

Best F₁ crossbreedings and hybrid reproducers as maternal lines for commercial rabbit production

Mejores cruces F₁ y reproductoras híbridas como líneas maternas para la producción cunícola comercial

Yoleisy García Hernández¹, Raquel Elena Ponce de León Sentí¹, Gladys Sonia Guzmán Martínez¹, Luis Mateo Fraga Benítez¹, Oriol Santiago², Ismael Berrios¹, Lucio Labrador² and Dayron García Quiñonez¹

¹ Instituto de Ciencia Animal. Carretera Central, km 47 ½. San José de las Lajas. Mayabeque. Cuba

² Empresa de Ganado Menor (EGAME). Carretera Santiago de las Vegas – Rincón, km 1 ½. La Habana. Cuba

Email: yoleisyg@ica.co.cu

Three diallelic crossings with simple crossings (7606 observations) and two diallelic crossings were applied, using hybrid reproducers (790 observations) with four breeds (California, C; Chinchilla, CH; New Zealand, N and Semigiant, S) under production conditions for a period of more than 30 years and analyzed together in each generation for diminishing the effects of genotype-environmental interaction and studying pre-weaning performance. Mixed generalized linear models were applied to estimate a) effects of maternal and paternal breeds, specific crossings and differences between reciprocal pairs b) (crossbreeding) breeding parameters according to Dickerson, and c) racial effects and breeding parameters of the numerical and ponderable productivities of pure and crossed genotypes. The best F₁ crossings were NS, CS, CCH, SCH, SN and CHN. Breeding parameters demonstrated the superiority of maternal effects on Semi-giant and New Zealand, and direct effects on California and Chinchilla. Heterosis was high for pre-weaning traits (12-20 %). The evidence of the best crossings, estimation of breeding parameters of crossbreeding that ratifies the policy of racial use and pre-weaning productivities of each breed and crossing, as well as the proposal of a methodology for the integral evaluation of crossings constitute contributions to knowledge and characterize the genetic and heterotic potential of our breeds, their racial utilization and the selection of the best crossbreeds for commercial production. All these elements constitute the essential bases for the decision making in the Programa Nacional de Mejoramiento Genético del rabbit.

Key words: rabbits, crossbreeding, productivity, breeding parameters

Introduction

In Cuba, since the beginning of rabbit-breeding, crossbreeding experiments, based on diallelic designs (Ponce de León 1977 and García 2005), have been carried out in the genetic centers of the Empresa de Ganado Menor (EGAME) of larger population groups, which information allows to evaluate different breeding parameters of a set of progenitor breeds that contribute to making objective decisions on the use of breeds in the genetic improvement programs, as well as in the selection of material to be used in these programs (Mastache and Martínez 2003).

From the genetic point of view, these diallelic experiments were individually analyzed and the general

Se ejecutaron tres dialélicos con cruces simples (7606 observaciones) y dos dialélicos usando reproductoras híbridas (790 observaciones) con cuatro razas (California, C; Chinchilla, CH; Nueva Zelanda, N y Semigigante, S) en condiciones de producción por un período de más de 30 años y analizados de forma conjunta en cada generación para atenuar los efectos de la interacción genotipo-ambiente y estudiar el comportamiento predestete. Se aplicaron modelos lineales generalizados mixtos para estimar: a) los efectos de las razas paternas, maternas, cruces específicos y diferencias entre pares de recíprocos; b) los parámetros genéticos del cruzamiento según Dickerson y c) los efectos raciales y parámetros genéticos de las productividades numéricas y ponderales de los genotipos puros y cruzados. Se identificaron como mejores cruces F₁ a NS, CS, CCH, SCH, SN y CHN. Los parámetros genéticos demostraron la superioridad de efectos maternos en la Semigigante y Nueva Zelanda y de efectos directos en la California y Chinchilla. La heterosis fue alta para los rasgos predestete (12-20 %). La evidencia de los mejores cruces, la estimación de los parámetros genéticos del cruzamiento que ratifican la política de utilización racial y las productividades predestete de cada raza y cruce, así como la propuesta de una metodología para la evaluación integral de cruzamientos constituyen aportes al conocimiento y caracterizan el potencial genético y heterótico de nuestras razas, su utilización racial y la selección de los mejores cruces para la producción comercial. Todos estos elementos constituyen las bases esenciales para la toma de decisiones en el Programa Nacional de Mejoramiento Genético del conejo.

Palabras clave: conejos, cruzamiento, productividad, parámetros genéticos

Introducción

En Cuba, desde los comienzos de la cunicultura se han desarrollado experimentos de cruzamientos basados en diseños dialélicos (Ponce de León 1977 y García 2005) en los centros genéticos de la Empresa de Ganado Menor (EGAME) de mayores efectivos poblacionales, cuya información permite evaluar diferentes parámetros genéticos de un conjunto de razas progenitoras que contribuyen a tomar decisiones objetivas sobre el uso de las razas en los programas de mejoramiento genético, así como en la selección del material a utilizar en estos programas (Mastache y Martínez 2003).

Desde el punto de vista genético estos experimentos dialélicos se analizaron de forma individual y se estimaron

and specific combinatorial capacities were estimated as indicators of genetic variability (Ponce de León 1977 and García *et al.*, 2011), but the crossbreeding parameters suggested by Dickerson (1969) were not studied, which is the method of genetic analysis most recently used and that in rabbits has been applied by several authors (Khalil 1999, Baselga *et al.* 2003, Orengo *et al.* 2004, Brun and Baselga 2005, García-Tomás *et al.*, 2006, Al Saef *et al.*, 2008 and Ouyed *et al.*, 2011).

For these reasons, this proposal had the objective of genetically evaluating each of the existing breeds in the country, from the joint analysis of all available information and using new methods and statistical procedures, to identify F_1 crossings and hybrid reproducers with better advantages in the pre-weaning stage to be used in Cuban rabbit breeding as maternal lines in order to increase productions of species and the availability of protein of animal origin.

For this, the study was divided into four: 1) Influence of different racial effects on pre-weaning traits; 2) Estimation of breeding parameters of crossing in pre-weaning traits; 3) Estimation of numerical and ponderal productivity at weaning, and 4) Methodology to comprehensively evaluate pre-weaning performance.

Main results

Study 1. Influence of different racial effects on weaning traits

With the application of new statistical methods (mixed generalized linear models) for a total of 10 variables that represent different stages of the pre-weaning performance and do not fulfill normality assumptions, the influence of genetic factors, paternal race, maternal race, interaction between them (paternal/maternal race), the specific cross and the reciprocal pairs in three experiments of diallelic crossings (7,606 observations), while in the two experiments with F_1 reproducers (790 observations), component breeds of the genotype of the reproductive (specific maternal cross, maternal and paternal breed of the reproducer and the differences between maternal reciprocal pairs). Both in the diallelic crosses and in F_1 breeders, the effect of the experiment was included to guarantee the correct identification of breeding effects (García 2013).

Studied breeding factors (García *et al.* 2011, 2012b) had less influence on pre-weaning traits with respect to those attributed to the experiment, particularly in the diallelic crossings and, to a lesser extent, in the F_1 reproductive. The paternal x maternal race interaction was the source of variation of higher significance in diallelic crossings and F_1 reproducers. Little genetic variability was found between the reciprocal pairs, being present in only one trait for diallelic crossings and absent in the F_1 female reproducer.

las capacidades combinatorias generales y específicas como indicadores de la variabilidad genética (Ponce de León 1977 y García *et al.* 2011), pero no se estudiaron los parámetros del cruzamiento sugeridos por Dickerson (1969) que es el método de análisis genético más empleado recientemente y que en conejos se ha aplicado por diversos autores (Khalil 1999, Baselga *et al.* 2003, Orengo *et al.* 2004, Brun y Baselga 2005, García-Tomás *et al.* 2006, Al Saef *et al.* 2008 y Ouyed *et al.* 2011).

Por tales razones, la presente propuesta tuvo como objetivo evaluar genéticamente cada una de las razas existentes en el país, a partir del análisis conjunto de toda la información disponible y con empleo de nuevos métodos y procedimientos estadísticos, para identificar los cruces F_1 y reproductoras híbridas con mayores ventajas en la etapa predestete a ser utilizados en la cunicultura cubana como líneas maternas a fin de incrementar las producciones de la especie y la disponibilidad de proteína de origen animal.

Para esto, el trabajo se dividió en cuatro estudios: 1) Influencia de los diferentes efectos raciales en rasgos predestete; 2) Estimación de los parámetros genéticos del cruzamiento en rasgos predestete; 3) Estimación de la productividad numérica y ponderal al destete y 4) Metodología para evaluar integralmente el comportamiento predestete.

Principales resultados

Estudio 1. Influencia de los diferentes efectos raciales en rasgos predestete

Con la aplicación de nuevos métodos estadísticos (modelos lineales generalizados mixtos) para un total de 10 variables que representan distintas etapas del comportamiento predestete y no cumplen los supuestos de normalidad, se determinó la influencia de los factores genéticos, raza paterna, raza materna, la interacción entre ellas (raza paterna x materna), el cruce específico y la pareja de recíprocos en tres experimentos de cruzamientos dialélicos (7606 observaciones), mientras que en los dos experimentos con reproductoras F_1 (790 observaciones) se analizaron las razas componentes del genotipo de la reproductora (cruce específico materno, raza paterna y materna de la reproductora y las diferencias entre pares de recíprocos maternos). Tanto en los cruces dialélicos como en las reproductoras F_1 se incluyó el efecto del experimento para garantizar la correcta identificación de los efectos genéticos (García 2013).

Los factores genéticos (García *et al.* 2011, 2012 b) estudiados tuvieron menor influencia en los rasgos predestete con respecto a los atribuidos al experimento, particularmente en los cruces dialélicos y en menor proporción en la reproductora F_1 . La interacción raza paterna x materna fue la fuente de variación de mayor significación en cruces dialélicos y reproductoras F_1 . Entre las parejas de recíprocos se encontró poca variabilidad genética al encontrarse presente en un solo rasgo para los cruces dialélicos y ausente en la reproductora F_1 .

The most prominent F_1 crossings to be used in the commercial crossing structure in Cuban rabbit breeding, particularly in pre-weaning traits, are CS, CCH, SN, CHS and NS. In addition, it was possible to find at least three crossings (CCH, CS and SCH) that coincide in the first places of merit order, both in diallelic crossings and in F_1 female breeders, for the weight of the litter at weaning (PCAM35), which was a significant trait in both stages. The correspondence between the merit order of F_1 crossings and of these used later as maternal crossings, supported by a correlation of 0.70, show that the way of obtaining these hybrid females is more efficient to be used in triple or four-way crossings (García 2013).

Study 2. Estimation of breeding parameters of crossbreeding on pre-weaning traits

From the results of the previous study, all the equations of estimation and testing of breeding parameters of crossbreeding were generated: direct additive effect (gI), maternal additive effect (gM) and individual heterosis (hI), according to Dickerson 1969 model, not previously used in the country. These estimations were made for all pre-weaning traits under study, by means of the linear contrast between means of each crossing, both in diallelic crossings and in F_1 breeding, except heterosis for the latter. The contrasts were created according to the definitions of each parameter (García 2013).

As a result, breeding parameters of the crossing were obtained for each of the pre-weaning traits analyzed in the diallelic crossings and F_1 reproducer, which ratified the superiority of the maternal effects of the Semigigant and New Zealand breeds for fertility, number of weaned animals per births (WEAN/P), viability at weaning (VIAB) and PCAM35, as well as direct effects favorable to California and Chinchilla breeds for the same traits (Ponce de León *et al.*, 2016). In the F_1 breeders, the direct effect for 89 % of the traits was more important than the maternal effect, only found for WEAN/P, number of weaned per weaning (WEAN/W) and individual weight at weaning (PIND35). Direct effects were in favor of New Zealand as paternal breed of the female (García *et al.*, 2013 ab).

A wide range of heterosis was found, from -8 to 20 %, for these traits in the diallelic crossings. The crossings with the highest heterosis, mainly for the WEAN/P and VIABD traits are CCH-CHC, CS-SC, CHS-SCH and NS-SN, which values vary between 13 and 20.2 %. The high values of heterosis of these crossings for these particular indicators, measure the advantage of using crossbreeding as a way to improve traits on which the profitability of a rabbit breeding farm is based (García *et al.*, 2016).

Obtaining these breeding parameters for the four breeds with the greatest population effects allowed to

Los cruces F_1 más prominentes para ser utilizados en la estructura de cruzamiento comercial en la cunicultura cubana, particularmente en rasgos predestete son CS, CCH, SN, CHS y NS. Además, fue posible encontrar al menos tres cruces (CCH, CS y SCH) que coinciden en los primeros lugares de orden de mérito, tanto en los cruces dialélicos como en reproductoras F_1 , para el peso de la camada al destete (PCAM35), rasgo que fue significativo en ambas etapas. La correspondencia entre el orden de mérito de los cruces F_1 y de estos empleados con posterioridad como cruces maternos, avalada por una correlación de 0.70, reflejan que es más eficiente la vía de obtención de estas hembras híbridas para ser utilizadas en cruzamientos triples o de cuatro razas (García 2013).

Estudio 2. Estimación de los parámetros genéticos del cruzamiento en rasgos predestete

A partir de los resultados obtenidos en el estudio anterior se generaron todas las ecuaciones de estimación y docimación de los parámetros genéticos del cruzamiento: efecto aditivo directo (gI), efecto aditivo materno (gM) y heterosis individual (hI), según el modelo de Dickerson (1969), no empleado con anterioridad en el país. Estas estimaciones se realizaron para todos los rasgos predestete en estudio, a través del contraste lineal entre las medias de cada de cruce, tanto en cruces dialélicos como en las reproductoras F_1 , excepto la heterosis para estos últimos. Los contrastes se construyeron de acuerdo con las definiciones de cada parámetro (García 2013).

Como resultado se obtuvieron los parámetros genéticos del cruzamiento para cada uno de los rasgos predestete analizados en los cruces dialélicos y reproductoras F_1 , los cuales ratificaron en los cruces dialélicos la superioridad de los efectos maternos de las razas Semigigante y Nueva Zelanda para la fertilidad, número de destetados por partos (DEST/P), viabilidad al destete (VIABD) y el PCAM35, así como efectos directos favorables a las razas California y Chinchilla para los mismos rasgos (Ponce de León *et al.* 2016). En las reproductoras F_1 , el efecto directo para el 89 % de los rasgos tuvo mayor importancia que el efecto materno, solo encontrado para DEST/P, número de destetados por destete (DEST/D) y peso individual al destete (PIND35). Los efectos directos fueron a favor de la Nueva Zelanda como raza paterna de la reproductora (García *et al.* 2013 ab).

Se encontró amplio rango de heterosis, desde -8 a 20 %, para estos rasgos en los cruces dialélicos. Los cruces que mayor heterosis presentan, principalmente para los rasgos DEST/P y VIABD son CCH-CHC, CS-SC, CHS-SCH y NS-SN cuyos valores varían entre 13 y 20.2 %. Los altos valores de heterosis de dichos cruces para estos indicadores en particular, miden la ventaja del empleo del cruzamiento como vía para mejorar los rasgos en los que se sustenta la rentabilidad de una explotación cunícula (García *et al.* 2016).

La obtención de estos parámetros genéticos del cruzamiento para las cuatro razas de mayores efectivos

have all the necessary elements to trace the policy of racial utilization and crossbreeding from the available breeding material, as well as other strategies in the genetic improvement of the species.

Study 3. Estimation of numerical and ponderable productivity weaning

To make the integral assessment of individual pre-weaning traits, a calculation of numerical and ponderable productivity weaning was applied, as global indicators for the selection of the best crossings with the data of the third diallelic crossing experiment (5,026 observations), which is the only one that contains the necessary information (current parturition and next parturition) for the determination of the period between parturitions (PP) and period between weaning (PW). In addition, these traits are very useful in this species but very little studied (García 2013).

Three variants were used to estimate these productivities: A) Productivity/parturition, only with records with the date of the next birth (2,479 observations), B) Productivity/parturition extended to the entire population (5,026 records) and C) Productivity/weaning extended to the entire population (3,662 observations). In all three variants, the influence of racial effects was studied, while for Productivity/parturition extended to the entire population and Productivity/weaning extended to the entire population, breeding parameters of crossing were also determined. These two variants allowed the merit orders of crossings to be evaluated with more observations when the information of the next birth was not available in the reproductive records.

Crossings CCH, CHC and SCH, with the highest values of numerical and ponderable productivity, were located within the first three places in order of merit, which superiority may be related to the order of merit showed by these matings for the WEAN/P and PCAM35 in diallelic crossings.

A higher influence of direct additive effects than of the maternal additives on reproductive and productivity traits was found. Chinchilla breed was identified as the one with the best possibility of being used as a paternal breed, while as a maternal breed, California was favored. The most benefited traits by heterosis were PW and WEAN/D, on which productivity is based (García *et al.*, 2016).

Maximum values of heterosis (21 and 22 %), found for CCH-CHC crossing in the ponderable and numerical productivity traits, respectively, indicated feasibility of crossing in function of improving rabbit productivity in our tropical conditions, besides that these traits express better advantages of crossings compared to the average of parents, than for independent traits (García *et al.*, 2016).

poblacionales permitió disponer de todos los elementos necesarios para trazar la política de utilización racial y de cruzamiento a partir del material genético disponible, así como otras estrategias en el mejoramiento genético de la especie.

Estudio 3. Estimación de la productividad numérica y ponderal al destete

Para hacer la valoración integral de los rasgos predestete individuales, se procedió al cálculo de la productividad numérica y ponderal al destete, como indicadores globales para la elección de los mejores cruces con los datos del tercer experimento de cruzamiento dialélico (5026 observaciones) que es el único que contiene la información necesaria (parto actual y parto siguiente) para la determinación del intervalo parto-parto (IPP) e intervalo destete-destete (IDD). Además, son rasgos de mucha utilidad en esta especie pero muy poco estudiados (García 2013).

Se emplearon tres variantes para estimar dichas productividades: A) Productividad/parto solo con registros que disponían de la fecha del parto siguiente (2479 observaciones), B) Productividad/parto ampliado a toda la población (5026 registros) y C) Productividad/destete ampliado a toda la población (3662 observaciones). En las tres variantes se estudió la influencia de los efectos raciales, mientras que para la Productividad/parto ampliado a toda la población y la Productividad/destete ampliado a toda la población se determinaron además los parámetros genéticos del cruzamiento. Estas dos variantes permitieron evaluar con más observaciones los órdenes de mérito de los cruzamientos cuando no se dispuso de la información del siguiente parto en los registros reproductivos.

Los cruces CCH, CHC y SCH, con los mayores valores de productividad numérica y ponderal, se ubicaron dentro de los primeros tres lugares en orden de mérito cuya superioridad puede estar relacionada con el orden de mérito que presentaron estos apareamientos para los DEST/P y el PCAM35 en los cruces dialélicos.

Se encontró mayor influencia de los efectos aditivos directos que de los aditivos maternos en los rasgos reproductivos y de productividad. Se identificó a la raza Chinchilla como la de mayores posibilidades de ser usada como raza paterna, mientras que como raza materna se favoreció la California. Los rasgos más beneficiados por la heterosis fueron el IDD y los DEST/D, en los cuales se basa la productividad (García *et al.* 2016).

Valores máximo de heterosis (21 y 22 %), encontrados para el cruce CCH-CHC en los rasgos de productividad numérica y ponderal, respectivamente indicaron la factibilidad del cruzamiento en función de mejorar la productividad cunicola en nuestras condiciones tropicales, además de que estos rasgos integradores expresan mayores ventajas de los cruces respecto al promedio de los padres, que para los rasgos independientes (García *et al.* 2016).

Study 4. Methodology of work for selection of the best F_1 crossbreeding as maternal lines

From the general strategy to establish the correct crossbreeding system, determine interest traits, their economic importance, obtain information of available lines (means, breeding parameters and selection history) and the performance of reciprocal crossings of these lines in different traits and heterosis, proposed by Sheridan (1981) and all the results of previous studies, a work methodology was developed for the selection of the best F_1 crossings as maternal lines (García and Ponce de León 2014) that integrally evaluates pre-weaning performance of the crossings between the existing breeds of the country.

From the general strategy to establish the correct crossing system, determine the features of interest, their economic importance, obtain information of the available lines (means, breeding parameters, selection history) and the behavior of the reciprocal crossings of these lines in different features and heterosis, proposed by Sheridan (1981) and all the results obtained in the previous studies, a work methodology was developed for the selection of the best F_1 crosses as maternal lines (García and Ponce de León 2014) that evaluates integrally the pre-weaning behavior of the crosses between the breeds existing in the country.

This methodology gathers the necessary conditions to conduct this evaluation, such as traits to be considered according to their importance on profitability of rabbit breeding exploitation, characteristics of available information and their calculation methods, how to determine racial differences and breeding parameters of crossing, as well as the integration of results for decision-making in the selection of the best crossings. Its application is at commercial rabbit breeding level and will allow to identify the most productive F_1 crossings with possibilities to be used as maternal lines in the triple crossing scheme, created in the Programa Nacional de Mejora Genética of rabbits.

Scientific novelty derived from this study

- Breeding parameters of crossbreeding, suggested by Dickerson, were estimated, applied to four rabbit breeds and 12 types of F_1 female reproducers in 10 pre-weaning individual traits. This allowed to identify the best maternal breeds. Paternal breeds, F_1 crossings and F_1 hybrid female reproducers. These results represent a vital contribution to scientific knowledge and will enable to trace a proper policy of racial use for the Programa Nacional de Mejoramiento Genético, regarding the rational use of available rabbit genetic resources.

- Racial effects were determined and breeding parameters of crossings were estimated for the period between parturitions, parturitions/year and productivity at weaning as integrating trait. These aspects are little

Estudio 4. Metodología de trabajo para la selección de los mejores cruces F_1 como líneas maternas

A partir de la estrategia general para establecer el sistema correcto de cruzamiento, determinar los rasgos de interés, su importancia económica, obtener información de las líneas disponibles (medias, parámetros genéticos, historial de selección) y el comportamiento de los cruces recíprocos de estas líneas en distintos rasgos y de la heterosis, propuesta por Sheridan (1981) y todos los resultados obtenidos en los estudios anteriores se desarrolló una metodología de trabajo para la selección de los mejores cruces F_1 como líneas maternas (García y Ponce de León 2014) que evalúa integralmente el comportamiento predestete de los cruces entre las razas existentes en el país.

Desde la estrategia general para establecer el sistema de cruce correcto, determinar las características de interés, su importancia económica, obtener información de las líneas disponibles (medias, parámetros genéticos, historial de selección) y el comportamiento de los cruces recíprocos de estas líneas en diferentes características y heterosis, propuesta por Sheridan (1981) y todos los resultados obtenidos en los estudios previos, se desarrolló una metodología de trabajo para la selección de los mejores cruces F_1 como líneas maternas (García y Ponce de León 2014) que evalúa integralmente el comportamiento predestete de los cruces entre las razas existentes en el país.

Esta metodología recoge las condiciones necesarias para realizar dicha evaluación; los rasgos a considerar de acuerdo con su importancia en la rentabilidad de una explotación cunícola, las características de la información disponible y su forma de cálculo; cómo determinar las diferencias raciales y los parámetros genéticos del cruzamiento, así como la integración de resultados para la toma de decisiones en la elección de los mejores cruces. Su aplicación es a nivel de la cunicultura comercial y permitirá identificar los cruces F_1 más productivos con posibilidades de ser utilizados como líneas maternas en el esquema de cruzamiento triple concebido en el Programa Nacional de Mejora Genética del conejo.

Novedades científicas que se derivan del trabajo

- Se estimaron los parámetros genéticos del cruzamiento sugeridos por Dickerson, aplicados a cuatro razas cunícolas y doce tipos de reproductoras F_1 en 10 rasgos individuales predestete, lo que permitió identificar las mejores razas maternas, razas paternas, cruces F_1 y reproductoras híbridas F_1 . Estos resultados representan un importante aporte al conocimiento científico y permitirán trazar la correcta política de utilización racial para el Programa Nacional de Mejoramiento Genético en función del uso racional de los recursos genéticos cunícolas disponibles.

- Se determinaron los efectos raciales y estimaron los parámetros genéticos del cruzamiento para los rasgos intervalo parto-parto, partos/año y productividad al destete como rasgo integrador, muy poco estudiados en el país a

studied in the country in spite of having the most important profitability of rabbit breeding exploitations, so it constitutes an important contribution to knowledge of the species and a work tool for rabbit breeding.

- There is a report on the influence of racial effects on pre-weaning performance of three diallelic crossing experiments and two with F_1 breeders, repeated in different periods and environmental conditions that consider several production levels in the country to lessen the effects of genotype x environment interaction, which validates and facilitates its application in commercial rabbit breeding.

Scientific contribution and importance of the study

- Estimates of numerical and ponderable productivity are available in four pure breeds and 12 F_1 crossings in the pre-weaning stage, the most important period in the species.

- All the equations for the estimation and testing of breeding effects of the crossbreeding according to Dickerson were developed for the case of four breeds in a complete diallelic crossing.

- A methodology was developed for the selection of the best breeds and crossings to be used in the genetic improvement of rabbits, taking into account its productivity and it is useful to evaluate new crossings, breeds or lines selected in the country.

- A set of results is available for rabbit breeding, as well as to the scientific community, which allow a) to identify the most promising genotypes as maternal lines and b) to propose the way in which they should be included in the Plan Nacional de Mejoramiento Genético of this species.

Conclusions

The evidence of the best crossings, estimation of breeding parameters of the crossing that ratify the policy of racial utilization and the pre-weaning productivities determined for each breed and crossing, as well as the proposal of a methodology for the integral evaluation of crossings constitute contributions to knowledge and characterize the genetic and heterotic potential of our breeds, their racial utilization and the selection of the best crossings for commercial rabbit production. All these elements constitute, in addition, the essential bases for decision making in the Programa Nacional de Mejoramiento Genético of the rabbit.

pesar de ser los de mayor importancia en la rentabilidad de las explotaciones cunícolas, por lo que constituye una importante contribución al conocimiento de la especie y una herramienta de trabajo para la cunicultura.

- Se informa sobre la influencia de efectos raciales en el comportamiento predestete de tres experimentos de cruzamientos dialélicos y dos con reproductoras F_1 , repetidos en distintos periodos y condiciones ambientales que consideran varios niveles de producción del país para atenuar los efectos de la interacción genotipo x ambiente, lo que valida y facilita su aplicación en la cunicultura comercial.

Aportes científicos e importancia del trabajo

- Se dispone de las estimaciones de productividad numérica y ponderal en cuatro razas puras y 12 cruces F_1 en la etapa predestete, la de mayor importancia en la especie.

- Se desarrollaron todas las ecuaciones para la estimación y docimación de los efectos genéticos del cruzamiento según Dickerson para el caso de cuatro razas en un dialélico completo.

- Se elaboró una metodología para la selección de las mejores razas y cruces para ser empleada en el mejoramiento genético del conejo, teniendo en cuenta su productividad y es útil para evaluar nuevos cruzamientos, razas o líneas seleccionadas en el país.

- Se pone a disposición de la cunicultura, así como de la comunidad científica un conjunto de resultados que permiten a) identificar los genotipos más promisorios como líneas maternas y b) proponer la forma en que deban ser incluidos en el Plan Nacional de Mejoramiento Genético de la especie.

Conclusiones

La evidencia de los mejores cruces, la estimación de los parámetros genéticos del cruzamiento que ratifican la política de utilización racial y las productividades predestete determinadas para cada raza y cruce, así como la propuesta de una metodología para la evaluación integral de cruzamientos constituyen aportes al conocimiento y caracterizan el potencial genético y heterótico de nuestras razas, su utilización racial y la selección de los mejores cruces para la producción cunícola comercial. Todos estos elementos constituyen, además, las bases esenciales para la toma de decisiones en el Programa Nacional de Mejoramiento Genético del conejo.

References

- Al-Saef, A. M., Khalil, M. H., Al-Homidan, A. H., Al-Dobaib, S. N., Al-Sobayil, K. A., García, M. L. & Baselga, M. 2008. "Crossbreeding effects for litter and lactation traits in a Saudi project to develop new lines of rabbits suitable for hot climates". *Livestock Science*, 118(3): 238–246, ISSN: 1871-1413, DOI: 10.1016/j.livsci.2008.01.025, Available: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871141308000292>>, [Consulted: December 24, 2017].
- Baselga, M., García, M., Sánchez, J. P., Vicente, J. S. & Lavara, R. 2003. "Analysis of reproductive traits in crosses among maternal lines of rabbits". *Animal Research*, 52(5): 473–479, ISSN: 1627-3583, 1627-3591, DOI: 10.1051/animres:2003034, Available: <<http://dx.doi.org/10.1051/animres:2003034>>, [Consulted: December 24, 2017].
- Brun, J. M. & Baselga, M. 2005. "Analysis of reproductive performances during the formation of a synthetic rabbit strain". *World Rabbit Science*, 13(4): 239–252, ISSN: 1989-8886, DOI: 10.4995/wrs.2005.514, Available: <<https://polipapers.upv>>

- es/index.php/wrs/article/view/514>, [Consulted: December 24, 2017].
- Dickerson, G. 1969. "Experimental approaches to utilizing breed resources". *Animal Breeding Abstract*, 37: 191–202, ISSN: 0003-3499, Available: <<https://ci.nii.ac.jp/naid/10016145564>>, [Consulted: December 24, 2017].
- García, H. Y., Ponce de León, R. E., Fraga, B. L. M. & Guzmán, M. G. S. 2016. "Efectos raciales y parámetros genéticos de la productividad de cruces simples de conejos". *Livestock Research for Rural Development*, 28(4), Available: <<http://www.lrrd.org/public-lrrd/proofs/lrrd2804/cont2804.htm>>, [Consulted: December 24, 2016].
- García, Y. 2005. Fuentes de variación genética en cruces simples y a cuatro vías de conejos. M.Sc. Thesis, Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba, 83 p.
- García, Y. 2013. Mérito genético de cruces dialélicos y reproductoras F1 como líneas maternas. Ph.D. Thesis, Instituto de Ciencia Animal, Mayabeque, Cuba, 231 p.
- García, Y. & Ponce de León, R. 2014. Metodología de trabajo para la selección de los mejores cruces F1 como líneas maternas. Mayabeque, Cuba: EDICA, ISBN: 978-959-7171-54-6.
- García, Y., Ponce de León, R. E. & Guzmán, G. S. 2012a. "Efectos raciales en rasgos de pesos al destete en cruces dialélicos completos entre cuatro razas de conejos". In: V Encuentro Internacional de Jóvenes Agropecuarios 'INTERJOVEN 2012', La Habana, Cuba: Instituto de Ciencia Animal, ISBN: 978-959-71071-42-3.
- García, Y., Ponce de León, R. E. & Guzmán, G. S. 2013a. "Efectos aditivos directos, maternos y heterosis para rasgos de prolificidad al destete en conejos". In: IV Congreso de Producción Animal Tropical, La Habana, Cuba: EDICA, ISBN: 978-959-7171-49-2.
- García, Y., Ponce de León, R. E., Mastache, Á. & Guzmán, G. S. 2011. "Genetic components of the traits of prolificacy and mortality at birth in a diallel cross between five rabbit breeds". *Cuban Journal of Agricultural Science*, 45(1): 15–19, ISSN: 2079-3480.
- García, Y., Ponce de León, R. & Martínez, G. 2012b. "Racial and heterosis effects of prolificacy traits on complete diallelic crossings between four rabbit breeds". *Cuban Journal of Agricultural Science*, 46(2): 139–144, ISSN: 2079-3480, Available: <<http://www.cjascience.com/index.php/CJAS/article/view/56>>, [Consulted: December 24, 2017].
- García, Y., Ponce de León, R. & Martínez, G. 2013b. "Maternal direct additive effects and heterosis on the prolificacy features of rabbits at birth". *Cuban Journal of Agricultural Science*, 47(4): 335–340, ISSN: 2079-3480, Available: <<http://cjascience.com/index.php/CJAS/article/view/378>>, [Consulted: December 24, 2017].
- García-Tomás, M., Sánchez, J., Rafel, O., Ramon, J. & Piles, M. 2006. "Heterosis, direct and maternal genetic effects on semen quality traits of rabbits". *Livestock Science*, 100(2): 111–120, ISSN: 1871-1413, DOI: 10.1016/j.livprodsci.2005.08.004, Available: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030162260500240X>>, [Consulted: December 24, 2017].
- Khalil, M. H. 1999. "Heterosis, maternal and direct genetic effects for litter performance and postweaning growth in Gabali rabbits and their crosses raised under hot climatic conditions". *Journal of King Saud University*, 11(2): 121–136, ISSN: 1018-3647.
- Mastache, L. Á. A. & Martínez, G. Á. 2003. "Un algoritmo para el análisis, estimación y predicción en experimentos dialélicos balanceados". *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26(3): 191–200, ISSN: 0187-7380, Available: <<http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=61026309>>, [Consulted: December 24, 2017].
- Orengo, J., Gómez, E. A., Piles, M., Rafel, O. & Ramón, J. 2004. "Growth traits in simple crossbreeding among dam and sire lines". In: VIII World Rabbit Congress, Puebla, Mexico: World Rabbit Science Association (WRSA), pp. 114–121, Available: <<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20053160534>>, [Consulted: December 24, 2017].
- Ouyed, A., Rivest, J. & Brun, J. M. 2011. "Heterosis, direct and maternal additive effects on rabbit growth and carcass traits from a Canadian experiment". *World Rabbit Science*, 19(1): 31–41, ISSN: 1989-8886, DOI: 10.4995/wrs.2011.783, Available: <<https://polipapers.upv.es/index.php/wrs/article/view/783>>, [Consulted: December 24, 2017].
- Ponce de León, R. 1977. Fuentes genéticas de variación y heterosis de los caracteres maternos en cruces simples, triples y de 4 razas en conejos. Ph.D. Thesis, Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba, 328 p.
- Ponce de León, R., García, Y., Guzmán, G. S. & Fraga, L. M. 2016. "Efectos raciales y parámetros genéticos de la fertilidad de cruces dialélicos con cuatro razas de conejos". *Livestock Research for Rural Development*, 28(4), ISSN: 0121-3784, Available: <<http://www.lrrd.cipav.org.co/lrrd28/4/ponc28069.htm>>, [Consulted: December 24, 2017].
- Sheridan, A. K. 1981. "Crossbreeding and heterosis". *Animal Breeding Abstracts*, 49: 131–144, ISSN: 0003-3499, Available: <<https://ci.nii.ac.jp/naid/10008440854/>>, [Consulted: December 24, 2017].

Received: January 15, 2017