

DEPÓSITO LEGAL ZU2020000153

ISSN 0041-8811

E-ISSN 2665-0428

Revista de la Universidad del Zulia

Fundada en 1947
por el Dr. Jesús Enrique Lossada



Ciencias del
Agro,
Ingeniería
y Tecnología

Año 15 N° 42

Enero - Abril 2024

Tercera Época

Maracaibo-Venezuela

Loci de caracteres cuantitativos y su asociación con la producción de huevos en gallinas cruzadas IPA x FAGRO

José Luis Arcia *
Rafael Galíndez **
Oscar De La Rosa ***
Luis Angulo ****
Alexis Márquez *****

RESUMEN

Se extrajo sangre a 60 animales, con la finalidad de estimar la asociación entre los marcadores genéticos MCW007, ADL0253, MCW0241 y ADL0201, y la producción de huevos hasta las 40 semanas de edad (NH40), 41 a 60 (NH4160) y total (NH60), en una población F₂, producto del cruce entre las razas de gallinas IPA y FAGRO. El ADN se purificó, amplificó y se realizó la electroforesis vertical en geles de poliacrilamida teñidos con nitrato de plata. El análisis de varianza evidenció que, ADL0201 está asociado a NH40 y NH60, con 13% y 0,08% de variación, respectivamente. Los h² estimados por máxima verosimilitud restringida resultaron en NH40 = 0,12 y NH60 = 0,23. A pesar que el marcador ADL0201 está asociado a la producción de huevos, el progreso genético que pudiera obtenerse es muy bajo; esperando una mayor respuesta a la selección con el uso de los métodos tradicionales.

PALABRAS CLAVE: F₂, heterocigosis, marcadores moleculares, QTL.

* Profesor. Universidad Rómulo Gallegos, Venezuela.

** Profesor. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay - Venezuela. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1020-9890>. E-mail: galindez70@yahoo.com

***Investigador. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA-CENIAP), Venezuela. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9550-2366>.

**** Profesor. Universidad Central de Venezuela. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0749-5750>. E-mail: Anguloluis2009@gmail.com

***** Investigador. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA-CENIAP), Venezuela. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1184-0390>. E-mail: afmarquesu@gmail.com

Recibido:01/11/2023

Aceptado: 16/12/2023

Quantitative Trait Loci and Their Association With Egg Production in IPA x FAGRO Crossed Hens

ABSTRACT

Blood was drawn from 60 animals, in order to estimate the association between the genetic markers MCW007, ADL0253, MCW0241 and ADL0201, and egg production up to 40 weeks of age (NH40), 41 to 60 (NH4160) and total (NH60), in an F2 population, product of the cross between the IPA and FAGRO hen breeds. DNA was purified, amplified, and vertical electrophoresis was performed on silver nitrate-stained polyacrylamide gels. Variance analyses showed that ADL0201 is associated with NH40 and NH60, with 13% and 0.08% of variation, respectively. Estimated h^2 by restricted maximum likelihood resulted in NH40 = 0.12 and NH60 = 0.23. Although the ADL0201 marker is associated with egg production, the genetic progress that could be obtained is very low; expecting a greater response to selection with the use of the traditional methods.

KEY WORDS: F₂, heterozygosity, molecular markers, QTL.

Introducción

Para el caso de gallinas ponedoras, definitivamente el rasgo productivo más importante es la producción de huevos; además estos deben ser de peso adecuado y poseer alta calidad tanto interna como externa.

Es por ello que estas características han generado tanto interés en los productores y, por supuesto, en los investigadores. En este sentido, se han desarrollado técnicas de evaluación productiva, para estimar la responsabilidad que los genes de efecto aditivo tienen sobre la expresión del fenotipo.

La más comúnmente usada se basa en el cálculo de parámetros genéticos para los caracteres de interés, entre estos: índice de herencia, coeficiente de repetición, etc. Dichos valores permiten tomar decisiones sobre las estrategias de mejoramiento a aplicar en cualquier población. Más recientemente, y con el afán de acelerar el progreso genético y aumentar la precisión se han desarrollado técnicas de laboratorio que permiten detectar regiones cromosómicas donde se ubican genes responsables del comportamiento productivo (QTL's) y, consecuentemente, usar esa información para los programas de selección.

Dada la importancia que tiene para el hombre el uso de estas técnicas, se ha planteado como objetivo, estudiar algunos loci para caracteres cuantitativos y su asociación con la producción de huevos en gallinas IPA x FAGRO.

1. Materiales y métodos

Se utilizaron 300 gallinas F₂ producidas a partir del apareamiento de 9 machos y 86 hembras generadas del cruce recíproco de las razas de gallinas venezolanas IPA y FAGRO, en las cuales se midió la producción de huevos acumulados hasta la semana 40, entre las semanas 41 y 60, y la producción total hasta la semana 60 de edad.

Las aves produjeron huevos bajo un esquema de iluminación natural. El programa sanitario incluyó la vacunación contra las enfermedades de Newcastle y Bronquitis infecciosa en la primera semana de vida, y luego se revacunaron a los 21 días y 4ta semana de edad. Los animales se desparasitaron en la semana 15 con fenbendazol al 10% y se aplicó una segunda dosis a los 21 días.

Se suministró alimento comercial a razón de 110g/día, según los requerimientos nutricionales para gallinas ponedoras (Hendrix Genetics, 2020).

La extracción de ADN se realizó a partir de muestras de sangre tomadas a 20% de la población F₂ (60) según las recomendaciones de la FAO (2011).

Para la extracción y procesamiento del ADN a partir de muestras de sangre, se usó el procedimiento propuesto por De La Rosa *et al* (2013).

La concentración y pureza del ADN se determinó mediante espectrofotometría utilizando un NanoDrop modelo MD 2000 (Thermo Scientific).

La integridad de las muestras de ADN se verificó mediante electroforesis en gel de agarosa al 0,8% previa incorporación de SYBR SAFE (DNA gel stain 10.000X) a razón de 2 µL/100 mL de gel.

En el Cuadro 1 se muestra los marcadores genéticos moleculares seleccionados para el estudio.

La amplificación de los fragmentos por la técnica de PCR se llevó a cabo en un equipo termociclador de tiempo final (Bioer modelo GenePro) y el perfil térmico usado para la amplificación fue el siguiente: desnaturalización inicial de 94°C (5 min), 30 ciclos de: 94°C

(1 min), 52,5°C – 62,9 °C (20 seg), 72°C (25 seg), extensión final de 72°C (7 min). La mix para PCR se muestra en el Cuadro 2.

Los productos se visualizaron en un equipo Digitalizador de imágenes Marca UVITEC, modelo UVIPRO Chemi.

Cuadro 1. Marcadores genéticos moleculares estandarizados para el estudio.

NOMBR E	SECUENCIA 5' 3'	T.M.
	F:	59,4
MCW0007	AGCAAAGAAGTGTTCTCTGTTC AT	66,3
	R: ACCCTGCAAACCTGGAAGGGTCT CA	
	F: GCTGTTTTGTCGGCAATAGC	60,4
ADL0253	R: CCCGTATACAGTAACTCTGA	58,4
	F: AACCAGTTTGTTAACATCAGC	56,7
MCW0241	R: ATTGGAGTTGGTACCATACTC	58,7
	F: GCTGAGGATTCAGATAAGAC	58,4
ADL0201	R: AATGGCTGACGTTTCACAGC	60,4

TM = Temperatura de melting indicada por el proveedor.

Los productos de PCR se sometieron a electroforesis desnaturizante en geles de poliacrilamida al 6%, preparados con una relación de 19:1 (acrilamida/bisacrilamida). Las muestras se mezclaron con 5 µL de buffer de corrida (azul de bromofenol/sigma I14391-5G, glicerol/ sigma G7757 y agua destilada estéril), y después se desnaturizaron (95°C por 10 minutos) en un thermo ciclador BIO-RAD PTC-100. Luego se usó la metodología de Badan (2003) para teñir los fragmentos con nitrato de plata.

Las imágenes de los geles se visualizaron tanto en un trans-iluminador de luz blanca UPLAND modelo 91786, como en un digitalizador de imágenes a través del programa UVITEC, UV Band tomando como referencia el marcador de peso molecular de 25 pb.

Cuadro 2. Volumen y Concentración de los reactivos para el medio de reacción de las PCR.

Reactivo	Concentración (Stock)	Concentración IX (en la reacción)	Volumen (IX)
Buffer	5 X	IX	4 µl
MgCl ₂	25 mM	3,0 mM	2,4 µl
DNTP's	10 mM	0,3 mM	0,6 µl
Oligo F	10 mM	0,25 mM	0,5 µl
Oligo R	10 mM	0,25 mM	0,5 µl
Polimerasa	5 U/ µl	0,6 U	0,12 µl
ADN	20 ng/ µl	80 ng	4 µl
H ₂ O			7,88 µl
Volumen final			20 µl

Se calcularon los promedios y obtuvo la estadística descriptiva para la producción de huevos; asimismo, se realizaron análisis de varianza para determinar la asociación entre los genotipos de los marcadores genéticos moleculares y los valores fenotípicos.

Por otra parte, se ejecutaron las pruebas de rangos múltiples de DUNCAN con un nivel de significancia de 0,05 (Alfa), para verificar las diferencias entre las medias, usando el programa estadístico SAS (Littell *et al.*, 2002). El modelo estadístico se presenta a continuación:

$$Y_{ijkl} = \mu + Gen_i + e_{ij}$$

Donde;

Y_{ij} = es la variable medida en los individuos.

μ = media teórica de la población.

Gen_i = efecto fijo de genotipo (1 - 5)

e_{ij} = residual con media cero y varianza σ^2 , normal e independientemente distribuido.

Se estimaron los índices de herencia, correlaciones genéticas y coeficientes de repetición para cada característica, a través del procedimiento de **Máxima Verosimilitud Restringida (REML)**, utilizando un modelo lineal mixto bivariado, mediante la metodología propuesta por Boldman *et al.* (1995).

El modelo general es el siguiente:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & 0 \\ 0 & x_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} z_{11} & 0 \\ 0 & z_{21} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix}$$

Donde:

y_1, y_2 = Vectores de observaciones de las variables respuesta.

b_1, b_2 = Vectores de efectos fijos:

Lote de Nacimiento (Lo) = 1 – 10.

Efecto fijo de grupo racial (Gr) = 1 – 4

a_1, a_2 = Vectores de efectos genéticos aditivos directos (aleatorio).

e = Vector de efectos residuales (aleatorio).

X = Matriz de incidencia para los efectos fijos.

Z = Matriz de incidencia relacionadas a los efectos aleatorios.

2. Resultados

2.1. Producción de huevos en individuos F_2

La producción de huevos hasta las cuarenta semanas de edad (NH40), osciló entre 53 y 130 unidades, con promedio ponderado de 99,47 unidades y desviación estándar de 18,20 unidades (Cuadro 3).

Estos índices de producción superan ampliamente a los valores reportados por Segura *et al.*, (2007) y Boruszewska *et al.*, (2009), quienes estimaron la producción de huevos en razas de gallinas criollas sometidas a sistemas de manejo extensivo, y obtuvieron valores de producción de 59,0 unidades y 66,40 unidades, respectivamente.

Por otro lado, Xu *et al.*, (2011b), evaluaron la producción de huevos a los 300 días de edad (42,85 semanas) de razas de gallinas criollas chinas (Ningdu Sanhuang) sometidas a sistemas de manejo intensivo y obtuvieron una producción promedio de 109,49 huevos. La diferencia observada en los niveles de producción respecto a la población estudiada por Xu *et al.*, (2011b) puede tener su origen en dos factores fundamentales; en primer lugar, los diferentes sistemas de manejo empleados para ambas poblaciones y, en segundo lugar, que

los intervalos de tiempo considerados fueron diferentes en ambos estudios (280 días vs. 300 días).

Cuadro 3. Estadística descriptiva para el número de huevos en distintas fases de producción en individuos F₂.

Fuente de información	NH40	NH4160	NH60
Núm. de individuos	270	243	243
Prom. ponderado	99,47	109,79	209,26
Desv. estándar	18,20	19,04	27,29
Coef. de variación (%)	18,30	17,34	13,04
Mínimo	53	75	136
Máximo	130	135	256

NH40= número de huevos acumulado hasta la semana 40; NH4160= número de huevos acumulados entre las semanas 41 y 60; NH60, número acumulados hasta la semana 60.

La producción total de huevos osciló entre 136 y 256 unidades, con promedio ponderado de 209,26 unidades y un coeficiente de variación de 13,04%. Este promedio de producción se ajusta a los valores estimados por Galíndez *et al.*, (2012), para las razas puras IPA y FAGRO que dieron origen a la F₂ usada en esta investigación y que estuvieron en el orden de 242 y 200 unidades, respectivamente. Asimismo, son similares a las medias de producción a las 62 semanas de edad reportadas por Chandan *et al.* (2019).

Por otra parte, superan ampliamente a los valores reportados por Juárez *et al.*, (2010) y Chomchuen *et al.* (2022), quienes compararon la producción hasta las 62 semanas de vida de gallinas criollas y autóctonas, obteniendo promedios entre 65 y 156 unidades.

Los niveles de producción estimados en esta investigación son aceptables para los genotipos y sistemas de producción que se manejan, además son un valioso indicador del mérito productivo de las razas criollas IPA y FAGRO, que puede ser aprovechado en programas de mejoramiento genético.

2.2. Marcadores genéticos moleculares asociados al número de huevos acumulados hasta las 40 semanas de edad (NH40).

El número de huevos es un carácter de gran importancia económica en las unidades de producción avícolas. Este rasgo está determinado por efectos poligénicos complejos, generalmente muestra índices de herencia de mediana o baja intensidad, y está muy influenciado por factores ambientales y endocrinos (Xu *et al.*, 2011b).

En el primer cromosoma se encuentra ubicado el QTL MCW007 que flanquea una región de interés para el estudio de la producción acumulada de huevos hasta la semana cuarenta (Chatterjee *et al.*, 2008; 2014). Sin embargo, el análisis de varianza no encontró efecto estadístico significativo del marcador sobre el rasgo considerado (Cuadro 4).

Cuadro 4. Valores de F y probabilidad, producto del análisis de Varianza para el número de huevos acumulado hasta las 40 semanas (NH40) en la población F₂.

Marcador	F	Pr>F
MCW007	3.0	0.0654 ns
ADL0253	0.82	0.5993 ns
MCW0241	1.55	0.2184 ns
ADL0201	9.18	0.0036 *

* = efecto estadístico significativo, ns = efecto estadístico no significativo

El análisis de varianza para el marcador ADL0201 ubicado en el cromosoma Z, detectó diferencias estadísticas significativas (Cuadro 4) para el número de huevos en la primera fase de producción (NH40). Estudios similares realizados por Tuiskula - Haavisto, *et al.*, (2002), Sasaki *et al.*, (2004), Xu *et al.*, (2011a,b), quienes evaluaron esta misma región cromosómica, lograron detectar asociación estadística significativa del marcador genético ADL0201, sobre la producción de huevos.

Hasta las 40 semanas de edad (NH40), los individuos con genotipo hemicigotico “A,” alcanzaron en promedio una producción de 99,16 unidades, contra el promedio del genotipo “B” que fue de 78,10 unidades acumuladas (Cuadro 5).

Cuadro 5. Información genotípica, valores fenotípicos y varianza fenotípica asociadas a los distintos marcadores genéticos moleculares para el número de huevos acumulados hasta las 40 semanas de edad (NH40).

Marcador	Genotipo	Fenotipo*	Num. Indv.	% Var
ADL0201	A	99,16 a	25	13 %
	B	78,10 b	35	

*Letras diferentes dentro de la misma columna indican diferencias estadísticas significativas

La diferencia observada en los niveles de producción entre investigaciones se puede atribuir a diferencias en la composición genética, a factores nutricionales y de manejo en general.

El segundo marcador considerado para el cromosoma Z (MCW0241) ha sido mencionado por otros investigadores (Tuiskula-Haavisto *et al.*, 2002; Sazaki *et al.*, 2004; Xu *et al.*, 2011a, b; Abdel *et al.*, 2017; Goraga, 2019), quienes han observado un efecto estadístico significativo de este marcador sobre la producción de huevos, que permitió explicar entre el 6% y 19% de la varianza fenotípica para el carácter.

Sin embargo, en el presente estudio, el análisis de varianza no detectó asociación estadística significativa entre los genotipos del marcador y la producción acumulada de huevos a las cuarenta semanas de edad (NH40), lo cual sugiere que la población considerada, no posee en esa región cromosómica una combinación particular de alelos que puedan conferir alguna ventaja competitiva para un genotipo específico; sobre todo si se considera que los grupos genéticos usados difieren entre investigaciones.

En el cromosoma cinco se encuentra ubicado un tercer QTL que ha sido ampliamente estudiado por Goraga, *et al.*, (2011), quienes encontraron asociación estadística significativa entre este marcador (ADL0253) y la producción de huevos. En los estudios realizados por Goraga *et al.*, (2011), el efecto del marcador ADL0253 fue significativo; sin embargo, en el presente estudio, el análisis de varianza no detectó diferencias entre los genotipos del marcador y la producción de huevos en esta fase de producción. Pudiendo esgrimir la teoría

de que, los genotipos utilizados no poseen combinaciones particulares de alelos que puedan influenciar la respuesta productiva.

2.3. Marcadores genéticos moleculares asociados al número de huevos acumulados entre las 41 y 60 semanas de edad (NH4160)

Cuando se evaluaron los registros de producción de huevos acumulada entre las 41 y 60 semanas de edad (Cuadro 6), los análisis de varianza no detectaron diferencias estadísticas significativas entre los promedios de los genotipos para ninguno de los tres marcadores genéticos incluidos en el estudio (ADL0201, MCW0241 y ADL0253).

Cuadro 6. Valores de F y probabilidad, producto del análisis de varianza para el número de huevos acumulado desde las 41 hasta las 60 semanas de edad (NH4160) en la población F₂.

Marcador	F	Pr>F
ADL0253	1.31	0.2640 ns
MCW0241	1.28	0.2631 ns
ADL0201	0.48	0.4906 ns

ns: no significativo

Este resultado se contradice con la información aportada por otras investigaciones, en las cuales se detectaron diferencias estadísticas entre los genotipos de los diferentes marcadores genéticos y la producción de huevos, entre las 41 y 60 semanas de edad. En este sentido, Goraga *et al.*, (2011), lograron establecer asociación entre los genotipos del marcador (ADL0253) y la producción de huevos entre las 41 y 60 semanas de edad. En ese estudio, el marcador genético explicaba el 4,2% de la varianza fenotípica para el rasgo.

Por otra parte, Tuiskula-Haavisto *et al.*, (2002), analizaron la asociación entre los QTL's ADL0201 y MCW0241 y la producción de huevos entre las cuarenta y uno y sesenta semanas de edad, y encontraron asociación estadísticamente significativa entre los genotipos de ambos marcadores y el número de huevos que se produjo durante esa etapa.

En este orden de ideas, Abdel *et al.* (2017) encontraron relación entre la región que flanquean los marcadores MCW0241 – MCW0246 y el número de huevos. En este sentido, señalan que las discrepancias que se observan en los trabajos de investigación, pueden ser

consecuencia de la divergencia que existe entre las razas que dan origen a los cruces, el momento o edad en que se mide la respuesta productiva y, diferencias fisiológicas originadas por la composición genética de las mismas.

El hecho de que en el presente trabajo no se haya encontrado asociación estadística entre los genotipos de los diferentes marcadores y la producción de huevos, es un indicador de que la población considerada no posee una combinación particular de genes en esa región, que le confiera ventajas a un genotipo específico.

2.4. Marcadores genéticos moleculares asociados al número de huevos acumulados hasta las 60 semanas de edad (NH60)

Para el análisis de la producción total de huevos (NH60) se consideraron tres regiones cromosómicas ubicadas en los cromosomas cinco (ADL0253) y Z (ADL0201 y MCW0241). En este caso, los análisis de varianza (Cuadro 7) solo detectaron efecto estadístico significativo del marcador ADL0201.

Cuadro 7. Valores de F y probabilidad, producto del análisis de varianza para el número de huevos acumulado hasta las 60 semanas de edad (NH60) en la población F₂.

Marcador	F	Pr>F
ADL0253	0.93	0.5150 ns
MCW0241	0.00	0.9559 ns
ADL0201	4.87	0.0314 *

* = efecto estadístico significativo, ns = efecto estadístico no significativo

El hecho de que no se detectó efecto de las regiones delimitadas por los marcadores ADL0253 y MCW0241, expresa contradicciones con los resultados de Tuiskula-Haavisto, *et al.* 2002; Sasaki *et al.* 2004; Chatterjee *et al.* 2008; Honkatukia, 2010; Goraga *et al.* 2011; Xu *et al.* 2011a, b; Abdel *et al.*, 2017; Goraga, 2019; los cuales evidenciaron efecto estadístico significativo de los marcadores mencionados con el número de huevos hasta las 60 semanas de edad.

En el Cuadro 8, se reflejan los resultados de las pruebas de rangos múltiples de DUNCAN y se puede observar que nuevamente los individuos que portan el alelo "A"

muestran ventaja ($P < 0,05$) sobre los individuos que portan el alelo “B” (A = 206,8 vs. B = 184,72).

Si se interpretan en conjunto, los valores de las tres fases de producción, se puede apreciar que la ventaja lograda por los individuos de genotipo hemicigotico “A” durante la fase inicial de producción influyó de forma determinante en la producción total. En ese caso, los individuos con el alelo “A,” durante la primera fase alcanzaron en promedio una producción de 99,16 unidades contra el promedio del alelo “B” que fue de 78,10 unidades (Cuadro 5).

Cuadro 8. Información genotípica, valores fenotípicos y Varianza fenotípica asociadas a los distintos marcadores genéticos moleculares para el número total de huevos acumulados (NH60).

Marcador	Genotipo	Fenotipo	Num. Indv.	% Var
ADL0201	A	206,80 a	26	0,08 %
	B	184,72 b	34	

Letras diferentes dentro de la misma columna indican diferencias estadísticas significativas

2.5. Parámetros genéticos relacionados con la producción de huevos

Usando la metodología propuesta por Boldman *et al.* (1995), se estimaron los parámetros genéticos (índices de herencia y coeficientes de repetición) para aquellos caracteres donde se detectó asociación estadística significativa entre los marcadores genéticos moleculares considerados y los respectivos rasgos fenotípicos (Cuadro 9). Esta información complementaria, permitió tener una visión más clara de las relaciones de asociación detectadas entre los caracteres productivos y los respectivos marcadores moleculares.

El número de huevos generados a las cuarenta semanas de edad (NH40) y el número total de huevos (NH60), arrojaron valores para el índice de herencia de baja y mediana magnitud, respectivamente (Cuadro 9). Estos valores son inferiores a los observados en otros estudios (Shann – Ren *et al.*, 2018; Chandan *et al.*, 2019; Mohmmmed y Hani, 2019; Ferreira *et al.*, 2020; Chomchuen *et al.*, 2022; Yang *et al.*, 2023) e indican mediana a baja

influencia de genes con efecto aditivo; siendo más importantes los efectos genéticos no aditivos y los efectos ambientales.

Cuadro 9. Índices de herencia (h^2) y coeficientes de repetición para número de huevos a las 40 semanas (NH40) y número total de huevos (NH60).

Parámetros genéticos		
Carácter	h^2 (E.E.)	r
NH40	0,12 (0,1)	0,36
NH60	0,23 (0,00)	0,49

h^2 = Índice de herencia; r = Coeficiente de repetibilidad.

De nuevo, las discrepancias de los valores entre los estudios, probablemente tienen su origen a diferencias en la estructura genética de las poblaciones de las aves evaluadas (Galíndez *et al.*, 2012). Asimismo, variación en la edad de medición producirá cambios en el valor de los parámetros genéticos.

Es interesante mencionar que el índice de herencia para el número de huevos se incrementa con la edad de las gallinas, lo cual coincide con el trabajo de Chandan *et al.* (2019). En este orden de ideas, Mookprom *et al.* (2017) explica que las variaciones en los niveles de heredabilidad, son producto de cambios fisiológicos que sufren las gallinas y diferencias de la expresión génica.

Conclusiones

Solo el marcador ADL0201 está asociado a la producción de huevos en la primera y última fase de postura; sin embargo, el porcentaje de variación explicado por el mismo es muy bajo. Por este motivo, la selección apoyada en esta herramienta, para la población estudiada, no parece ser promisoría. Asimismo, la respuesta esperada a la selección considerando esta metodología, podría ser inferior a los métodos tradicionales de genética cuantitativa, sobre todo si se considera que los índices de herencia estimados son iguales o superiores al porcentaje de variación que explica la región adyacente al marcador molecular utilizado.

Referencias

Abdel, A.; Iraqi, M.; Khalil, M.; El-Mogazy, G.; El-Atrouny, M. (2017). Quantitative trait loci associated with egg traits in F2 intercross between Golden Montazah and White Leghorn chickens. *Benha Journal of Applied Sciences* 2(3): 1 – 10. Disponible: <http://bjas.bu.edu.eg>

Badan, A. (2003). Ganho com selecao e diversidades genética: medidas para monitorar o melhoramento populacional de arroz. Tesis Doctorado. Campinas, Brasil. Universidades Estadual de Campinas. 100 p.

Boldman, K.; Kriese, L.; Van Vleck, L.; Van Tassell, C.; Kachman, S. (1995). A manual for use of MTDFREML. A set of programs to obtain estimates of variance and covariances [Draft]. U. S. Department of Agriculture, Agriculture Research Service. 114 p.

Boruszewska, K.; Łukaszewicz, M.; Zięba, G.; Witkowski, A.; Horbańczuk, J.; Jaszczak, K. (2009). Microsatellite markers may be ineffective in selection of laying hens for polygenic production traits. *Poultry Science* 88: 932 – 937.

Chandan, P.; Bhattacharya, T.; Rajkumar, U.; Prince, L.; Chatterjee, R. (2019). Estimation of genetic parameters of growth and egg production traits by animal model in IWK layer strain. *Indian J. Anim. Res.* 53(9): 1252 – 1257. Disponible: DOI: 10.18805/ijar.B-3638

Chatterjee, R.; Sharma, R.; Mishra, A.; Dange M.; Bhattacharya, T. (2008). Variability of Microsatellites and their Association with Egg Production Traits in Chicken. *International Journal of Poultry Science* 7 (1): 77 – 80.

Chatterjee, R.; Bhattacharya, T.; Dange, M.; Dushyanth, K.; Niranjana, M.; Reddy, B.; Rajkumar, U. (2014). Genetic heterogeneity among various Indigenous and other chicken populations with microsatellite markers. *Journal of Applied Animal Research*. 43(3): 266 – 271. Disponible: <http://dx.doi.org/10.1080/09712119.2014.963097>

Chomchuen, K.; Tuntiyasawasdikul, V.; Chankitisakul, V.; Boonkum, W. (2022). Genetic evaluation of body weights and egg production traits using a multi-trait animal model and selection index in Thai native synthetic chickens (Kaimook e-san2). *Animals* 12(335): 1 – 13. <https://doi.org/10.3390/ani12030335>

De La Rosa, O.; Márques, A.; Vásquez, B.; Seijas, G.; Dickson, L. (2013). Optimización de un protocolo para aislamiento de ADN a partir de sangre periférica en bovinos. 2do Congreso Venezolano de Ciencia, Tecnología e Innovación. LOCTI - PEII, Caracas, Venezuela. Disponible:

https://www.researchgate.net/publication/259292312_Optimizacion_de_un_protocolo_para_aislamiento_de_ADN_a_partir_de_sangre_periferica_en_bovinos

FAO. (2011). Molecular genetic characterization of animal genetic resources. FAO Animal Production and Health Guidelines. No. 9. Rome. Disponible: <http://www.fao.org/docrep/014/i2413e/i2413e00.htm>

Ferreira, P.; Nogara, P.; Breda, F.; Tomazetti, V.; Pires, A.; Macedo, A. (2020). Genotypic parameters for egg production in pure breed hens by using random regression model. *Ciencia Rural* 47: 05. Disponible: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20141631>

Galíndez, R.; Peña, I.; Albarrán, A.; Prospert, J. (2012). Producción de huevos y fertilidad en cuatro líneas de gallinas reproductoras venezolanas. *Revista de la Facultad de Agronomía. (UCV)* 38(3): 123-131.

Goraga, Z. S.; Nassar, M. K.; Brockmann, G. A. (2011). Quantitative trait loci segregating in crosses between New Hampshire and White Leghorn chicken lines: I. Egg production traits. *Animal Genetics* 43: 183 – 189.

Goraga, Z. S. (2019). Quantitative trait loci (QTL) and genetic parameters for economically important traits in chicken – A review. *Journal of Scientific Agriculture* 3: 51 – 59. Disponible: doi: 10.25081/jsa.2019.v3.5455

Honkatukia, M. (2010). Molecular genetics of chicken egg quality. Doctoral dissertation. Faculty of Mathematics and Natural Science. University of Turku, Finland. Disponible: <https://orgprints.org/id/eprint/18183/1/Honkatukia.pdf>

Hendrix Genetics. (2020). Guía de nutrición, versión L0209-03. Ponedoras. Villa 'de Körver' The Netherlands. Disponible: https://layinghens.hendrix-genetics.com/documents/1130/Nutrition_Guide_Spanish_vs3.pdf. 52 p

Juárez, C. A.; Gutiérrez, E.; Garcidueñas, R.; Salas, G. (2010). Producción de huevos en gallinas criollas Cuello Desnudo (Nana) y con emplume normal (nana) en la región del altiplano mexicano. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 44(3): 287 – 290.

Littell, R.; Milliken, G.; Stroup, W.; Freud, R. (2002). *Sas for Linear Models*. 4ed. SAS Institute INC. Cary, North Carolina, USA. 633 p.

Mohammed, S.; Hani, N. (2019). Genetic and non-genetic parameters for egg production traits of two Iraqi local chicks. *Plant Archives* 19(Supplement 2): 590 – 593.

Mookprom, S.; Boonkum, W.; Kunhareang, S.; Siripanya, S.; Duangjinda, M. (2017). Genetic evaluation of egg production curve in Thai native chickens by random regression and spline models. *Poultry Science* 96:274 – 281. <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pew326>

Sasaki, O.; Odawara, S.; Takahashi, H.; Nirasawa, K.; Oyamada, Y.; Yamamoto, R.; Ishii, K.; Nagamine, Y.; Takeda, H.; Kobayashi, E.; Furukawa, T. (2004). Genetic mapping of quantitative trait loci affecting body weight, egg character and egg production in F2 intercross chickens. *International Society for Animal Genetics* 35: 188 – 194. Disponible: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-2052.2004.01133.x>

Shann-Ren, K.; Cheng-Yung, L.; Yu-Shin, C.; Der-Yuh, L.; Tsung-Ping, H.; Kuo-Hsiang, H.; Hsiao-Meil, L. (2018). Genetic parameters for body weight and egg production traits in Taiwan native chicken homozygous for the heat shock protein 70 gene. *Asian J. Agri. & Biol.* 6(3): 396 – 402.

Segura, J.; Jerez, M.; Sarmiento, L.; Santos R. (2007). Indicadores de producción de huevos de gallinas criollas en el trópico de México. *Archivos de Zootecnia*. 56(215): 309 – 317.

Tuiskula-Haavisto, M.; Honkatukia, M.; Vilkki, J.; de Koning D. (2002). Mapping of quantitative trait loci affecting quality and production traits in egg layers. *Poultry Science* 81: 919 – 927.

Xu, H.; Hua, Z.; Chenglong, L.; Dexiang, Z.; Qian, W.; Liang, S.; Lishan, Y.; Min Z.; Qinghua, N.; Xiquan, Z. (2011a). Genetic effects of polymorphisms in candidate genes and the QTL region on chicken age at first egg. *BMC Genetics* 12: 33. Disponible: <http://www.biomedcentral.com/1471-2156/12/33>

Xu, H.P.; Zeng, H.; Zhang, D.X.; Jia, X.L.; Luo, C.L.; Fang, M.X.; Nie, Q.H.; Zhang, X.Q. (2011b). Polymorphisms associated with egg number at 300 days of age in chickens. *Genetics and Molecular Research* 10 (4): 2279 – 2289.

Yang, H.; Li, Y.; Yuan, J.; Ni, A.; Ma, H.; Wang, Y.; Zong, Y.; Zhao, J.; Jin, S.; Sun, Y.; Chen, J. (2023). Research Note: Genetic parameters for egg production and clutch related traits in indigenous Beijing – You chickens. *Poultry Science* 102: 1 – 5. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102904>