (*M. g. mexicana*) se ha reducido hasta casi el 50% (Scott, 1992). Las principales causas de su desaparición progresiva en algunas áreas son la presión sobre su hábitat y la caza desmedida (Leopold, 1990). Existen algunos reportes de lugares donde el guajolote silvestre se ha extinguido, en Manantiales San

Luis (Chihuahua, reporte de 1907), Rancho Batel (Sinaloa, en 1938), Los Reyes y Pico de Tancítaro (Michoacán), Camargo, Soto la Marina (Tamaulipas), Cerro de la Silla (Nuevo León) y Sabinas (Coahuila) (Leopold, 1990).

El análisis molecular del genoma del guajolote (*Meleagris gallopavo*) se inició a mediados de la década pasada y a tomado un gran impulso desde el comienzo de este siglo. Varios análisis se han realizado a través del uso de algunos marcadores moleculares desarrollados para la construcción del mapa genético del pollo (Levin et al., 1995; Liu et al., 1996, Reed et al., 1999; Reed et al., 2003). De esta forma, entre los primeros marcadores desarrollados se encuentran las secuencias repetidas ó microsatélites (SSR) que se han empleado básicamente en el análisis de poblaciones de guajolote silvestre de localidades de EUA, revisándose aspectos tales como el impacto por reintroducción, evaluación de polimorfismo dentro y entre poblaciones (Smith et al., 1996), especiación (Szalanski et al., 2000), distancia y flujo genético dentro y entre poblaciones (Mock et al., 2002). Por otro lado, debido a la importancia económica del género *Meleagris*, se han realizado investigaciones para la descripción y caracterización parcial de bancos genómicos de guajolote comercial, enriquecidos con SSR, para desarrollar un mapa genético de utilidad pública (Huang et al., 1999). Actualmente, a nivel mundial la construcción del mapa genético del guajolote se está enfocando en el uso de mapas de ligación de polimorfismo de la longitud de fragmentos de restricción (RFLP) (Harry et al., 2003), mapas basados en SSR (Burt et al., 2003) y sitios de secuencia expresada (ESTs) (Dranchak et al., 2003; Smith et al., 2000).

En general, en atención al aspecto productivo de animales domésticos, los estudios moleculares que se están desarrollando, se enfocan en la identificación de rasgos productivos que implican la caracterización genética (diversidad) de la subespecie, la identificación individual, el seguimiento de líneas parentales, la búsqueda de patrones de paternidad, y la identificación de loci relacionados con características productivas o adaptativas. Hasta ahora, la mayoría del trabajo para el desarrollo del mapa genético del guajolote doméstico (*M. gallopavo g.*) se ha realizado en el pavo de líneas comerciales, como el denominado de doble pechuga ó Big-6 Large White. Pocos son los trabajos que se han realizado en el guajolote mexicano doméstico (de traspatio) (Trigueros et al. 2003; Chassin et al., 2005) a pesar de su valor nutrimental y cultural, por ello la investigación de genética molecular de esta especie tiene amplias perspectivas, ya que posee un fondo genético con características adaptativas y de

resistencia que se se pueden convertir en una fuente valiosa de genes para las poblaciones de guajolotes asociados a sistemas productivos altamente endogámicos que han perdido resistencia y otras características genéticas de interés pecuario. En la figura 1 se muestra un guajolote de traspatio de la zona de Coalcomán, Michoacán, y en la fig. 2 se observan pavipollos de la línea comercial Big large 6 de una granja de Apatzingán, Michoacán.



Figura 1. Ejemplar macho adulto de guajolote doméstico de traspatio variedad narrangest, foto tomada en el municipio de Coalcomán Michoacán.



Figura 2. Ejemplares de guajolote Big large 6 o doble pechuga criados en Michoacán, foto tomada en Apatzingán Michoacán.

En este capítulo revisamos los trabajos de investigación desarrollados sobre la estructura genética del guajolote mexicano (*M. gallopavo. g.*), considerando los estudios del ámbito internacional sobre las líneas comerciales para proporcionar la información preeliminar que ha servido para el avance de estudios a nivel nacional.

PROYECTO GENOMA DEL GUAJOLOTE Ó PAVO

El desarrollo de los mapas genéticos en aves se ha visto retrasado debido que presentan un bajo número de SSR si se compara con los mamíferos y debido también a la presencia de un gran número de microcromosomas citogenéticamente similares, que incrementan el número de grupos de ligación relativos al tamaño del genoma (Primer et al., 1997; Reed et al., 2000). Para el desarrollo del mapa genético del guajolote o pavo comercial, en una análisis preeliminar Reed et al. (1999) utilizaron una amplificación cruzada de especies, evaluando 141 juegos de oligonucleótidos de SSR de pollos, los cuales dieron un 55% de amplificación de loci en guajolotes. Posteriormente, en un nuevo análisis este grupo de investigadores evaluó 520 juegos de oligonucleótidos de SSR de pollo, obteniendo un 54% de amplificación de productos de PCR, de los cuales la mayoría fue similar, pero no idénticos en tamaño a los loci de pollos correspondientes. Después de probar la utilidad de los loci amplificados en la construcción del mapa genético de guajolote, se determinó el polimorfismo alélico para 57 de los 280 loci amplificados. Estos investigadores concluyeron que sólo alrededor del 20% de los SSR de pollo son útiles en la construcción del mapa geonómico del guajolote (Reed et al 2000), sin embargo, las investigaciones de Reed et al. (2002, 2003a, 2003b) han identificado nuevos SSR del genoma del guajolote.

De manera paralela, Huang et al (1999) construyeron tres genotecas de guajolote enriquecidas para los repetidos, TG, GAT y CCT cuyos fragmentos presentan un rango de tamaño de 300 a 500 pares de bases (pb), a partir de 72 pavipollos provenientes de tres familias obtenidas por retrocruza desarrolladas por cruzamiento de un guajolote silvestre (*M. gallopavo*) con tres hembras Orlopp línea C. Se demostró que la alta frecuencia de repeticiones TG relacionadas con GAT y CCT, es similar a lo reportado por otros autores. En este trabajo se consideró por primera la necesidad de desarrollar un mapa genómico del guajolote o pavo de uso público.

Recientemente, Burt et al. (2003) publicaron un mapa preeliminar de ligación, enriquecido con secuencias de SSR con el repetido GT. Estos investigadores identificaron 20 grupos de ligación que incluyen al cromosoma Z, los cuales contienen 74 marcadores bien establecidos y 37 aún no asignados. La información para las condiciones de amplificación así como los mapas genéticos de ligación y los tamaños de los alelos fueron puestos en el sitio de internet <http://roslin.therarkdb.org/> para ser consultados libremente y las muestras de ADN puede solicitarse al Instituto Roslin.

Un mapa genético preeliminar basado en marcadores RFLP se ha reportado y puesto en el sitio de internet <http://www.tc.umn.edu/~reedx054/Turkeygenome.htm> por Harry et al., (2001). En este sitio de Internet, La Universidad de Minnesota, en su Proyecto de Genoma de pavo, tiene disponibles las secuencias de primers para 233 locus, desarrollados para identificar loci microsatélites. Posteriormente el mismo grupo de investigación a continuado con la construcción del mapa mediante una estrategia basada en los patrones de herencia de marcadores de RFLPs producidos con sondas de ADNc en Southern blots. En este caso se utilizaron clones de una genoteca de ADNc embrionario para detectar grupos de genes involucrados en estructura, metabolismo y señalización celular (Harry et al., 2003). En dos trabajos posteriores la investigación abordó la generación de ESTs a partir de esta genoteca de ADNc, para la identificación de marcadores asociados a estadios del desarrollo embrionarios (Chaves et al., 2005). Se estima que el guajolote posee unos 25000 genes, de los cuales solo unos cuantos (alrededor de 300) se han decodificado y secuenciado, lo que determina que aun falta mucho por hacerse en este aspecto.

ESTUDIOS GENETICOS EN POBLACIONES DE GUAJOLOTES.

Los trabajos relacionados con la caracterización genética de poblaciones de guajolotes silvestres y domésticos han utilizado diversas fuentes de marcadores. En el caso de los marcadores dominantes de patrón múltiple, se ha demostrado que los marcadores tipo RAPD son aplicables para el trazo fácil de cromosomas sexuales, además de estar distribuidos en el genoma uniformemente y de que su polimorfismo se puede utilizar en análisis de secuencias de la regiones correspondientes de los genomas parentales, y cuando esto se realiza los RAPD se convierten en STS (Sitios etiquetados en la secuencia) (Dodgson, 1997). Recientemente en nuestro grupo de investigación, hemos utilizado marcadores RAPD para el desarrollo de los

primeros estudios de diversidad genética en poblaciones de guajolotes de traspatio (*M. gallopavo g.*) de algunas localidades del Estado de Michoacán en México. De manera preeliminar, utilizando un oligonucleótido seleccionado entre seis por presentar un patrón múltiple polimórfico, analizamos dos poblaciones de guajolotes de traspatio y una población de la línea comercial de pavos de doble pechuga Big-6 Large White (30 individuos en total), encontrando un alto nivel de locus polimórficos (58.3%) entre las poblaciones estudiadas, así como locus monomórficos que podrían utilizarse como marcadores dominantes multilocus, los cuales además podrían estar relacionados con características específicas de interés comercial en las líneas comerciales. En las figuras 3 y 4 se muestran los patrones de bandeo de ADN obtenidos en el análisis de RAPDs (Trigueros et al., 2003).

Siguiendo con esta línea de investigación, también mediante el uso de marcadores RAPD generados con el oligonucleótido seleccionado en el trabajo anterior, realizamos un análisis preliminar de diversidad genética dentro y entre dos poblaciones de guajolotes de traspatio del Estado de Michoacán (Posta Zootécnica en Morelia y Purururan, Municipio de Turicato), cuatro poblaciones de traspatio del Estado de Puebla (Localidades de Rafael Lara Grajales, Tetimehuacán, Soltepec y Hueyotilpán) y una población de pavo comercial (Big-6 Large White) de Michoacán (Municipio de Morelia) (65 individuos en total).

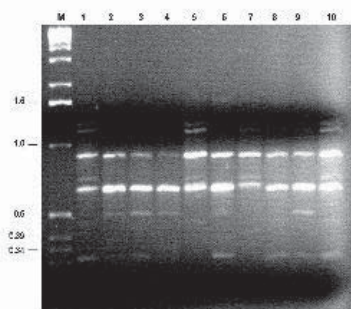


Figura 3. Patrón electroforético obtenido por RAPD's con 10 muestras de ADN de guajolotes nativos de la Posta. Gel de agarosa al 2% con Buffer TAE y teñido con bromuro de etidio. En el carril M, se muestra el marcador de tamaño molecular 1 kb DNA Ladder, en los carriles 1-10 se muestran los patrones de bandeo por RAPD's.

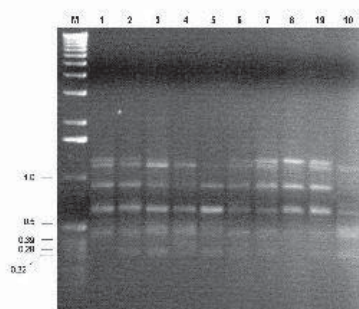


Figura 4. Patrón electroforético obtenido por RAPD's con 10 muestras de ADN de pavos de la línea comercial "Big-6 Large White". Gel de agarosa al 2% con Buffer TAE y teñido con bromuro de etidio. En el carril M, se muestra el marcador de tamaño molecular 1 kb DNA Ladder, en los carriles 1-10 se muestran los patrones de bandeo por RAPD's.

Se obtuvieron 18 locus de los cuales de acuerdo a la regla de 95% de Hart y Clark (1989), el 39% fueron monomórficos y el 61% fueron polimórficos. Los valores de diversidad genética más altos se obtuvieron para las poblaciones de traspatio del Estado de Michoacán (Bajos valores de endogamia), siguieron a estos los valores intermedios de la población comercial, mientras que los más bajos y similares entre si fueron los de las poblaciones de traspatio del Estado de Puebla (altos valores de endogamia). Adicionalmente, mediante un análisis de distancia genética entre las poblaciones y la construcción del consenso de mayoría, se generó un fenograma (Figura 5) que ubicó a las poblaciones de Puebla en una rama con un valor de “bootstrap” de 88%, una de las poblaciones de guajolotes de traspatio de Michoacán (Posta Veterinaria) mostró una alta diferenciación genética con respecto al resto de las poblaciones (100% valor bootstrap), mientras que la población comercial "Big-6 Large White" se agrupó estrechamente con la población de traspatio colectada en el municipio de Turicato, Michoacán. Los resultados de este trabajo muestran que es posible diferenciar e inferir eventos históricos de las poblaciones en virtud de sus características genéticas con un análisis preeliminar, sin embargo, consideramos que es necesario que se incremente el número de marcadores y que se utilicen marcadores tipo SSR, AFLP y RFLP (Chassin et al., 2005).

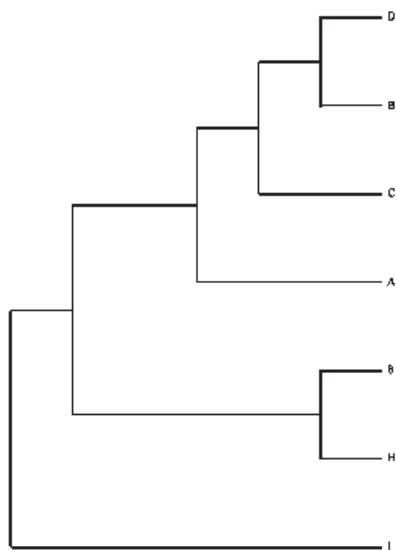


Figura 5. Fenograma UPGMA sin raíz, obtenido como consenso de mayoría generado a partir de 100 réplicas bootstrap, obtenidas de la matriz de datos original. Los números en las ramas representan valores bootstrap; A, B, C y D poblaciones de Puebla; 6 población de la línea comercial “Big-6 Large White”; H e I poblaciones de Michoacán.

En el caso de la aplicación de marcadores codominantes e individuales, en poblaciones de guajolote silvestre, existe el reporte de un trabajo donde se analizó la variación de ADNmt intra e interespecífica de *M. gallopavo* en Nebraska (EUA), buscando definir un estatus de subespeciación de *M. gallopavo*. Basándose en la variación de la secuencia de la región control del ADNmt de 25 individuos de 4 subpoblaciones (*M. g. silvestris*, *M. g. intermedia*, *M. g. merriami* y *M. g. gallopavo*) se encontraron 16 sitios polimórficos. Se usó PCR-RFLP en 118 individuos de las cuatro subpoblaciones y los resultados revelaron 13 haplotipos diferentes. Con estos resultados, se concluyó que no existe diferencia significativa para que los guajolotes de estas subpoblaciones tengan estatus de subespecie y que la elevada similitud entre guajolotes silvestres y domésticos basada en la secuenciación de ADNmt y PCR-RFLP que se encontró, pone en duda que estas aves difieran considerablemente. En este trabajo se predice sólo un 0.0008% de divergencia en la secuencias durante el tiempo transcurrido a partir de la domesticación de esta ave (Szalanski *et al.*, 2000). En un estudio con otro tipo de marcadores, Latch *et al.* (2000) utilizaron SSR para detallar los niveles de polimorfismo y heterocigocidad en 7 loci de SSR en el guajolote silvestre del Este de EUA (*M.g. silvestris*), y su amplificación con niveles de polimorfismo en el guajolote doméstico (*M. gallopavo*). El número de alelos por locus promedio fue desde 5 a 15 para el guajolote silvestre, mientras que en el guajolote doméstico mostró un número reducido de polimorfismo por locus y un bajo nivel de heterocigosis que indica baja variabilidad genética en la población del guajolote doméstico analizado.

Por otro lado, Mock *et al.* (2002) reportaron el uso de SSR, secuenciación de la región control de ADN mitocondrial (RC de ADNm) y AFLP para analizar el genoma del guajolote silvestre. Este grupo de investigación comparó 2 poblaciones de *M. g. merriami* y 3 poblaciones de *M. g. mexicana* con la intención de averiguar si en Arizona (montañas Huachuca) se había producido una mezcla entre dos poblaciones de guajolotes. En 1950 introdujeron guajolotes *M. g. merriami* (Merriam) en una zona originalmente poblada con *M. g. mexicana* (Gould) mediante un programa de reintroducción de la población original, y posteriormente se cazó y eliminó de las montañas Huachuca a *M. g. merriami*. Para 1983 reintrodujeron a *M. g. mexicana* (procedentes de México), pero se creyó que *M. g. merriami* no fue totalmente extirpada antes de la llegada de los pobladores originales, y que la población hasta ese momento era una mezcla de estas dos subespecies. Se planteó buscar diferencias

genéticas entre poblaciones relicto de *M. g. merriami* y *M. g. mexicana*, determinar afinidades genéticas de poblaciones silvestres y evaluar la diversidad genética de guajolotes silvestres de las montañas Huachuca. Para ello se secuenciaron 453 pb de la región control del ADNmt de 89 individuos de ambas subespecies más la población en duda, encontrándose 10 nucleótidos variables y 9 mitotipos. Se encontró además, que las secuencias de los individuos de las montañas Huachuca eran idénticas a las de los individuos Gould de México. Dos mitotipos de individuos de dichas montañas difirieron sólo por una transición, lo que separa claramente a los guajolotes Merriam de los Gould y sugieren que todos los haplotipos de las montañas Huachuca derivan del mitotipo Gould. Con AFLP estos investigadores reportaron 75 *loci* polimórficos que muestran una clara separación entre poblaciones Merriam y Gould, donde la población de Huachuca no difiere significativamente de Gould pero si de Merriam. Con microsatélites se encontró que en la población de Huachuca un individuo comparte sólo un alelo con Gould y 3 comparado con Merriam, 8 alelos de Merriam están ausentes en Gould y ninguno se encuentra en Huachuca, 6 de estos están en Gould y ausentes en Merriam, 3 de ellos establecidos en Huachuca. Con estos argumentos concluyeron que las poblaciones de Merriam y Gould difieren genéticamente y que no existe cruce de ellas en las de Huachuca.

En un trabajo posterior, Mock et al 2004 abordó el análisis de variaciones genéticas entre subespecies de guajolotes silvestres a través de AFLP, SSR y análisis de la región control de ADN mitocondrial. Colectaron muestras a partir de 24 poblaciones que comprendían representantes de las 6 subespecies de guajolote incluyendo a *M. ocellata*, tomadas de acuerdo al historial de su distribución geográfica: del Este de EUA, de Florida (EUA), de Río Grande (incluyó una del Estado de Nuevo León, México), Merriam y Gould (estas poblaciones fueron colectadas en los Estados de Sonora y Chihuahua). Se secuenció la región control del ADNmt (de 438 pb) encontrando 42 mitotipos con 31 sitios polimórficos; con SSR encontraron 5 *loci*, con un número de alelos detectados por locus altamente variable, y por lo tanto frecuencias genotípicas significativamente diferentes, y con AFLP se obtuvo 83 *loci* polimórficos. A partir de los resultados de este trabajo se demostró que 5 subespecies corresponden con la designación basada en características morfológicas y que las subespecies del Este de EUA (*M.g. silvestris*) y Florida (*M. g. osceola*), son diferentes y forman unidades individuales. Los patrones genéticos son consistentes con los patrones históricos y actuales de su continuidad en el hábitat. Las poblaciones de Merriam's mostraron una asociación positiva

entre distancia genética y geográfica; las poblaciones del Río Grande mostraron una asociación pico y las poblaciones del Este de EUA no mostraron asociación, sugiriendo diferencias demográficas. Este grupo de investigación recomienda reconocer la importancia de mantener estructuras de poblaciones regionales que puedan reflejarse en variaciones adaptativas.

Dada la importancia que tiene el análisis del genoma del guajolote mexicano silvestre y de traspatio, actualmente en nuestro laboratorio se esta desarrollando un proyecto de investigación para la caracterización molecular y productiva de poblaciones de guajolote de traspatio de las diferentes áreas biogeográficas del Estado de Michoacán, México. Entre los resultados preeliminares de este trabajo podemos mencionar que contamos con los datos para la caracterización morfométrica, reproducción y sistemas productivos de las poblaciones de esta ave. Por otro lado, se estan empezando a generar las bases de datos moleculares a través de marcadores SSR para su uso en la búsqueda de rasgos productivos de interés pecuario y para el análisis de diversidad dentro y entre las poblaciones, flujo genético, etc.

LITERATURA CITADA

1. Burt D.W., Morrice D.R., Sewalem A., Smith J., Paton I.R., Smith E.J., Bently J. and P.M.Hocking. 2003. Preliminary linkage map of the turkey (*Meleagris gallopavo*) based on microsatellite markers. *Animal Genetics*. 34: 399-409.
2. Chassin-Noria O., Lopez-Zavala R., Cano-Camacho H., Suárez-Corona E., Juárez-Caratachea A. y Zavala-Páramo M.G. 2005. Diversidad y Similitud Genética entre poblaciones de guajolotes mexicanos utilizando un método de amplificación aleatorio de ADN polimórfico (RAPD). *Tec Pec Mex* 43(3): 415-424.
3. Chávez L.D., Rowe J.A. and Reed. K.M. 2005. Survey of a cDNA from the trukey (*Meleagris gallopavo*). *Genome*. 48: 12-17.
4. Dodgson J.B., Hans H., and R.Okimoto. 1997. DNA marker technology: a revolution in animal genetics. *Poultry Science* 76: 1108-1114.
5. Hartl D.L. and Clark A.G. 1989. Principles of population genetics. Sinauer Associates. Sunderland, Massachusetts, USA.

6. Harry D.E., Marini, P.J., Zaitlin D. and Reed, K.M. 2003. A first generation of map of turkey genome. *Genome*, 46: 914-924.
7. Huang H.B., Song Y.Q., Hsei M., Zahorchak R., Chiu J., Teusher C., and Smith E. J. 1999. Development and characterization of genetic mapping resources for the turkey (*Meleagris gallopavo*). *The journal of Heredity*, 1:240-242.
8. Latch E.K., Watson C.J., Mock K.E., Rhodes O.E. 2000. Microsatellite polymorphisms in wild turkeys. En: http://www.umn.edu/scb2000/abstract_info.asp?id=315. Fecha de consulta: 31 marzo 2004.
9. Latch E.K., Smith E.J. and Rhodes Jr. O.E. 2002. Isolation and characterization of microsatellite loci in wild and domestic turkeys (*Meleagris gallopavo*). *Molecular Ecology Notes*, 2: 176-178.
10. Leopold S.A. 1990. Fauna Silvestre de México: Aves y Mamíferos de caza. 2^a ed. Ediciones Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. México, D.F.
11. Levin I., Santangelo L., Cheng H., Crittendend L.B. and Dogdson J.B. 1994. An Autosomal genetic linkage map of the chicken. *Journal Heredity*, 85:79-85.
12. Minnesota Turkey Genoma Project. Turkey microsatellite loci developed at University of Minnesota. In: <http://www.tc.umn.edu/~reedx054/Turkeygenome.htm>. Fecha de consulta 30 Abril de 2006.
13. Mock K.E., Theimer T.C., Rhodes Jr. O.E., Greenberg D.L. and Keim P. 2002. Genetic variation across the historical range of the wild turkey (*Meleagris gallopavo*). *Molecular Ecology*, 11:643-657.
14. Mock K.E., Match E.K. and Rhodes Jr. O.E. 2004. Assessing losses of genetic diversity due to translocation: long-term case histories in Merriam's turkey (*Meleagris gallopavo merriami*). *Conservation Genetics*, 5: 631-645.
15. Primmer, R.C., T.Raudsepp, P.B Chowdhary, Pape M.A, and Ellegren, H. 1997. Low Frequency of Microsatellites in the Avian Genome. *Genome Research*, 7:471-482.
16. Reed K.M., Mendoza K. M. and Beattie C. W. 1999. Utility of Chicken-specific microsatellite primers for mapping turkey genome. *Animal Biotechnology*. 10:137-41.
17. Reed K.M., Mendoza K.M. and Beattie C.W. 2000. Comparative analysis of microsatellite loci in chicken and turkey. *Genome Oct*:43(5):796-802.

18. Reed K.M., Chávez L.D. and Rowe J.A. 2002. Twelve new turkey microstellite loci. *Animal Biotechnology*, 13(2):203-9.
19. Reed K.M., Chávez L.D., Garbe J.R., Da Y. and Harry D.E. 2003a. Allelic variation at avian microstaellites in a new turkey population for genetic mapping. *Cytogenet. Genome Res.* 120:331-339.
20. Reed, K.M., Chávez L.D., Hall M.K., Knutson T.P., Rowe J.A. and Torgersen, A.J. 2003b. Microsatellite loci for genetic mapping in the turkey (*Meleagris gallopavo*). *Anim. Biotech.* 14:119-131.
21. Scott M. L y Müller-Using B. 1992. Aspectos Genéticos de una Población de guajolote silvestre (*Meleagris gallopavo*) al Sureste de Nuevo León, México. Reporte Científico num. 30. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León.
22. Smith E. J., Jhones C.P., Bartlett J., and Nestor K.E. 1996. Use of Randomly amplified polymorphic DNA markers for the genetic analysis of relatedness and diversity in chickens and turkeys. *Poultry Science* 75:579-584.
23. Stangel P.W. Leberg P.L., Smith J.I. 1992. Systematics and population genetics. In *The Wild Turkey: Biology and Management* Ed Dickinson Jg. pp 18-28.
24. Szalanaski A.L., Church K.E., Oates D.W., Bischof and Powers T.O. 2000. Mitochondrial-DNA variation within and among wild turkey (*Meleagris gallopavo*) subspecies. *Transactions of the Nebraska Academy of Sciences*, 26:47-53.
25. Trigueros-Campos J.C., López-Meza J.E., Cano-Camacho H., Zavala-Páramo M.G. 2003. Análisis molecular de dos poblaciones de guajolotes nativos mexicanos y una línea comercial de pavos por RAPD's. *Tec. Pec. Mex.* 41(1):111-120.

ARTÍCULO ARBITRADO

Se publicó una revisión titulada “Selección Asistida por marcadores genético moleculares en animales de interés pecuario” en la revista Ciencia Nicolaita UMSNH, 2007, 46:43-56. ISSN 0188-9176.

SELECCIÓN ASISTIDA POR MARCADORES GENÉTICOS MOLECULARES EN ESPECIES ANIMALES DE INTERÉS PECUARIO

Rigoberto López-Zavala¹ Horacio Cano-Camacho¹, Omar Chassin-Noria² y María
Guadalupe Zavala-Páramo¹

¹Centro Multidisciplinario de Estudios en Biotecnología-Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, ²Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

RESUMEN

La publicación de la secuencia completa del genoma humano incrementó el interés en el estudio de los genes y la caracterización genético-molecular de las especies a través de la identificación de secuencias y de marcadores genéticos. Algunos de estos marcadores identificados en estudios de especies animales se han correlacionado con características ó rasgos fenotípicos, por lo cual se les denomina como Locus para una Característica Cuantificable (QTL por sus siglas en inglés). La identificación de estos marcadores ligados a características de interés productivo en individuos de especies animales de interés pecuario se ha convertido en una herramienta útil para la selección asistida por marcadores. La combinación de esta última con los sistemas tradicionales de selección animal, ha permitido que la mejora genética animal logre avances más rápidos, incrementando la confiabilidad de la selección, particularmente en algunas características que son difíciles de medir, porque se presentan a edades tardías o se evalúan hasta que los animales son sacrificados. En la actualidad se han identificado varios marcadores relacionados con características productivas deseables, o con características no deseables, en especies animales productivas como bovinos, porcinos y ovinos, cuya utilización en la selección asistida por marcadores permite a los productores definir mejor sus metas de producción con calidad.

Palabras Clave: Marcadores, selección animal, caracteres productivos, loci.

ABSTRACT

The publication of the complete sequence of the human genome increased the interest in genetic and genomic studies through the identification of genes and

genetic markers. Some of these genetic markers identified in studies of animal species have been correlated with phenotypic traits and they are called Quantitative Trait Locus (QTL). The identification of these markers linked to productive traits in individuals of domestic species, has become in to a useful tool to the marker-assisted selection. The combination of this tool with the traditional animal selection systems, has allowed that the genetic animal improvement obtain faster advances, increasing the reliability of the selection particularly for some traits difficult to measure, because those appear at older ages, or are not evaluated until the animals are slaughtered. At the present time several markers related to desirable productive traits, or non-desirable traits, in productive animal species such as bovine, porcine and ovine have been identified and their use in marker-assisted selection allows animal producers to better define their goals of production with quality.

Key words: Markers, animal selection, productive traits, loci.

INTRODUCCIÓN

Con la obtención de la secuencia completa del genoma humano se despertó el interés de muchos grupos de investigación que crearon una disciplina más dentro de la biología molecular: la genómica, cuyo principal objetivo de estudio es la caracterización molecular de los genomas completos. Con la genómica surge entonces la integración de las cinco áreas tradicionales de la genética: La genética mendeliana, la citogenética, la genética molecular, la genética de poblaciones y la genética cuantitativa (Dunner y Cañón, 2004). El genoma consiste físicamente de largas secuencias de ácidos nucleicos (cromosomas) que constituyen la fuente de la información hereditaria de cada organismo, y al genoma de cada individuo se le denomina genotipo. Funcionalmente, el genoma se divide en genes y cada gen es una secuencia de ácido desoxiribonucleico (ADN) (excepto en el caso de los virus cuyo genoma puede ser ácido ribonucleico, ARN) que codifica para una proteína u otro producto difusible (ARNs de transferencia tARNs, ribosomales rARNs, de interferencia iARNs, etc.).

De acuerdo con las leyes de Mendel, el gen es un factor particular que pasa sin cambio de los padres a los hijos y puede existir en formas alternativas a las cuales se les llama alelos. En los organismos diploides (con dos copias de cada uno de sus

cromosomas), una de las dos copias de los genes es el alelo que aporta el padre y la otra copia es el alelo que aporta la madre. Cada cromosoma es un arreglo lineal de genes, y a la localización de cada gen en el cromosoma se le llama locus (loci en plural). Existe un proceso al cual se denomina ligamiento, en donde los alelos sobre un mismo cromosoma tienden a permanecer juntos en la progenie en lugar de segregarse de manera independiente de acuerdo con las leyes de Mendel; a esta unidad de genes se le denomina grupo de ligamiento. Estas unidades de recombinación como medida del ligamiento han hecho posible la construcción de mapas genéticos. Sin embargo, el genoma no solamente contiene genes, sino también existen en él secuencias no codificantes que sin función específica definida pueden ser utilizados como puntos de marca o anclaje (marcadores), cuando éstas se encuentran unidas o cercanas a las secuencias propias de los genes.

Una vez que se identifican los genes y sus “marcas”, y su correlación con una característica productiva (por ej. incremento de peso, producción de leche, carne magra), se consigue tener lo que se denomina como Locus para una característica o rasgo cuantificable (QTL por sus siglas en inglés). La utilidad de los QTL es de mucha importancia, porque estas secuencias se pueden utilizar para llevar a cabo la genotipificación de individuos en las poblaciones de especies animales, entre los que se puede detectar a aquellos que son portadores de estos marcadores para ser seleccionados, y con ello desarrollar programas de selección basados en estos QTL. A este tipo de selección se le ha denominado selección asistida por marcadores (SAM) y selección asistida por genes (SAG) (Dekkers, 2004; FAO, 2003).

En la presente revisión se tratará sobre la SAM y la SAG, su desarrollo e implementación en especies productivas de animales de interés pecuario.

MARCADORES GENÉTICOS

Los marcadores genéticos moleculares son fragmentos de ADN que sirven de referencia para detectar la transmisión de un segmento de cromosoma de una generación a otra. El término marcador se utiliza aquí en el sentido de marcador genético, y se usa como sinónimo de marcador de locus; un lócus polimórfico que indica el genotipo del individuo que lo lleva (con este propósito se utilizan marcadores en genética de poblaciones), ó el genotipo de uno o de varios loci

ligados al marcador (de Vienne, 2003).

Los marcadores genéticos moleculares se aplican en diferentes campos de investigación; se utilizan en el aislamiento de genes con función desconocida, gracias al conocimiento de su posición en el genoma; en el campo de la evolución, mediante la comparación de mapas genéticos, para la ubicación de las alteraciones estructurales del genoma que ocurren durante la diversificación de un género o familia; en la genética formal, para el análisis sistemático de los factores que influyen la recombinación; y en genética de poblaciones se puede medir la diversidad y el flujo genéticos. Sin embargo, el campo más favorecido por los marcadores moleculares es la genética cuantitativa, considerada como una “ciencia de las ingenierías” debido a que es más utilizada por los criadores que por los investigadores (de Vienne, 2003). La genética cuantitativa tiene éxito en áreas que incluyen; el análisis de las bases genéticas de la variación morfológica, para el desarrollo de estrategias para la caracterización de genes que se puedan “cuantificar” (QTL); la selección asistida por marcadores (SAM), en el caso de características influenciadas por varios genes, ó poligénicas; y la selección asistida por genes (SAG), en el caso de características influenciadas por un solo gen, ó monogénicas. La SAM y la SAG son dos herramientas poderosas en el mejoramiento de plantas y animales (de Vienne, 2003; Dekkers, 2004; Makker, 2005).

Los marcadores genéticos tienen muchas aplicaciones en diferentes fases de programas de selección: la optimización para la conservación de fuentes de genes, selección de padres, identificación de alelos favorables, y desarrollo de genotipos que acumulen tales alelos (Charcosset y Gallais, 2003). Cualquier contribución de los marcadores moleculares a la selección, se basa en la disponibilidad de marcadores ligados a aquellos genes involucrados en la variación de la característica seleccionada (Stuber, 1995). Así, la aplicación de la SAM y SAG se puede utilizar para el desarrollo de genotipos particulares y para el mejoramiento de poblaciones por selección recurrente (Charcosset y Gallais, 2003).

La clasificación por los criterios moleculares considera dos grupos de marcadores: a) Las secuencias múltiples (incluyendo inserciones y eliminaciones); polimorfismo en la longitud de un segmento amplificado (AFLP), polimorfismo de

ADN amplificado al azar (RAPD), polimorfismo de la longitud de un fragmento de restricción (RFLP), microsatélites (SSR), sitios etiquetados para la expresión (EST): y b) Secuencias de nucleótido sencillo o único. Las ventajas y desventajas de su uso y aplicación se han discutido recientemente (Zavala-Páramo et al., 2002; Makker, 2005). La identificación de estos marcadores moleculares ha permitido la determinación del genotipo actual en un locus ó loci específico sin errores debidos a los efectos ambientales. En este sentido se pueden identificar genotipos en loci cuyos genes tienen efectos directos sobre una característica particular (Van der Werf, 2000). Los marcadores genéticos tienen diferentes aplicaciones potenciales en ganadería como son: el establecimiento de paternidad, identificación oportuna de defectos, o identificación de características productivas como la presencia de cuernos, ó pelaje, e identificación de enfermedades genéticas, entre otras (Salazar-Marroquín et al., 2004; Casas et al., 2006). Por otro lado, la respuesta biológica de los individuos en un ambiente dado, se establece gracias a uno o un grupo de genes que son los responsables de que un animal sea inferior o superior en cuanto a producción se refiere; que manifieste un color u otro, un incremento de masa muscular, un incremento en la producción de leche ó que haya un incremento en la prolificidad. Independientemente de cuales sean los que se utilicen, los marcadores genéticos pueden aplicarse para identificar algún locus del genoma, que se encuentre cerca de un gen específico que codifique una característica en particular (Anderson, 2001).

Los marcadores genéticos han permitido detectar algunos QTL en los cromosomas y la identificación de dichos marcadores, y su subsiguiente ubicación en los mapas de ligamiento ha permitido identificar las regiones cromosómicas donde residen éstos. La distancia entre el marcador y el gen o QTL que codifica una característica cuantitativa es importante para su efecto, es decir, es necesaria una distancia entre 15 a 50 centimorgan (cM, unidad arbitraria utilizada para medir distancia entre locus en los cromosomas) para lograr un efecto de medio a alto (Dekkers, 2004) o de 5 cM para garantizar un efecto mayor (Huiying et al., 2001). Una vez identificado y medido el efecto de un QTL, es posible incorporarlo a esquemas de mejoramiento genético (Casas, 2004, 2006). De esta forma, el uso de

la genómica es útil para mejorar características productivas que se limitan por el sexo, que tienen una baja heredabilidad (valor de la variación fenotípica dentro de un grupo de individuos debido a factores genéticos, en donde alta heredabilidad corresponde a un valor de 1, baja heredabilidad de 0.2 a 0.3 y nula heredabilidad de 0), que son costosas de medir o que se miden hasta que el animal alcanza una talla adulta. (Broker, 1999; Meuwissen, 2003; Casas, 2004).

SELECCIÓN TRADICIONAL Y SELECCIÓN ASISTIDA POR MARCADORES, GENES y QTL

La crianza animal moderna comenzó con la utilización de sistemas de cruce entre animales para satisfacer necesidades humanas inmediatas; posteriormente, la genética animal moderna surgió cuando los cruzamientos se operaron para el logro de metas bien establecidas: mayor producción de leche y carne, producción eficiente, y camadas más numerosas (Casas, 2004). Estos cruzamientos se realizaban entre individuos cuya información productiva o fenotípica contribuía a identificar los genes que expresan rasgos productivos (Van der Werf, 2000). De este modo, la selección tradicional se basaba en el modelo poligénico de características cuantitativas (BLUP por sus siglas en inglés; best lineal unbiased production), que emplea la información fenotípica y el pedigrí para establecer valores de crianza individuales en los animales (Gelderman, 1975; Huiying et al., 2001). Históricamente, no se conoce cuáles son los genes que contribuyen para que se expresen las características de comportamiento productivo y por ello se han utilizado registros de comportamiento fenotípico (Montaldo y Meza-Herrera, 1998), así como herramientas para inferir el mérito genético de los animales (diferencia esperada en la progenie [DEP] en bovinos de carne; evaluación genética integral en ganado bovino de leche, comportamiento productivo en cerdos, ovinos y cabras).

Estas herramientas son útiles para el mejoramiento de características productivas en animales de granja, sin embargo, no se sabe cuáles genes son los que contribuyen para una DEP dada, más aun porque las características complejas como peso al nacer, peso al destete, producción de leche, producción de huevo, reproducción, calidad de canal, entre otros, están controlados por muchos genes y también se ven afectados por el medio ambiente (por ejemplo, condiciones de

alimentación), por lo que el estudio de la variación dentro de genes está teniendo un gran impacto sobre el fenotipo de animales de granja (Casas, 2006). Si se considera el aspecto genético de una característica, se sabe que los genes se heredan por una misma vía: el individuo recibe dos copias, una del lado paterno y otra del lado materno, el o los alelos que controlan la característica en estas copias pueden ser idénticos o bien diferir uno de otro, por lo que el resultado de su expresión para un fenotipo de interés productivo puede ser positivo o negativo. Por otro lado, cuando se tiene una DEP positiva para cierta característica se considera correcta porque está basada en el pedigrí (árbol genealógico) y en el fenotipo, y su grado de herencia es mayor que el número promedio de variantes genéticas de cada gen que afecta la característica en particular. El éxito de las herramientas mencionadas se basa en la creencia de que hay un grupo de genes que contribuyen cada uno con poco efecto a tal o cual característica; tal es el caso de los caracteres complejos (como el de crecimiento) que son producto de la expresión de varios genes ligados, cuya expresión individual disminuye notablemente el fenotipo. A este modelo se le conoce como infinitesimal y también se basa en la selección de los posibles progenitores a través de valores de crianza o cruza cuyo modelo se basa en BLUP (Dekkers, 1999).

La nueva información generada con marcadores genético-moleculares, genes candidatos y QTL, cada vez es más abundante, y ésta puede ser utilizada para diseñar un esquema de SAM o SAG (Dekkers, 2004). Los genes principales (genes mayores) son genes individuales que contribuyen con una proporción significativa en la variación de características económicamente importantes. La biología molecular puede utilizarse para identificar y caracterizar a estos genes. Las decisiones de selección tomadas sobre otras técnicas o modelos de selección como las DEP, cuyo valor económico estriba en estimar el valor de crianza de todos los genes “no marcados” que contribuyen con la característica dada han sido muy útiles, pero si a estas se les agrega la detección o la presencia de un marcador genético-molecular, la selección animal se ejerce con mayor precisión, sin embargo, la SAM es una herramienta que asiste pero no reemplaza las técnicas tradicionales de selección animal (Van Eenennaam, 2006).

La SAM permite realizar una selección objetiva y confiable de las variaciones

específicas del ADN que se encuentran asociadas con una diferencia cuantificable, o efecto sobre un determinado carácter o complejo de caracteres. Es importante considerar que la realización de SAM funciona mejor cuando se efectúa en características complejas, como el crecimiento y el marmoleo (infiltración de grasa en el músculo en el ganado bovino), las cuales se encuentran asociadas con varios genes que contribuyen juntos para estas características. Esta contribución es particularmente mayor por uno de estos genes el cual es el marcador en cada caso, sin embargo, la presencia o ausencia de los genes “no marcadores” y el ambiente determinan si el animal posee el fenotipo deseado (alto peso al destete, alto marmoleo, etc.) (Casas, 2006; Van Eenennaam, 2006).

UTILIZACION COMERCIAL DE MARCADORES GENÉTICOS EN ESPECIES ANIMALES DE INTERÉS PECUARIO

En la actualidad se cuenta con marcadores genéticos confiables que son útiles para la genotipificación y la detección de los individuos que son portadores de genes para producir, con predisposición para desarrollar algún proceso patológico, ó genes que confieren resistencia a ciertas enfermedades. Al identificar a los individuos poseedores de estos marcadores se pueden comenzar a diseñar cruzamientos, sistemas de mejora genética o planear la producción con objetivos de producción bien definidos. En el Cuadro 1 se citan algunos marcadores que se pueden utilizar para genotipificar individuos de las especies animales de interés pecuario.

Se citan marcadores, genes ó QTL que están disponibles a nivel comercial para identificar a aquellos individuos bovinos, porcinos u ovinos portadores de rasgos productivos deseables (miostatina en bovino, gen boorola en ovino) o indeseables (por ejemplo, la rianodina, el gen de hipertermia maligna en cerdo y el gen del síndrome de patas de araña en ovino).

Una vez obtenida esta información genética, la misma se puede aplicar para llevar a cabo programas de cruzamiento o de mejora genética, para mejorar la productividad animal, para elevar la calidad de los productos que derivan de los animales domésticos, para establecer denominaciones de origen de productos pecuarios o para eliminar los animales portadores de genes indeseables.

Cuadro 1. Marcadores utilizados a escala comercial para ser tomados en cuenta en la selección de individuos asistida por marcadores-genes.

Especie	Locus/Gen/QTL	Nombre/Función	Característica(s) afectada(s)
Bovino	DGAT1	Diacilglicerol	Composición de la leche
	CAPNI	acetiltransferasa	Terneza de la carne
	CAST	μ -Calpaina	Terneza de la carne
	LEP	Calpastatina	Engrasamiento de la canal
	TG	Leptina	Engrasamiento intramuscular
	MSTN	Tiroglobulina	Doble musculatura
	IFNG	Miostatina	Resistencia a nemátodos
	GHR	Interferón gama Receptor de la hormona del crecimiento	Peso al destete y canal
Porcino	HAL/RYOR1	Receptor de rianodina o hipertermia maligna	Rendimiento en canal PSE
	CAST	Calpastatina	Terneza de la carne
	HFABP	Proteína cardiaca de ligamiento de ácidos grasos	Grasa intramuscular
	ESR	Receptor de estrógenos	Tamaño de camada
	PRLR	Receptor de prolactina	Tamaño de camada
	SLA	Antígeno leucocitario porcino	Grasa dorsal, área del lomo, calidad de carne
	ACT1	α -actina	Fertilidad del berraco
	ACT2	γ -actina	Calidad espermática
Ovino	PRNP	Proteína prión	Resistencia/susceptibilidad de scrapie
	CLPG	Gen Callipyge (nalgón, culón)	Producción de músculo/carne
	BOF	Gen Boroola	Fecundidad/prolificidad
	FGFR3	Síndrome de patas de araña	Anormalidad esquelética
	IFNG	Interferón gama	Resistencia a nemátodos

Adaptado con datos de Cokett et al., 1999; Switowski, 2002; Casas et al., 2003; Tupac-Yupanqui et al., 2004; Charon, 2005; Whimmers et al., 2005; Casas 2006.

En la actualidad existe lo que se denomina prueba genética, la cual consiste de varios métodos de prueba para estudiar el ADN de ciertas especies domésticas, que se han desarrollado para detectar algún rasgo de interés económico o defecto en los individuos a estudiar. El uso de estas pruebas ayuda a identificar individuos portadores de un marcador para decidir su selección o eliminación, según sea la característica probada, algunos ejemplos de estos marcadores son:

-Prueba de halotano (HAL) para el estrés que repercute en la calidad de carne en cerdos.

-Prueba de hipertermia maligna en cerdos (HTM). En la figura 1 A) se muestra al marcador molecular identificado para la presencia de HTM en cerdos, y en B) el fenotipo producido por la presencia de HTM en un ejemplar de la raza porcina Pieltrain (Gaspar et al., 2000).

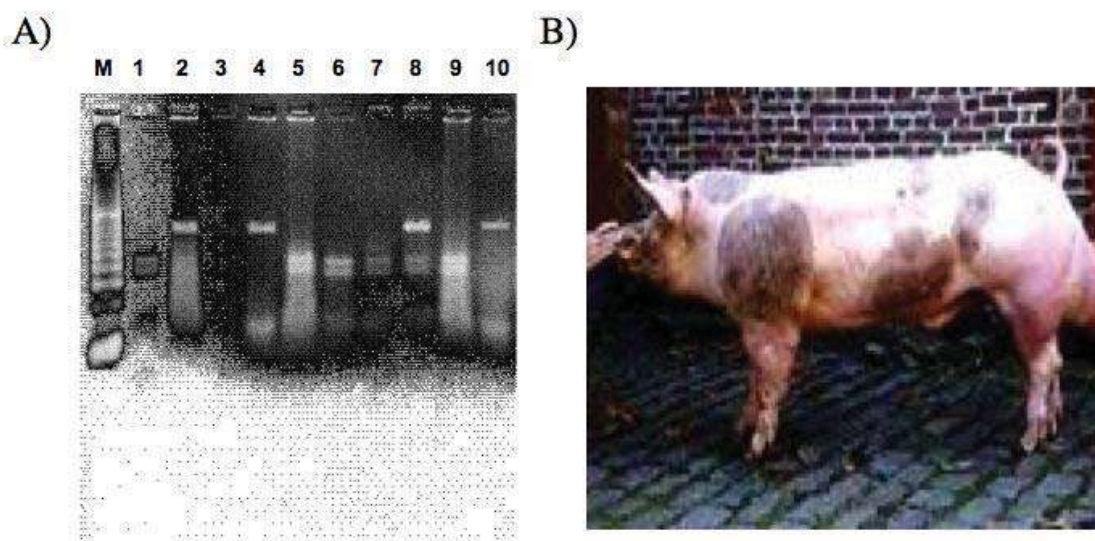


Figura 1. Prueba de hipertermia maligna en cerdos (HTM). Perfil electroforético de productos de PCR digeridos con la enzima *CfoI* para identificar los genotipos para el

gen de la hipertermia maligna en cerdos. Carril M, marcador de tamaño molecular; carriles 1,5,6,7 y 9, homocigotos normales (NN); carriles 2 y 8, heterocigotos normales (Nn); carriles 4 y 10, homocigotos recesivos (nn) que manifiestan el genotipo indeseable. B) Ejemplar de la raza porcina Pieltrain que manifiesta el genotipo nn, cuya expresión produce síndrome de hipertermia maligna que se asocia con la producción de carne pálida, suave y oxidativa (PSE) de baja calidad (Tomado de Gaspar et al, 2000).

-Prueba de tamaño de camada en cerdas de algunas razas (Rohrer et al., 1999) y aumento de fertilidad en berracos (Wimmers, et al., 2005).

-Identificación del síndrome de patas de araña en corderos (Cockett et al., 1999).

-Gen de la miostatina (MSTN), para identificar a los portadores del gen de hipertrofia muscular en el bovino (Switonski, 2002). En la figura 2 A) y B) se muestra un análisis de secuencia de ADN para la identificación de mutaciones en el gen de miostatina de las razas de bovinos Belgian Blue y Piedmontese, en una comparación con el gen normal de la raza Holstein. En la figura 2 C) se muestran los fenotipos de las tres razas de bovinos analizadas (McPherron and Se Jin Lee, 1997).

-Identificación de un marcador de resistencia natural a la infestación por nemátodos en ovinos (Coltman, et al 2001).

CONCLUSIONES

La selección animal asistida por marcadores moleculares o genéticos es factible de aplicar en aquellas explotaciones comerciales dedicadas a la producción animal; gracias a la disponibilidad de genes identificados, genes candidatos, QTL y marcadores moleculares, éstos se pueden utilizar en programas de identificación de los individuos portadores.

La confiabilidad y la ganancia genética se reflejan en mejores resultados cuando los caracteres evaluados tienen baja heredabilidad, para aquellos que aparecen más allá de la vida media del animal (aparición tardía), ó que se miden sólo después de la muerte o sacrificio del animal (Meuwissen, 2003; Van Eenennaam, 2006). Esto no quiere decir que no funcionan para aquellas características que poseen heredabilidad

media a alta; lo que sucede con estas características es que el avance genético es menos notable, comparado con el que se tiene cuando se trata de caracteres de baja heredabilidad (Huiying et al., 2001).

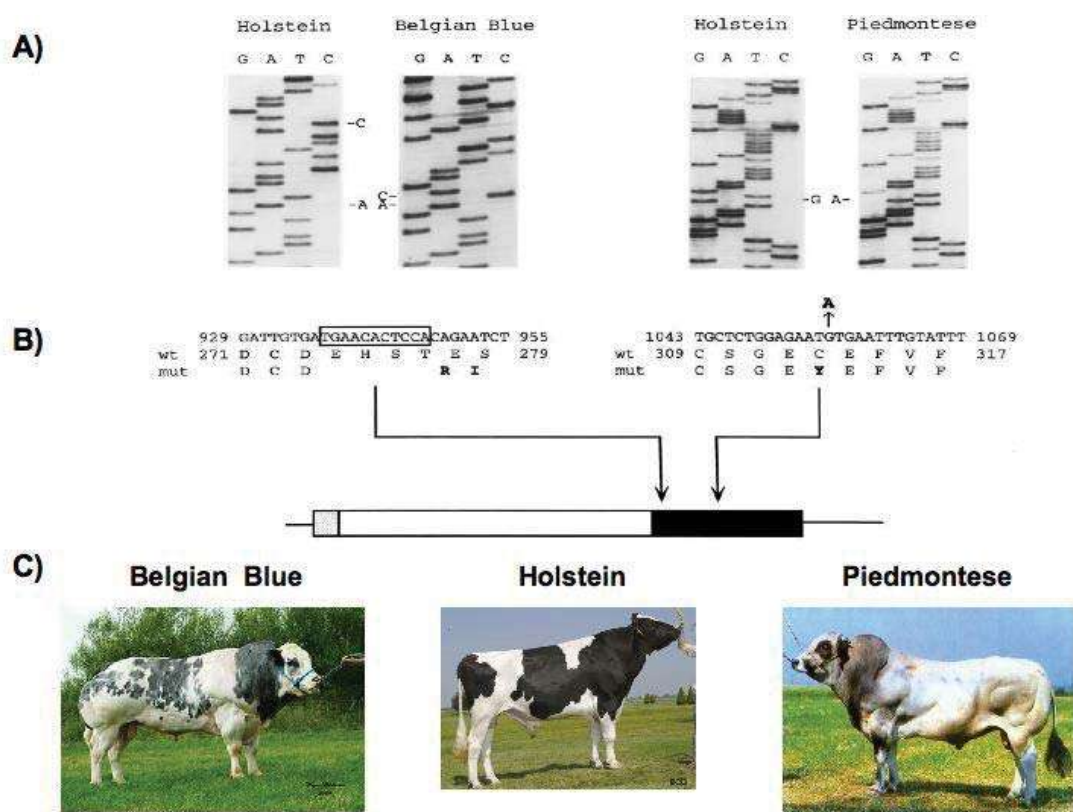


Figura 2. Mutaciones identificadas en la secuencia del gen de miostatina de bovinos. A) Auto radiografía que señala las mutaciones en la secuencia del gen de miostatina, muestra los patrones electroforéticos del control sin mutaciones en la raza Holstein y del gen mutado en las razas Belgian Blue y Piedmontese. B) Localización de la mutación de miostatina debida a una eliminación de 11 bases en la raza Belgian Blue, que presenta un fenotipo de doble musculatura; mientras que un cambio de G por A en la raza Piedmontese, le confiere también un fenotipo de doble músculo. C) Ejemplar de la raza Holstein cuyo gen de miostatina no contiene mutaciones y presenta un fenotipo de musculatura normal (Tomado de McPheron y Se Jin-Lee, 1997).

La SAM no puede sustituir a la selección animal realizada por fenotipo, valor de crianza o cruza o cuando se utilizan herramientas como DEP o cualquier información

productiva. Es más factible que, conforme avance el conocimiento de los genomas animales, se tornará necesario realizar una combinación de todos los métodos de selección, puesto que el o los animales portadores del marcador o gen, tienen que contar con evidencia fenotípica-productiva; es decir, deben mostrar la expresión del o los genes que intervinieron en la característica superior para ser considerados como candidatos de la siguiente generación de individuos genéticamente superiores.

RECOMENDACIONES

Una vez que se tiene caracterizados molecularmente a los animales, la información de presencia del marcador en el hato, piara o manada puede ser usada para incrementar la frecuencia de este marcador asociado positivamente a una característica de interés, seleccionando los animales que posean dos copias de este marcador contra los que no lleven ninguna copia del marcador. En un hato típico, el uso de sementales que lleven dos copias del marcador (homocigoto) puede ser la vía más rápida para incrementar la frecuencia del marcador en el hato (Van Eenennaam, 2006). El costo de la identificación de individuos portadores de genes y QTL superiores en la actualidad es relativamente alto, pero este costo se puede recuperar al elevar el valor del animal superior (FAO, 2003).

De acuerdo a Van Eenennaam (2006), en orden de mayor a menor grado de beneficio, las siguientes categorías de caracteres son más benéficas a través de la SAM:

1. Resistencia a enfermedades
2. Calidad de canal y atributos de palatabilidad
3. Fertilidad y eficiencia reproductiva
4. Cantidad de la canal y rendimiento de la canal
5. Producción lechera y habilidad materna
6. Comportamiento del crecimiento

Una consideración final es que la SAM, combinada con BLUP y/o fenotipo, es una herramienta cuya implementación en el futuro se volverá necesaria, ya que con ella el productor podrá definir mejor sus metas y objetivos de producción hasta donde quiera llegar en cuestión de productividad con calidad. Una vez logradas las metas establecidas, se debe de decidir si se queda con el avance logrado o si se procede a

buscar otras características de interés comercial. De acuerdo a esto, la ganadería, la porcicultura y la ovinocultura tienen oportunidades y retos para mejorar la productividad con calidad y así contribuir a una mayor y mejor oferta de productos disponibles para la sociedad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero de la Coordinación de la Investigación Científica de la U.M.S.N.H., para el proyecto clave 14.6 y del Fondo Sectorial SAGARPA-CONACYT para el proyecto SAGARPA-2004-C01-201.

LITERATURA CITADA

1. Anderson, L. 2001. Genetic dissection of phenotypic diversity in farm animals. *Nat. Rev. Genet.* 2: 130-138.
2. Broker, J.R. 1999. Genetics analysis and principles. Benjamín Cummings Ed., USA. pp. 687-703.
3. Casas, E., S.D. Shekelford, J.W. Keele, M. Koomarie, T.P.L. Smith and R.T. Stone. 2003. Detection of quantitative trait loci for growth and carcass composition in cattle. *J. Anim. Sci.* 81: 2976-2983.
4. Casas, E. 2004. El uso de la genómica para identificar genes que influyen en características económicamente importantes en el ganado de carne. I Congreso Internacional de Agrobiotecnología. Memorias, pp 56-74.
5. Casas, E. 2006. Aplicación de la genómica para identificar genes que influyen sobre características económicamente importantes en animales. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 14: 24-31.
6. Casas, E., S.N. White, T.L. Wheeler, S.D. Shakelford, M. Koomarie, D.G. Riley, C.C. Chase Jr, D.D. Johnson and T.P.L. Smith. 2006. Effects of calpastatin and μ -calpain markers in beef cattle on tenderness traits. *J. Anim. Sci.* 84: 520-525.
7. Charcosset, A. and A. Galais. 2003. Application of markers in selection. P 153-176. En: *Molecular markers in plant genetics and biotechnology.* (D. de Vienne Ed.) Science Publishers, Inc., USA.
8. Charon, M.K. 2004. Genes controlling resistance to gastrointestinal nematodes in ruminants. *Anim. Sci. Paip. and Rep.* 22(1): 135-139.
9. Cokett, N.E., T.L. Shay, J.E. Beever, D. Nielsen, J. Albretsen, M. Georges, K.

- Peterson, A. Stephens, W. Vernon, O. Timofeevskata, S South, J. Mork, A. Macilius, and T. D. Bunch. 1999. Localization of the locus causing spider lamb syndrome to the distal end of ovine chromosome 6. *Mamm. Gen.* 10: 35-38.
10. Coltman, D. W., K. Wilson, J.G. Pilkington, M.J. Stear and J.M. Pemberton. 2001. A microsatellite polymorphism in the gamma interferon gene associated with resistance to gastrointestinal nematodes in a naturally parasitized population of Soay sheep. *Parasitol.* 122: 571-582.
11. de Vienne D. 2003. Molecular markers in plant genetics and biotechnology. D. de Vienne Ed. Science Publishers, Inc., Enfield (NH), USA, Plymouth, UK. pp. 1-2.
12. Dekkers, J.C.M. 1999. Breeding values for identified quantitative trait loci under selection. *Genet. Sel. Evol.* 31: 421-436.
13. Dekkers, J.C.M. 2004. Commercial application of marker- and gene-assisted selection in livestock; strategies and lessons. *J. Anim. Sci.* 82 (E. Suppl.): E313-E328.
14. Dunner, S. and Cañón J. 2004. Aplicaciones de genómica en laboratorios de producción animal. En línea en: <http://www.ucm.es/info/genetvet>. Fecha de consulta: 18 de Febrero de 2007.
15. FAO 2003. Molecular marker assisted selection as a potential tool for genetic improvement of crops, forest trees, livestock and fish in development countries. Electronic forum on biotechnology in food and agriculture. Conf 10. En línea en: <http://www.fao.org/BIOTECH/conf10.html>: Fecha de consulta: 18 de Febrero de 2007.
16. Gaspar, B. R., J. Federáis, J. C. Deschamps, R. Cardellino and A. Dellagostin. 2000. Characterization of swine stress gene by DNA testing using plucked hair as a source of DNA. *Gen. Mol. Biol.* 23: 815-817.
17. Gelderman, H. 1975. Investigations on inheritance of quantitative characters in animals by gene markers. I. Methods Theor. Appl. *Genet.* 46: 46319-46330.
18. Huiying, L., Q. Zhang and Y. Zhang. 2001. Relative efficiency of marker assisted selection when marker and QTL are incompletely linked. *Chin. Sci. Bull.* 46: 2058-2063.
19. Makker, H.P.S. 2005. Applications of gene-based technologies for improving animal production and health in developing countries. IAEA/FAO. Proceedings of

international symposium on biotechnology in food and agriculture. Springer. Netherlands. Conf 10.

20. McPherron, C.A. and Se-Jin-Lee. 1997. Doubling muscling in cattle due to mutations in the myostatine gene. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 94: 12457-12461.

21. Meuwissen, T. 2003. Genomic selection: The future of marker assisted selection and animal breeding. Marker Assisted selection: a fast track to increase genetic gain in plants and animal breeding. Session II. MAS in animals. Proceedings of the electronic forum on biotechnology in food and agriculture. FAO/Turín, Italy. 54-59.

22. Montaldo, H.H. and C. Meza-Herrera 1998. Use of molecular markers and major genes in the genetic improvement of livestock. *Electr. J. Biot.* 1(2).

23. O' Brien, P. J. 1995. The causative mutation for porcine stress syndrome. *Food Anim. pp.* 257-269.

24. Rohrer, G.A., J.J. Ford, T.H. Wise and J.L. Vallet. 1999. Identification of quantitative trait loci affecting female reproductive traits in a multigeneration: Meishan-White composites swine population. *J. Anim. Sci.* 77: 1385-1391.

25. Salazar-Marroquín, E.L., P.M. González, G.A. Del Bosque, D. Rezéndez-Pérez, S.H. Barrera y R.A.M. Sifuentes. 2004. Evaluación de marcadores microsatélites para la verificación de parentesco en ganado Beefmaster y Charolais en el noreste de México. *Tec. Pec. Mex.* 42: 429-435.

26. Switonski, M. 2002. Molecular genetics in beef cattle breeding-a review. *Anim. Sci. Pap. and Rep.* 20(1): 7-18.

27. Stuber, C.W. 1995. Mapping and manipulating quantitative traits. *Trens. Genet.* 11: 477-481.

28. Tupac-Yupanqui, I., J.A. Baro, S. Dunner. 2007. Effects of DGAT1 alleles in milk components traits in Spanish Holstein breed. *Arc. de Zoot.* 53: 293-299.

29. Van der Werf, J. 2000. Basics of Marker assisted selection. Memories of QTL Course: Identifying and incorporating genetic markers and major genes in animal breeding programs. Sao Paulo, Brasil. Chapter 15. pp 119-127.

30. Van Eenennaam, A. 2006. DNA-based technologies. pp. 66-73. En: Beef sire selection manual. National beef cattle evaluation consortium (Eds.), USA.

31. Whimmers, K., C.L. Lin, E. Tholen, D.G.J. Jennen, K. Schellender and S.

Ponsuksili. 2005. Polymorphisms in candidate genes as markers for sperm quality and boar fertility. *Anim. Gen.* 36: 152-155.

32. Zavala-Páramo, M.G., H. Cano-Camacho, J.J. Valdez-Alarcón y J. López-Meza. 2002. Marcadores moleculares: revisión y aplicaciones prácticas en animales. *Cien. Nico.* 32: 99-109.

ARTÍCULO INDIZADO

Se reportó un análisis de diversidad genética por RAPD de poblaciones de Michoacán y Puebla, en este artículo: Omar Chassin-Noria, Rigoberto López-Zavala, Horacio Cano-Camacho, Edgar Suárez-Corona, Aureliano Juárez-Caratachea y María Guadalupe Zavala-Páramo, 2005. Diversidad y similitud genética entre poblaciones de guajolotes mexicanos domésticos: Análisis basados en RAPD's. Técnica Pecuaria en México, 43(3):415-424. ISSN **0040-1889**.

DIVERSIDAD Y SIMILITUD GENÉTICA ENTRE POBLACIONES DE GUAJOLOTES MEXICANOS EN LOS ESTADOS DE PUEBLA Y MICHOACÁN UTILIZANDO EN MÉTODO DE AMPLIFICACIÓN ALEATORIO DE ADN POLIMÓRFICO (RAPD)

Omar Chassin-Noria, Rigoberto López-Zavala, Horacio Cano-Camacho, Edgar Suárez-Corona, Aureliano Juárez-Caratachea, *Ma. Guadalupe Zavala-Páramo

**Centro Multidisciplinario de Estudios en Biotecnología
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Km 9.5 Carr. Morelia-Zinapécuaro, La Palma, Tarímbaro, Mich.
gzavalap@zeus.umich.mx**

RESUMEN

Con el objetivo de abordar la caracterización de poblaciones de guajolotes de traspatio en México, en el presente trabajo se realizó un análisis molecular en seis poblaciones de guajolotes de traspatio, colectadas en los estados de Puebla y Michoacán y una población de guajolotes de la línea comercial "Big-6 Large White". A partir de 65 muestras de sangre colectadas, se aisló el ADN y se realizaron ensayos tipo RAPD con un oligonucleótido con el que se obtuvieron 18 bandas polimórficas, con un tamaño molecular de entre 220 a 1700 pb. Las poblaciones de Michoacán presentaron altos valores de diversidad genética comparados con los de las poblaciones colectadas en el estado de Puebla. Se establecieron las relaciones de similitud al observar que las poblaciones de Puebla se agrupan en una rama con valor de "bootstrap" de 88 %. La población perteneciente a la colección de guajolotes de la Posta Veterinaria de la UMSNH mostró una alta diferenciación genética con respecto al resto de las poblaciones (100% valor bootstrap). La población comercial "Big-6 Large White" se agrupa estrechamente con la población colectada en el municipio de Turicato, Michoacán. Se demuestra que es posible diferenciar e inferir eventos históricos de las poblaciones analizadas en virtud de sus características genéticas.

PALABRAS CLAVE: *Meleagris gallopavo*, Guajolotes mexicanos domésticos, Guajolotes de línea comercial, Diversidad genética, RAPD.

Actualmente, debido a la importancia económica del género *Meleagris*, se han realizado investigaciones para la descripción y caracterización parcial de bancos genómicos de pavo comercial, enriquecidos con secuencias repetidas ó microsatélites (SSR), para desarrollar un mapa genético (1). Se han identificado marcadores moleculares, que permiten determinar la huella genética dentro y entre poblaciones de guajolotes de líneas comerciales y silvestres, por medio de RFLP (polimorfismo de la longitud de fragmentos de restricción) (2). Se ha medido el grado de polimorfismo dentro y entre poblaciones, eventos de hibridación entre linajes mediante SSR y RAPD (3). Se ha revisado la posición taxonómica en linajes infraespecíficos, empleando amplificación del polimorfismo de la longitud de fragmentos de restricción (RFLP, AFLP), SSR y ADN mitocondrial (ADNm) (4,5). Se han inferido eventos históricos de conectividad entre poblaciones (flujo genético) y el patrón de distribución de la variación genética, con respecto a la distribución geográfica con SSR, AFLP y ADNm (5,6). Estos trabajos previos se han realizado principalmente en poblaciones silvestres o domésticas (líneas comerciales) de Estados Unidos.

Mock *et al.* (5) realizaron el análisis de subespecies del Norte de México (*Meleagris gallopavo mexicana*, *M. gallopavo gallopavo* y *M. gallopavo intermedia*), que comprende los estados de Sonora, Chihuahua y Tamaulipas, demostrando la pertinencia de esta clasificación. De acuerdo a sus resultados, estas subespecies son genéticamente distantes, y las más diversas comparadas con poblaciones de las subespecies del Este de Estados Unidos (*Meleagris gallopavo silvestris*), Florida (*M.g. osceola*) y Río grande (*M. g. intermedia*). Por otro lado, recientemente en nuestro laboratorio se realizó un estudio de dos poblaciones de guajolotes nativos mexicanos y de la línea comercial de pavos Big-6 Large White con RAPDs utilizando un oligonucleótido. Se identificaron marcadores monomórficos entre las tres poblaciones que permiten la identificación de la especie, así como la identificación de niveles de polimorfismo que muestran diferencias entre las poblaciones analizadas (7).

Con el objetivo de abordar la caracterización molecular de poblaciones de guajolotes domésticos (*Meleagris g. gallopavo*), en este trabajo se generaron marcadores tipo RAPD, para un análisis preeliminar de diversidad genética de poblaciones de los Estados de Puebla y Michoacán y de una población de origen comercial.

Se colectaron muestras de sangre de guajolotes domésticos mexicanos, de cuatro poblaciones de traspatio localizadas en cuatro municipios del Estado de Puebla, dos poblaciones de guajolotes de Michoacán y una población de guajolotes de origen comercial Big-6 Large White de la ciudad de Morelia Mich. (Cuadro 1). Todas las muestras fueron obtenidas de individuos no emparentados.

La purificación de ADN se llevó a cabo por el método de fenol:cloroformo (8), modificado por Trigueros *et al.* (7). Las muestras de ADN purificadas se separaron por electroforesis en geles de agarosa al 1%, en TAE 1X (OWL Electrophoresis System) para revisar la integridad (8). Los geles fueron teñidos con bromuro de etidio (0.3 µg/ml), vistos en un transiluminador de luz ultravioleta a 302 nm y fotografiados (Eagle Eye II).

Los ensayos de RAPD se realizaron por medio de un sistema comercial con el oligonucleótido (5'-d[AACGCGCAAC]-3') (RAPD Analysis Beads, Amersham), de acuerdo a lo reportado por Trigueros *et al.* (7). Los productos de amplificación se separaron en geles de agarosa al 2%, en TBE 1X (OWL Electrophoresis System) (8). Se utilizó el marcador de tamaño molecular 1 kb DNA Ladder y 1 kb Plus DNA Ladder como estandar de tamaño molecular (GIBCO). Los geles fueron teñidos con bromuro de etidio (0.3 µg/ml), vistos con luz ultravioleta a 302 nm y fotografiados (Eagle Eye II).

Las fotografías de los geles de RAPD's se analizaron en el software RFLPscan 2.1 (Scanalytics), para calcular los pesos moleculares de los fragmentos amplificados de las poblaciones de guajolotes (9). Con los datos generados se construyó una matriz binaria (0,1) en la que se codifica como carácter 1 la presencia de un fragmento amplificado y 0 su ausencia.

Los datos obtenidos por la técnica de RAPD son dominantes, por lo tanto no es recomendable usar los estimadores clásicos de diversidad genética (heterocigosis

sensu Nei [10]). Una alternativa es usar una medida de diversidad basado en el índice de información de Shannon, en el que se determinan el nivel de polimorfismo con base en la frecuencia de fragmentos amplificados. En este estudio se obtuvieron los valores de diversidad genética por población y el valor de diversidad genética total usando el programa Popgene (11).

Con los datos se generó una matriz de distancia entre poblaciones con el programa RAPDIST (12) y 100 réplicas generadas implementando un algoritmo para bootstrap (13), posteriormente se construyó el consenso de mayoría usando Phylip (14). La edición del fenograma se realizó con el programa Treeview (15).

En 65 individuos analizados, se obtuvieron 18 bandas de diferente peso molecular dentro de un rango de 220 a 1700 pb. En la Figura 1 se muestran de manera representativa sólo los patrones de bandeo obtenidos para las poblaciones I, H, C y 6, y en el Cuadro 2 se muestran las frecuencias de los alelos de todas las poblaciones. Siguiendo la regla de 99% no se detectaron bandas monomórficas, pero con la regla de 95% (16), el 39% de las bandas fueron monomórficas y el 61% fueron polimórficas (cuando la frecuencia del alelo más común es menor a 95% se dice que el locus es polimórfico bajo la regla del 95% y cuando la frecuencia del alelo más común en un locus es menor a 99% se dice que este locus es polimórfico bajo la regla del 99 %). En el Cuadro 3 se muestran los valores de diversidad genética calculada con el índice de información de Shannon (I_n), para las siete poblaciones incluidas en este trabajo. Se observa que las poblaciones de Michoacán H e I, a pesar de la diferencia de tamaño, presentan valores de diversidad genética similares y los más altos entre las poblaciones analizadas. Mientras que las poblaciones de Puebla A, B, C y D, presentaron valores de diversidad bajos y también similares entre si. Una comparación de la población H de Michoacán con la población A de Puebla muestra que aunque ambas tienen un tamaño de muestra similar, el valor de diversidad genética de la H es el doble con respecto a la población A. La línea comercial (población 6), presenta un valor de diversidad que es mayor que el valor de las poblaciones de Puebla A, B, C, D, y aproximadamente de la mitad con respecto a las poblaciones de Michoacán H e I. No se detectó una relación lineal

entre el tamaño de muestra y los valores de diversidad genética ($r = 0.646$ $p = 0.117$).

En la Figura 2 se muestra un fenograma consenso de mayoría de 100 réplicas de bootstrap (13) construido por el método de Unweighted Pair Group Method with Arithmetic mean (UPGMA). Se observa la mayor similitud entre las poblaciones de Puebla, formando un grupo sustentado en el 81% de las réplicas. Con respecto a la línea comercial 6, se evidencia su similitud con la población H de Michoacán y una separación consistente (100% de las réplicas) de la población I de Michoacán.

El hecho de que las poblaciones de traspatio de Michoacán H e I, presentaran los valores de diversidad genética más altos, puede deberse a varias posibilidades; a) que estas poblaciones deriven de una población ancestral; b) que estas poblaciones deriven de una población históricamente grande; y c) que estas poblaciones mantengan flujo genético reciente o histórico con otras poblaciones. Los valores altos de diversidad genética pueden explicarse también por la presencia de una tasa de mutación elevada, asociada generalmente a organismos con tiempo generacional corto, baja masa corporal y alta tasa metabólica (17), pero al observarse valores de diversidad genética en otras poblaciones analizadas, es poco verosímil suponer que haya diferencias entre la tasa de mutación de organismos de la misma especie.

Los bajos valores de diversidad de la línea comercial, población 6, con respecto a las poblaciones colectadas en Michoacán, pueden explicarse porque los linajes comerciales generalmente son derivados a partir de pocos individuos que presentan la, o las características seleccionadas, proceso que tiene un efecto conocido como efecto fundador, el cual genera de manera inmediata la reducción cualitativa y cuantitativa de la diversidad genética en la población seleccionada (18). Este es un proceso similar al que sufren las poblaciones al ser sometidas a cuellos de botella poblacionales.

Una vez seleccionada la población fundadora de las líneas comerciales, se favorecen los apareamientos endogámicos, con el afán de mantener en la progenie la característica seleccionada. Esta práctica aumenta los valores de endogamia en las líneas comerciales, generando una reducción sustancial en el tamaño efectivo de

población, lo que favorece la aparición de procesos estocásticos asociados al cambio en las frecuencias alélicas por azar, y a la reducción de la diversidad genética (deriva génica) (16).

Con respecto a los niveles de baja diversidad detectados en las poblaciones del estado de Puebla, se pueden inferir dos escenarios que no son mutuamente excluyentes como explicación: a) es posible que los organismos colectados en este estado sean derivados de un linaje comercial (de una población distinta a la “Big-6 Large White” utilizada en este trabajo) con niveles de diversidad bajos, y que se mantenga por las acciones de manejo, con apareamientos endogámicos y evitando el flujo génico con otras poblaciones; b) otra posibilidad es que los organismos de este Estado sean derivados de una población históricamente pequeña, lo cual explica los menores valores de diversidad observados.

La comparación de los valores de diversidad entre las poblaciones de traspatio del estado de Michoacán y Puebla son relevantes para las actividades productivas. Los altos niveles de diversidad genética, se encuentran asociados a poblaciones con plasticidad evolutiva (19), la cual desde el punto de vista productivo se encuentra relacionada con características tales como la resistencia a enfermedades, un aspecto fundamental en sistemas de traspatio donde los organismos están expuestos a múltiples patógenos. La plasticidad evolutiva permite también el movimiento de organismos entre localidades ambientalmente distintas, sin una disminución drástica de la adecuación promedio. Existe también una correlación entre valores de diversidad genética altos, sobrevivencia y potencial reproductivo promedio de la población, es decir la adecuación promedio (18,20).

Por todo lo anterior se plantea que la población de *M. g. gallopavo* del Estado de Michoacán, es desde el punto de vista genético más saludable con respecto a la población de Puebla. Sin embargo, es importante realizar estudios para evaluar empíricamente la relación entre los valores de diversidad genética detectados y valores de adecuación promedio entre las poblaciones.

Con la línea comercial se encuentran valores de diversidad genética bajos, pero reúne algunas características de interés productivo como carne blanda y blanca, piel

rosada, pluma blanca, etc., sin embargo, se sabe que las líneas comerciales tienden a tener defectos morfológicos y problemas de reproducción, así como susceptibilidad a enfermedades o predisposición a desarrollar desequilibrios homeostáticos (21). Lo que hace a estas líneas comerciales, poco viables para ser aprovechadas en sistemas de traspato. Un objetivo de nuestro grupo de investigación es seleccionar organismos que presenten características deseables de carácter productivo, sin perder la plasticidad evolutiva de las poblaciones de traspato. Esto será, buscar a estos últimos en poblaciones de traspato y asociar características de valor productivo a marcadores moleculares específicos.

En la Figura 2 puede observarse que es posible diferenciar con RAPD las poblaciones de Puebla que se agrupan en una rama con altos valores de “bootstrap”, lo que implica una estrecha relación entre estas poblaciones, que como se había expresado anteriormente, pueden ser derivadas de una línea comercial. Esta agrupación es congruente también con la distribución espacial de las poblaciones, lo cual sugiere una identidad genética distinta con respecto a las muestras colectadas en Michoacán, así como bajos niveles de flujo génico histórico entre estos Estados.

En un grupo distinto, se encuentran las poblaciones colectadas en el estado de Michoacán incluyendo las líneas comerciales. Se puede observar que la población 6, línea “Big-6 Large White”, se encuentra agrupada con la población H originaria de Puruarán, municipio de Turicato, Michoacán. Si analizamos esta evidencia junto con los valores de diversidad genética, se puede sugerir la existencia de conectividad direccional de la línea comercial hacia la población del municipio de Turicato, y no en sentido inverso.

La población I de La Posta Veterinaria, municipio de Tarímbaro, Michoacán, se encuentra totalmente diferenciada del resto de las poblaciones analizadas, lo cual es evidente al observar el valor de bootstrap de 100%, lo que implica que esta población se encuentra aislada histórica y actualmente del resto de las poblaciones analizadas, presentando además altos valores de diversidad genética, por lo que representa un excelente candidato para la búsqueda de características con valor productivo que no se encuentren presentes en el resto de las poblaciones.

Se concluye que es posible definir la relación entre las poblaciones de guajolotes analizadas y que esta información aunada a los valores de diversidad genética de las mismas permite establecer elementos históricos responsables de las características genéticas particulares.

Para dar mayor certidumbre a las hipótesis aquí planteadas es importante explorar los valores de diversidad genética y las relaciones entre poblaciones basados en una mayor cantidad de loci y de individuos por poblaciones, tal y como sugiere la FAO (22, 23).

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo financiero de la Coordinación de la Investigación Científica de la U.M.S.N.H., para el proyecto clave 14.6.

GENETIC DIVERSITY AND SIMILARITY RELATIONSHIPS BETWEEN DOMESTIC, MEXICAN TURKEY POPULATIONS FROM PUEBLA AND MICHOACAN STATES BASED ON RANDOM AMPLIFICATION POLIMORPHYC DNA (RAPD)

ABSTRACT

Chassin-Noria O, Cano-Camacho H, Suárez-Corona E, Juárez-Caratachea A, Zavala-Páramo MG. Tec. Pecu. Mex. In order to do a characterization of Mexican turkey, a genetic diversity analysis was carried out over six populations. Samples were collected from Puebla and Michoacán states, including a commercial line "Big-6 Large White". Blood samples were obtained from 65 individuals and DNA was extracted. The random amplified polymorphic DNA method was used to establish diversity. Eighteen polymorphic bands were obtained of a size ranging from 220 to 1700 base pairs. Genetic diversity for the populations from Michoacán was highest, compared to the populations from Puebla. Similarity tree cluster all the populations from Puebla (88% bootstrap value). One population from Michoacán had the greatest genetic distance when compared to the rest of the populations. The commercial line was grouped with another population from Michoacán. Based on their genetic markers we can differentiate and infer historic processes for all the populations analyzed.

KEY WORDS: *Meleagris gallopavo*, Domestic Mexican turkeys, Commercial line turkeys, Genetic diversity, RAPD.

LITERATURA CITADA

1. Huang HB, Song YQ, Hsei M, Zahorchak R, Chiu J, Teuscher C, Smith EJ. Development and characterization of genetic mapping resources for the turkey (*Meleagris gallopavo*). J Hered 1999;(90):240-242.
2. Zhu JK, Nestor E, Patterson RA, Jackwood DJ, Emmerson DA. Measurement of genetic parameters within and between turkey lines using DNA fingerprinting. Poult Sci 1996;75(4):439-446.
3. Smith EJ, Jones CP, Bartlett J, Nestor JK. Use of randomly amplified polymorphic DNA markers for the genetic analysis of relatedness and diversity in chickens and turkeys. Poult Sci 1996;75(5):579-584.
4. Szalanski AL, Church KE, Oates DW, Bischof R, Powers TO. Mitochondrial-DNA variation within and among wild turkey (*Meleagris gallopavo*) subspecies. Trans Nebr Acad Sci 2000;(26):47-53.
5. Mock KE, Theimer TC, Rhodes Jr OE, Greenberg DL, Keim P. Genetic variation across the historical range of the wild turkey (*Meleagris gallopavo*). Mol Ecol 2002;(11):643–657.
6. Latch EK, Smith EJ, Rhodes OE. Isolation and characterization of microsatellite loci in wild and domestic turkeys (*Meleagris gallopavo*) 2002;(2):176-178.
7. Trigueros CJG, López MJE, Cano CH, Zavala PMG. Análisis molecular de dos poblaciones de guajolotes nativos mexicanos y una línea comercial de pavos por RAPD's. Téc Pecu Méx 2003;(41):111-120.
8. Sambrook J, Rusell DW. Molecular cloning, a laboratory manual. 3a ed New York Cold Spring Harbor Lab. Press USA 2001.
9. RFLPscan, User Manual. Scanalitycs, A Division of CSPI. Stratagene Cloning Systems La Jolla California, USA 1994;9-16
10. Nei M. Molecular evolutionary genetics. Columbia University Press New York USA 1987.
11. Yeh FC, Yang R. POPGENE Version 1.31. University of Alberta. Alberta, USA 1999.

12. Black IV, WC. Fortram programs for the analysis of RAPD-PCR markers in populations. Colorado State University, Ft Collins Co USA 1997.
13. Felsenstein J. Confidence limits on phylogenies: an approach using the bootstraps. *Evolution* 1985;(39):783-791.
14. Felsenstein J. Phylogeny inference package (PHYLIP). Version 3.5. University of Washington, Seattle, USA 1993.
15. Page RD. TREEVIEW: An application to display phylogenetic trees on personal computers. *Comp Applic Biosc* 1996;(12):357-358.
16. Hartl DL, Clark AG. Principles of population genetics. Sinauer Associates. Sunderland, Massachusetts, USA 1989.
17. Martin AP, Palumbi SR. Body size, metabolic rate, generation time, and the molecular clock. *PNAS* 1993;90(9):4087-4091.
18. Frankham R. Relationship of genetic variation to population size in wildlife. *Conserv Biol* 1996;(10):1500-1508.
19. Soulé ME, Kohm KA. Research priorities in conservation biology. Island Press. Washington, DC, USA 1989.
20. Frankel OH, Soule ME. Conservation and evolution. Cambridge & New York Cambridge University Press, USA 1981.
21. Sánchez CJJ. Comportamiento productivo del pavo nativo mexicano, heredabilidad del peso corporal e índice de eficiencia alimenticia, [tesis licenciatura]. Morelia, Michoacán, México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; 1999.
22. FAO. Domestic animal diversity information system (DADID). Available at: <http://dad.fao.org/en/refer/library/guidelin/workgrp.pdf>
23. Barker JSF. A global protocol for determining genetic distances among domestic livestock breeds. *Proc. 5th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod.*, Guelph, Ontario, Canada. 1994 21:501-508..

Tabla 1. Poblaciones de *Meleagris gallopavo* usadas en este estudio.

Población	Estado	localidad	n
I	MICH	Posta Vet., Mpio. Tarímbaro	16
H	MICH	Puruarán, Mpio. de Turicato	8
*6	MICH	Mpio. de Morelia	10
A	PUE	Ejido Benito Juárez, Mpio. Rafael Lara Grajales	9
B	PUE	San Baltazar Azumiatla, Mpio. de Totimehuacán	6
C	PUE	San Mateo, Mpio. de Soltepec	8
D	PUE	Sto. Tomas Hueyotlipán, Mpio. de Hueyotlipán	8

*6, Guajolotes de la línea comercial "Big-6 Large White"

Tabla 2. Población de guajolotes, tamaño de muestra (n) y valor de diversidad genética (I_n) Índice de información de Shannon.

Población	n	I_n
I	16	0.3320
H	8	0.3313
6	10	0.1640
A	9	0.1499
B	6	0.0958
C	8	0.1147
D	8	0.1099

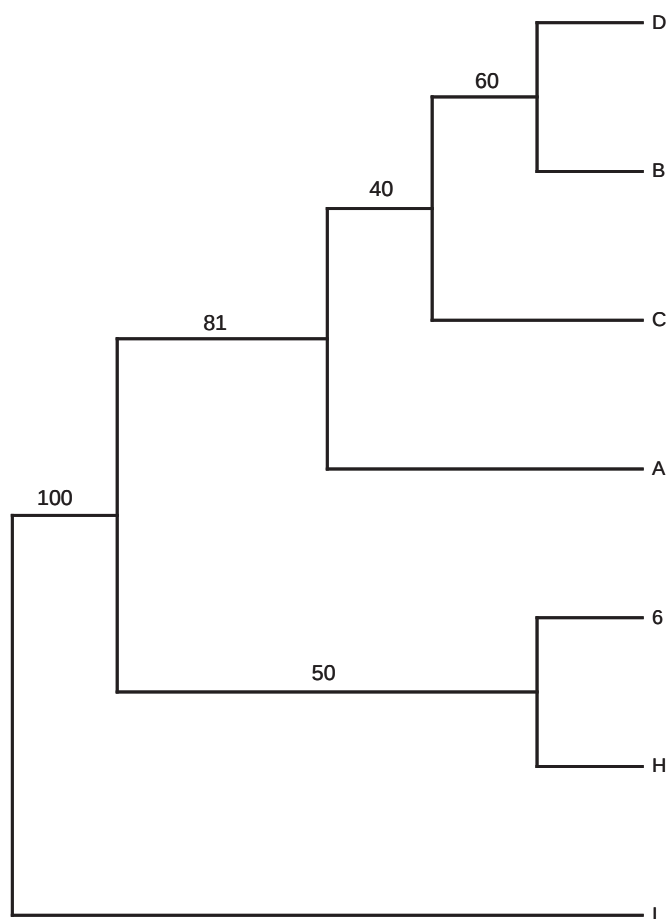


Figura 1. Fenograma UPGMA sin raíz, obtenido como consenso de mayoría generado a partir de 100 réplicas bootstrap, obtenidas de la matriz de datos original. Los números en las ramas representan valores bootstrap; A, B, C y D poblaciones de Puebla; 6 población de la línea comercial "Big-6 Large White"; H e I poblaciones de Michoacán.