

## Contribution of animal genetic improvement to livestock systems resilience

### Contribución de la mejora genética animal a la resiliencia de los sistemas ganaderos

Rodrigo Alfredo Martínez

*Director de Investigación y Desarrollo, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, AGROSAVIA, C.I. Tibaitatá, Mosquera, Colombia.  
Email: ramartinez@agrosavia.co*

The objective of this study was to show a review of the studies carried out in Creole breeds in aspects of conservation, characterization and selection using genomic information, for the traditional characteristics, but it also includes variables related to disease tolerance and adaptation such as the heat tolerance index and the adaptation coefficient, which allow having populations with higher productivity but conserving their adaptive capacities to tropical conditions, therefore they will be more resilient to climate variability. Additionally, the study exposes the selection strategies for newly introduced breeds such as the Cebu Brahman breed and Simmental breed, carried out with the participation of farmer associations and focused on the multiplication of genetically superior animals, using cutting-edge reproductive tools, responding effectively to the needs of adaptation or resilience imposed by the change in environmental conditions that occur in tropical regions.

**Key words:** *genetics, resilience, creole breeds, Cebu Brahman, Simmental*

Este trabajo tiene como objetivo presentar una revisión de los trabajos realizados en las razas criollas en aspectos de conservación, caracterización y selección utilizando información genómica, para las características tradicionales, pero también incluye variables relacionadas con tolerancia a enfermedades y adaptación como el índice de tolerancia al calor y el coeficiente de adaptación, que permiten tener poblaciones con mayor productividad pero conservando sus capacidades adaptativas a las condiciones tropicales, por ende serán más resilientes a la variabilidad climática. Adicionalmente, el trabajo expone las estrategias de selección para razas de reciente introducción como son la raza Cebú Brahman y la raza Simmental, realizado con la participación de las asociaciones de productores y enfocado a la multiplicación de animales genéticamente superiores, utilizando herramientas reproductivas de última generación, respondiendo de manera efectiva a las necesidades de adaptación o resiliencia impuestas por el cambio en las condiciones medioambientales que se dan en las regiones tropicales.

**Palabras clave:** *Genética, resiliencia, razas criollas, Cebú Brahman, Simmental*

#### USE AND DEVELOPMENT OF COLOMBIAN CREOLE BREEDS AND THEIR CONTRIBUTION TO THE PRODUCTIVE SYSTEMS RESILIENCE

*Conservation programs.* In Colombia, conservation programs were established since the middle of the last century. But only from the commitment acquired in the convention of Biological Diversity of Rio de Janeiro (1993), the Germplasm Banks of the Nation were officially established since 1994, for the Creole bovine breeds, Romosinuano, Costeño con Cuernos in the Centro de Investigación Turipaná, in Montería, Córdoba, Samartinero, in Centro de Investigaciones La Libertad in Villavicencio city, Departamento del Meta and a nucleus of Blanco Orejinegro breed in the Centro de Investigación El Nus, Antioquia. Later, to multiply and promote these breeds, a Development Program was developed (2005-2015) that allowed the increase of animal population, reaching to link 113 farms where a database with more than 6,000 productive records was generated (Vásquez *et al.* 2012).

In 2012, the creation of two new germplasm banks began, one for Casanare breed, which currently has

#### USO Y DESARROLLO DE LAS RAZAS CRIOLLAS COLOMBIANAS Y SU APORTE A LA RESILIENCIA DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS

*Programas de conservación.* En Colombia los programas de conservación fueron establecidos desde la mitad del siglo pasado. Pero solo a partir del compromiso adquirido en el convenio de Diversidad Biológica de Rio de Janeiro (1993), se establecieron oficialmente los Bancos de Germoplasma de la Nación desde el año 1994, para las razas bovinas criollas, Romosinuano, Costeño con Cuernos en el Centro de Investigación Turipaná, en Montería, Córdoba, Samartinero, en el Centro de Investigaciones La Libertad en la ciudad de Villavicencio, Departamento del Meta y un núcleo de la raza Blanco Orejinegro en el Centro de Investigación El Nus, Antioquia. Posteriormente, para multiplicar y promocionar estas razas, se desarrolló un Programa de Fomento (2005-2015) que permitió el incremento de la población de animales, llegando a vincular 113 ganaderías donde se generó una base de datos con más de 6.000 registros productivos (Vásquez *et al.*, 2012).

En el año 2012 se inició la creación de dos nuevos bancos de germoplasma uno para la raza Casanare, el

200 animals and has allowed maintaining the genetic variability of this breed, and the other for the Hartón del Valle breed, in Valle del Cauca, which currently has 147 animals, formed into 5 family groups. Finally, in 2016, the germplasm bank of Chino Santandereano breed, made up of 40 animals, was created. These populations, because of their proven tolerance to tropical environments, constitute an important alternative to contribute to the resilience of livestock systems in Colombia and tropical regions of the world.

*Programs of productive and genomic characterization in creole breeds.* In these populations growth information (weight gain from birth to 24 months), reproductive characteristics (interval between parturitions, age at first parturition, scrotal circumference, etc.), adaptation characteristics, (heat tolerance index, coefficient of adaptability, tick load, etc.) and characteristics of productive type have been recorded for more than 30 years, with which a productive information base for genetic analysis was generated.

#### **GENETIC IMPROVEMENT PROGRAM OF CREOLE BREEDS IN COLOMBIA**

*Development of performance tests and selection of genetically superior bulls.* Since 2011, performance tests have been carried out on growing young bulls in Romosinuano and Blanco Orejinegro breeds, where it starts in animals with 17 months and ends at 24 months, the animals are selected through a composite index, which includes growth speed, adaptation, reproduction and type (Quiceno *et al.* 2011). Currently there are more than 360 evaluated bulls (55 bulls per test), 28 selected bulls in each of the breeds and 26,200 straws cryopreserved by breed, which are being used by farmers.

*Creation of selection nucleus.* The objective of this activity was to establish a base nucleus for the improvement of Romosinuano, Costeño con Cuernos, Sanmartinero and Blanco Orejinegro breeds, as a source of genetic variability for the selection of animals of high genetic value for livestock production systems. Currently the population groups are close to 400 animals in each selection nucleus and controlled matings are carried out, using bulls from the performance tests with follow-up to the coefficient of inbreeding and breeding values for the characteristics under the improvement plan. The results show increasing breeding trends for growth and the average genetic values for the reproductive characteristics are stable.

*Implementation of genomic selection tools.* The reference population was established, from the databases, selecting those animals with the highest representation in the pedigree, with complete phenotypic information in the database and with higher values of accuracy in the genetic evaluations. For genotyping, a genotyping technology on a large scale

cual cuenta actualmente con 200 animales y ha permitido mantener la variabilidad genética de esta raza, y el otro para la raza Hartón del Valle, en el Valle del Cauca, el cual cuenta actualmente con 147 animales, conformados en 5 grupos familiares. Finalmente, en el año 2016 se creó el banco de germoplasma de la raza Chino Santandereano, integrado por 40 animales. Estas poblaciones por su comprobada tolerancia a los ambientes tropicales constituyen una importante alternativa para contribuir a la resiliencia de los sistemas ganaderos en Colombia y las regiones tropicales del mundo.

*Programas de caracterización productiva y genómica en razas criollas.* En estas poblaciones se ha registrado durante más de 30 años información de crecimiento (ganancia de peso desde el nacimiento hasta los 24 meses), características reproductivas (intervalo entre partos, edad al primer parto, circunferencia escrotal, etc.), características de adaptación (índice de tolerancia al calor, coeficiente de adaptabilidad, carga de garrapatas, etc.) y características de tipo productivo, con la cual se generó una base de información productiva para análisis genéticos.

#### **PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO DE RAZAS CRIOLLAS EN COLOMBIA**

*Desarrollo de pruebas de comportamiento y selección de toros superiores.* Desde el año 2011 se han realizado anualmente pruebas de comportamiento de toretes en crecimiento en las razas Romosinuano y Blanco Orejinegro, donde se inicia con animales de 17 meses y finaliza a los 24 meses, los animales son seleccionados mediante un índice compuesto, que incluye velocidad de crecimiento, adaptación, reproducción y tipo (Quiceno *et al.* 2011). Actualmente se registran más de 360 toros evaluados (55 toros por prueba), 28 toros seleccionados en cada una de las razas y 26.200 pajillas criopreservadas por raza, que actualmente están siendo utilizadas por ganaderos.

*Creación de núcleos de selección.* Esta actividad tuvo como objetivo establecer unos núcleos base para el mejoramiento de las razas criollas Romosinuano, Costeño con Cuernos, Sanmartinero y Blanco Orejinegro, como fuente de variabilidad genética para la selección de animales de alto valor genético para los sistemas de producción ganadera. Actualmente los grupos poblacionales están cercanos a los 400 animales en cada núcleo de selección y se realizan apareamientos dirigidos, utilizando toros de las pruebas de comportamiento con seguimiento a los índices de consanguinidad y a los valores genéticos para las características bajo plan de mejora. Los resultados indican tendencias genéticas crecientes para el crecimiento y se mantienen estables los valores genéticos promedio para las características reproductivas.

*Implementación de herramientas de selección genómica.* Se estableció la población de referencia, a partir de las bases de datos, seleccionando aquellos animales con mayor representación en el pedigrí, con información fenotípica completa en la base de datos y

was used, using a total of 3 200 animals genotyped with a 56K, 7k and 26k chip and for the imputation a procedure implemented with FImpute (Sargolzaei *et al.* 2014) was used.

Initially, genomic association analysis were carried out in order to determine the effect of specific SNPs on weights from birth to 24 months, finding an important region on chromosome BTA14 between 24 and 26 Mbp, in a region where the PLAG1 gene is found (Martínez *et al.* 2016). On the other hand, for the reproductive characteristics, a marker was found on BTA4, within the Leptin gene, as well as a marker within the POU3f gene on the BTA9 chromosome, which were significantly associated with the interval between parturitions in Romosinuano and Blanco Orejinegro breeds.

*Results of the genomic evaluation.* Currently, there is a reference population for each breed with complete productive and genomic information. An increase in the accuracy values was found for the use of genomic information, going from 0.55 to 0.6 for the birth weight at and from 0.25 to 0.37 in weaning weight, representing real increases ranging from 18 % to 25 % for the characteristics of birth weight and weaning weight respectively (Martínez *et al.* 2014). Likewise, this information is used to estimate the breeding values for the populations of the National Network of commercial farmers and associations to revitalize the valorization and genetic improvement of these breeds. The selection of creole breeds populations for growth characteristics, seeking to maintain their good reproductive performance and taking into account variables such as the adaptation coefficient and the heat tolerance index, will allow populations resilient to climatic variability and the prevailing difficult environmental conditions in tropical regions, such as tolerance to parasites and diseases, as one of the main approaches in this breeding program in creole breeds in Colombia.

#### **GENOMIC PLATFORM IN CEBU BRAHMAN BREED**

*Methodology.* To select the reference population in Cebu Brahman breed, 35 cattle herds were considered, located in 3 natural regions, eastern plains, inter-Andean valleys and north coast, and it was based on the historical database from the Asociación Colombiana de Criadores de Ganado Cebú - Asocebé, which has a total of 1 027 600 genealogical records in more than 7 effective generations. In order to consolidate the reference population, effective contribution analysis of individuals using PEDIG (Boichard *et al.* 2002) were carried out, which allowed to link a total of 85,000 animals in the genealogy for the genomic platform in the Cebu Brahman breed. The database considered growth characteristics, conformation evaluated by ultrasound, reproduction, linear classification, with a total of 165,000 data of

con mayores valores de exactitud en las valoraciones genéticas. Para la genotipificación, se utilizó una tecnología de genotipado a gran escala, utilizando un total de 3 200 animales genotipados con un chip de 56K, 7k y 26k y para la imputación se utilizó un procedimiento implementado con FImpute (Sargolzaei *et al.* 2014).

Inicialmente se realizaron análisis de asociación Genómica, con el fin de determinar efecto SNPs específicos sobre los pesos desde nacimiento hasta los 24 meses, encontrando una región importante sobre el cromosoma BTA14 entre 24 y 26 Mbp, en una región donde se encuentra el gen PLAG1 (Martínez *et al.* 2016). Por su parte, para las características reproductivas se halló un marcador sobre BTA4, dentro del gen de la Leptina, así como un marcador dentro del gen POU3f sobre el cromosoma BTA9, los cuales se encontraron significativamente asociados con el intervalo entre partos en las razas Romosinuano y Blanco Orejinegro.

*Resultados de la valoración genómica.* Actualmente se cuenta con una población de referencia por cada raza con información productiva y genómica completa. Se encontró un incremento en los valores de exactitud por uso de información genómica, pasando de 0.55 a 0.6 para el peso al nacimiento y de 0.25 a 0.37 en peso al destete, que representan incrementos reales que van del 18 % al 25 % para las características de peso al nacimiento y peso al destete, respectivamente (Martínez *et al.* 2014). Igualmente, esta información es utilizada para estimar los valores genéticos para las poblaciones de la Red nacional de productores comerciales y asociaciones para dinamizar la valorización y el mejoramiento genético de estas razas. La selección de poblaciones de las razas criollas para características de crecimiento, buscando mantener su buen desempeño reproductivo y teniendo en cuenta variables como el coeficiente de adaptación y el índice de tolerancia al calor, permitirán poblaciones resilientes a la variabilidad climática y a las condiciones medioambientales difíciles predominantes en las regiones tropicales, como la tolerancia a parásitos y enfermedades, como uno de los principales enfoques en este programa de mejoramiento genético en razas criollas en Colombia.

#### **PLATAFORMA GENÓMICA EN LA RAZA CEBÚ BRAHMAN**

*Metodología.* Para seleccionar la población de referencia en la raza Cebú Brahman, se consideraron 35 ganaderías, localizadas en 3 regiones naturales, llanos orientales, valles interandinos y costa norte, y se partió de la Base de datos histórica de la Asociación Colombiana de Criadores de Ganado Cebú - Asocebé, la cual cuenta con un total de 1 027 600 registros genealógicos en más de 7 generaciones efectivas. Con el fin de consolidar la población de referencia, se realizaron análisis de contribución efectiva de los individuos utilizando PEDIG (Boichard *et al.* 2002), lo que permitió vincular un total de 85.000 animales en la genealogía para la plataforma genómica en la raza Cebú Brahman. La base de datos



phenotypic information. A total of 4 250 animals of the breed were genotyped using a chip specially designed for the Brahman breed, GENESEEK 76k and GENESEEK 26k, for the imputation process the FImpute software was used (Sargolzaei *et al.* 2014). For genomic analyzes, the mixed model methodology was used replacing the A-1 matrix with an H matrix that considers genomic contributions for genotyped individuals, using the Single Step Genomic BLUP (Best Linear unbiased Predictor) methodology, through the group of BLUPF90 programs (Miszta *et al.* 2009).

*Predictive capacity.* With the use of genomic information of approximately 4,250 genotyped animals, of which 895 were males and 3 165 females, where bulls with more than 10 offspring were selected and the 700 younger genotyped animals were used to cross-validate, as a result, a high prediction capacity was obtained, evidenced by a high correlation value ( $R^2=0.85$ ) between the genetic values and the genomic values for the validation population. Regarding the increase in the accuracy of prediction based on genomic information, it was found that the accuracy without genomic information for the population without genomic information varies between 0.17 to 0.30, which increases for the genotyped population to accuracy values between 0.30 and 0.47, with average increases of 37 %. Finally, the effects of the use of the mating schedule were estimated, for selection of sires in 20 farms, making the selection pilot (Martínez *et al.* 2018).

#### SELECTION STRATEGY IN SIMMENTAL BREED IN COLOMBIA

This is a start-up that is just beginning, in this case the Simmental Breeders Association provided the information consisting of genealogical information bases (N = 1,600), growth data (N = 18,000), milk production and quality (N = 7 500), linear classification (N = 1250) and finally the genotyping of a fraction of Colombia's Simmental cattle population (N = 700) using a medium density chip which containing a total of 30 thousand SNPs.

In the analysis of the genealogical information of Simmental cattle of Colombia a total of 27 985 animals were included, which were registered by the association between the years 1995 to 2017, distributed in 11,932 males and 14,658 females, which corresponded to a total of 3,282 sires and 9,378 dams. With this information it was possible to estimate the pedigree quality of Simmental breed in Colombia, where it was found that the sixth generation reached 60 % of the complete pedigree, in the estimation of the generational interval an average value of 9.5 years was obtained for the males and 6.5 years per interval for females. On the other hand, when estimating the tendencies of the inbreeding values

consideró características de crecimiento, conformación evaluada por ultrasonido, reproducción, clasificación linear, con un total de 165 000 datos de información fenotípica. Se genotiparon un total de 4 250 animales de la raza utilizando un chip especialmente diseñado para la raza Brahman, GENESEEK 76k y GENESEEK 26k, para el proceso de imputación se utilizó el software FImpute (Sargolzaei *et al.* 2014). Para los análisis genómicos se utilizó la metodología de modelos mixtos reemplazando la matriz A-1 por una matriz H que considera contribuciones genómicas para los individuos genotipados, utilizando la metodología Single Step Genomic BLUP (Best lineal unbiased predictor), mediante el grupo de programas BLUPF90 (Miszta *et al.* 2009).

*Capacidad predictiva.* Con el uso de información genómica de aproximadamente 4,250 animales genotipados, de los cuales fueron 895 machos y 3 165 hembras, donde se seleccionaron toros con más de 10 hijos y se utilizaron los 700 animales más jóvenes genotipados para hacer la validación cruzada, como resultado se obtuvo una alta capacidad de predicción, evidenciado por un alto valor de correlación ( $R^2=0.85$ ) entre los valores genéticos y los valores genómicos para la población de validación. En cuanto al incremento en la exactitud de la predicción basado en información genómica, se encontró que la exactitud sin información genómica para la población sin información genómica varía entre 0.17 a 0.30, la cual se incrementa para la población genotipada hasta valores de exactitud entre 0.30 y 0.47, con incrementos promedio del 37 %. Finalmente se estimaron los efectos del uso de la programación de apareamientos, para selección de padres en 20 ganaderías, haciendo el piloto de selección (Martínez *et al.* 2018).

#### ESTRATEGIA DE SELECCIÓN EN LA RAZA SIMMENTAL EN COLOMBIA

Este es un emprendimiento que apenas inicia, en este caso la Asociación de criadores de la raza Simmental aportó la información que consiste en bases de información genealógica (N=1 600), datos crecimiento (N=18 000), producción y calidad de leche (N=7 500), clasificación linear (N=1 250) y por último se dio el genotipado de una fracción de la población de ganado Simmental de Colombia (N=700) utilizando un chip de mediana densidad que contiene un total de 30 mil SNPs.

En el análisis de la información genealógica del ganado Simmental de Colombia se incluyeron un total de 27 985 animales, que se registraron por la asociación entre los años 1995 a 2017, distribuidos en 11 932 machos y 14 658 hembras, los cuales correspondieron a un total de 3 282 padres y 9 378 madres. Con esta información se permitió estimar la calidad de pedigrí de la raza Simmental en Colombia, donde se encontró que a la sexta generación se alcanzó un 60 % del pedigrí completo, en la estimación del intervalo generacional se obtuvo un valor promedio de 9.5 años para los machos y 6.5 años por intervalo para las hembras. Por otra parte, al estimar las tendencias de los

in the population in the last 7 years, an increasing tendency was found, going from 0.01 to 0.016, besides estimating the tendencies in the effective size of Simmental population that passes from  $N_e=75$  up to  $N_e=97.5$  in 2016 and the contribution of breed lines of Simmental cattle, there was an increasing tendency of milk lines in both males and females, which shows that the majority of the population has focused on the productive specialization in Colombia.

Regarding the productive parameters in Simmental breed, for reproductive characteristics, there was a value of  $1.165 \pm 501$  days for the age of the first parturition ( $n=3413$ ), and an average value of  $388 \pm 157$  days for interval between parturitions ( $n=3077$ ). With respect to milk production at 305 days ( $n=1,721$ ) with an average value of  $4,591 \pm 1,754$  liters, for fat percentage ( $n=2,440$ ) an average value of  $3.9\% + 0.57\%$  and finally, for the protein percentage ( $n=2,820$ ) a value of  $3.4 \pm 0.28\%$ .

The genomic base of Simmental breed was initially constructed by a total of 710 genotyped animals with a total of 80 males and 630 females (Amaya *et al.* 2018). This information has allowed carrying out more precise analysis of consanguinity and inbreeding and will provide the opportunity to perform a genetic evaluation including genomic information for the early selection of animals based on the genomic platform of the breed.

*Laboratory of animal reproduction C.I. Tibaitatá.* Created to be able to perform the multiplication of the identified superior individuals by means of the genomic selection tools previously described. This laboratory has an ICA Certification for production of reproductive material by totally *in vitro* methods, and has worked on the development of abilities in superovulation and embryo production by *in vitro* fertilization (IVF) methodologies, optimization of culture media and cryopreservation procedures for the production of embryos of high breeding value and at low cost (Pure and crosses -Milk-), for direct transfer estrus detected. In addition to developing strategies for staff training in embryo transfer techniques. From these developments, it has been possible to obtain more than 2,000 embryos of the Creole, Cebuina and Simmental breeds that are used to promote and spread the genetic progress of these selected breeds under tropical conditions, thus contributing to the livestock systems resilience to be used in tropical regions of the world.

## CONCLUSION

There are state-of-the-art techniques that allow to obtain a more precise knowledge of the genetic structure of the populations and the genetic control of the characteristics, as well as to identify markers and regions of the genome that have an important effect on the phenotypic control and can be used combined

valores de consanguinidad en la población en los últimos 7 años, se encontró una tendencia creciente, pasando de 0.01 a 0.016, además de estimar las tendencias en el tamaño efectivo de la población Simmental que pasó de  $N_e=75$  hasta  $N_e=97.5$  en el año 2016 y la contribución de líneas genéticas de ganado Simmental, se evidenció una tendencia creciente de las líneas de leche tanto en machos como en hembras, lo cual indica que la mayor parte de la población se ha enfocado en la especialización productiva en Colombia.

En cuanto a los parámetros productivos en la raza Simmental, se encontraron para las características reproductivas de edad al primer parto ( $n=3,413$ ) un valor de  $1.165 \pm 501$  días e intervalo entre partos ( $n=3,077$ ) con un valor promedio de  $388 \pm 157$  días. Respecto a la producción de leche a 305 días ( $n=1,721$ ) con un valor promedio de  $4,591 \pm 1,754$  litros, para porcentaje de grasa ( $n=2,440$ ) un valor promedio de  $3.9\% + 0.57\%$  y finalmente, para el porcentaje de proteína ( $n=2,820$ ) un valor de  $3.4 + 0.28\%$ .

La base genómica de la raza Simmental inicialmente estuvo construida por un total de 710 animales genotipados con un total de 80 machos y 630 hembras (Amaya *et al.*, 2018). Esta información ha permitido llevar a cabo análisis de consanguinidad y parentesco más precisos y dará la oportunidad de realizar una evaluación genética con inclusión de información genómica para la selección temprana de animales basada en la plataforma genómica de la raza.

*Laboratorio de reproducción animal c.i. Tibaitatá.* Creado para poder realizar la multiplicación de los individuos superiores identificados mediante las herramientas de selección genómica previamente descrita. Este laboratorio cuenta con una Certificación ICA para producción de material reproductivo por métodos totalmente *in vitro*, y se ha trabajado en el desarrollo de capacidades en superovulación y producción de embriones por metodologías de fertilización *in vitro* (FIV), optimización de medios de cultivo y procedimientos de criopreservación para la producción de embriones de alto valor genético y a bajo costo (Puros y cruces -Leche-), para transferencia directa a celo detectado. Además de desarrollar estrategias de capacitación de personal en técnicas de transferencia de embriones. A partir de estos desarrollos, se han podido obtener más de 2,000 embriones de las razas criollas, Cebuinas y Simmental que se utilizan para promover y difundir el progreso genético de estas razas seleccionadas en las condiciones tropicales, contribuyendo así a la resiliencia de los sistemas ganaderos para ser utilizados en regiones tropicales del mundo.

## CONCLUSIÓN

Existen técnicas de última generación que permiten obtener un conocimiento más preciso de la estructura genética de las poblaciones y del control genético de las características, así como identificar marcadores y regiones del genoma que tienen un efecto importante en el control fenotípico y que pueden ser utilizados en conjunto con

with traditional information for genomic valuation that accelerates genetic gain, and combined with reproductive biotechnology strategies can make production systems more efficient.

la información tradicional para valoración genómica que aceleran la ganancia genética, y que combinadas con estrategias de biotecnología reproductiva pueden hacer más eficientes los sistemas de producción.

## REFERENCES

- Boichard D. 2002. Pedig: a Fortran Package for Pedigree Analysis Suited for Large Populations. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. p. 19-23. Montpellier, France. Available: [http://www.g.jouy.inra.fr/gabt/content/download/3340/38349/version/1/file/B2410\\_wegalp28-13pag](http://www.g.jouy.inra.fr/gabt/content/download/3340/38349/version/1/file/B2410_wegalp28-13pag)
- Martínez R., Bejarano D., Gómez Y., Martínez F., Ramírez J., Gallego J. & Abuabara Y., 2014, Wide association studies for growth traits in Colombian Creole cattle using a single step genomic best linear unbiased prediction (gBLUP), Proceedings, 10th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production, 426, 2014
- Martínez, R., Burgos-Paz, W., Bejarano, D., Reyes, P., & Rocha J.F., 2018, Genomic predictions and accuracy of weight traits in a breeding program for Colombian Brahman, Proceedings of the World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Volume Genetic Gain - Strategies for Local Breeds 2, 644, Auckland, New Zealand. Available: <http://www.wegalp.org/proceedings/2018/genomic-predictions-and-accuracy-weight-traits-breeding-program-colombian-zebu>
- Martínez, R., Dassonneville, R., Bejarano, D., Jimenez, A., Eve, n G., Mészáros, G. & Sölkner J. 2016, Direct and maternal genetic effects on growth, reproduction, and ultrasound traits in zebu Brahman cattle in Colombia, J. Anim. Sci. 2016.94(7):2761–2769, doi:10.2527/jas2016-0453
- Martínez R., Quiceno, J., Gallego J., Mateus, H., Rodríguez, O., Medina, P. & Ballesteros, H. 2012, Growth performance of Blanco Orejinegro and Romosinuano bullocks on pasture, Rev Colomb Cienc Pecu 25:36-45.
- Misztal, I., Legarra & A. Aguilar, I. 2009. Computing procedures for genetic evaluation including phenotypic, full pedigree, and genomic information. J. Dairy Sci. 92(9):4648–4655. doi:10.3168/jds.2009-2064
- Quiceno, J., Martínez, R., Mateus, H., Gallego, J. & Medina, P., 2011, Crecimiento en pastoreo rotacional de toretes de razas criollas Romosinuano y Blanco Orejinegro en Colombia. Rev.MVZ Córdoba 17(1):2891-2899.
- Sargolzaei, M., Chesnais, J. P. & Schenkel, F. S. 2014. A new approach for efficient genotype imputation using information from relatives. BMC Genomics, 17(15): 478-480 (DOI: 10.1186/1471-2164-15-478).
- Vázquez, R., Martínez, R., Gallego, J., Onofre, G., Pérez, J. & Lucano, C. 2012. Estado actual del plan de fomento de la raza BON en empresas ganaderas, en eficiencia productiva de la raza BON en el trópico colombiano. Ed. CORPOICA, p. 151-159 ISSN: 978-958-740-119-6

**Received: February, 18, 2019**