

# PERSPECTIVAS EN BENEFICIO DE LA TRANSGÉNESIS ANIMAL NUEVAS TECNOLOGÍAS BASADAS EN GENES

**La transferencia de genes o transgénesis en animales ofrece un enorme potencial para modificar características como la fertilidad y la resistencia a enfermedades. Esto debido a que se pueden adicionar, remplazar o inactivar genes específicos "IN VITRO" en sus células germinales.**

Claudia Forero N. Bióloga. MSc. Ph.D  
Grupo de Bioseguridad y Recursos Genéticos  
Pecuarios  
Instituto Colombiano Agropecuario  
Secretaría Técnica Ejecutiva CTN-Pecuario  
e-mail: claudia.forero@ica.gov.co

24

**E**n 1953 fue descifrada la estructura del ADN; sin embargo, debieron transcurrir 30 años, para que se lograra intervenirla y modificarla efectivamente. El primer organismo secuenciado totalmente fue la levadura, en 1996. La secuencia del genoma humano se obtuvo en el 2000. En la última década ha habido una explosión de tecnologías para aislar, amplificar, secuenciar e insertar nuevo material genético, que han sido escalonadas y automatizadas para hacer posible el desciframiento rápido de genomas. Pese a que las secuencias completas de los genomas de animales domésticos están tocando nuestras puertas las nuevas tecnologías basadas en genes, para que tengan un verdadero impacto en el sector de la ganadería y la avicultura, se encuentran todavía en sus inicios.<sup>1</sup>

En animales, la aplicación de las nuevas tecnologías está enfocada no sólo a incrementar su productividad, mejorar la resistencia a enfermedades y la calidad nutricional de los alimentos derivados de ellos, estudiar modelos de enfermedades humanas sino también a producir fármacos para tratamientos terapéuticos, obtener células, tejidos y órganos para xenotransplantes, producir proteínas en animales con fines industriales y mejorar el medio ambiente al hacer más eficiente la conversión de los alimentos y la capacidad digestiva.

La modificación genética de animales es un hecho, y quizás uno de los ejemplos más dramáticos es la inserción de la hormona de crecimiento en peces.<sup>2</sup> Aunque aún no se encuentran animales transgénicos en el mercado, la FDA (Food and Drug Administration de los Estados Unidos), está cercana en aprobar el salmón transgénico de rápido crecimiento.<sup>3</sup>

Vacunas con microorganismos modificados genéticamente, con especificidad mejorada y que permiten ser diferenciadas de las infecciones naturales en los animales, ya se encuentran en el mercado y vacunas de ADN desnudo se encuentran en avanzadas fases de aprobación.<sup>4</sup>

En el campo de la nutrición animal la biotecnología permite implementar la resistencia a enfermedades y a factores abióticos, así como mejorar la calidad nutricional de pastos y leguminosas.<sup>5</sup> Del mismo modo, las tecnologías basadas en genes aplicadas a los microorganismos ruminales ofrecen innovadoras estrategias que hacen posible caracterizarlos a nivel molecular, estudiarlos como comunidades que interactúan en sus nichos ecológicos, utilizarlos para mejorar la capacidad nutricional y contribuir a mejorar la calidad del medio ambiente.<sup>6</sup>

No todos estos desarrollos van a encontrar un lugar en los sistemas de producción animal, tal vez, por razones de

1. Cunningham, E. P. 2003. A vision of gene-based technologies for the livestock industries in the third millennium. FAO/IAEA International Symposium on Applications of Gene-Based Technologies for Improving Animal Production and Health in Developing Countries. Book of Extended Synopses. p. 3, 4.
2. Dunham, R. A. 2003. Status of genetically modified (transgenic) fish: Research and Application. Documento elaborado para FAO/WHO Expert Consultation on Safety Assessment of Foods Derived from Genetically Modified Animals including Fish. p. 3, 4, 5.
3. Findinier, I. 2003. Animal Biotechnologies: State of Art, Risks and Perspectives. Documento elaborado para FAO/WHO Expert Consultation on Safety Assessment of Foods Derived from Genetically Modified Animals including Fish. p. 4, 5, 7, 12.
4. Morrison, W. I. 1999. Biotechnology and animal vaccines. A 2020 vision for food. Agricultural and the Environment. IFPRI. Brief. 3.
5. Spangenberg, G. 2003. Transgenesis and genomics in molecular breeding of pasture grasses and legumes for forage quality and other traits. FAO/IAEA International Symposium on Applications of Gene-Based Technologies for Improving Animal. P.63-67
6. McCrabb, G., McSweeney, C., Denman, S., Mitsumori, M., Makkar, H. 2003. The application of molecular microbial ecology tools to facilitate the development of more efficient feeding systems and reduce adverse environmental effects of ruminant livestock in the developing world. FAO/IAEA International Symposium on Applications of Gene-Based Technologies for Improving Animal Production and Health in Developing Countries. Book of Extended Synopses. p. 74-75.





25

costo, ética o percepción pública, además que generan preocupaciones por los nuevos riesgos que surgen de ellos, lo que ha provocado arduos debates en los que necesariamente se involucran científicos, productores de alimentos, consumidores, grupos de interés público, especialmente de protección del medio ambiente, autoridades estatales y tomadores de decisiones, entre otros.<sup>7</sup> Sin embargo, representan una gran posibilidad para mejorar la salud y la productividad animal.

En Colombia el Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, conciente de la importancia que tienen los avances biotecnológicos en el campo de la producción y la salud animal, pero a la vez conocedor de la necesidad de evaluar los posibles riesgos que se pueden generar para la salud humana y animal, el medio ambiente y la biodiversidad, desarrolló la normatividad nacional en la materia, con el objeto de asegurar que las decisiones relacionadas con la bioseguridad de todas las actividades con or-

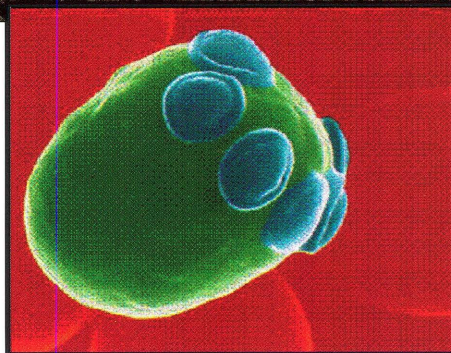


FOTO DEL PRIMER ORGANISMO SECUENCIADO. LEVADURA SECUENCIADA.

ganismos modificados genéticamente (OMG) de interés pecuario, sus derivados y productos que los contengan estén fundamentadas en una comprensión cabal de las consecuencias y en un sólido fundamento científico.<sup>8</sup>

#### ANIMALES GENÉTICAMENTE MODIFICADOS (TRANSGÉNICOS)

La transferencia de genes o transgénese en animales ofrece un enorme potencial para modificar características como la fertilidad y la resistencia a enfermedades, so-

7. Kok, E. J., Jones, W. 2003. The food safety risk assessment of GM animals. Documento elaborado para FAO/WHO Expert Consultation on Safety Assessment of Foods Derived from Genetically Modified Animals including Fish. p. 2, 3.  
8. Forero de Lleras C., Pastrana R. 2001. Marco Conceptual para la Normatividad en Materia de Bioseguridad Pecuaria. Imprenta Nacional de Colombia. p. 1-55.





FOTOS DIEGO CHAMORRO

**BOVINOS PASTOREANDO EN UNA ASOCIACIÓN DE LEUCAENA Y PASTO ESTRELLA**

brepasando las limitaciones del mejoramiento convencional, principalmente debido a que se pueden adicionar, remplazar o inactivar genes específicos "in vitro" en sus células germinales (célula de un embrión, espermatozoide, oocito, blastómero o célula embrionaria troncal, CET). Estos genes pueden provenir de especies diferentes a las que se pretenden introducir.<sup>9</sup>

Se han desarrollado diferentes técnicas para generar animales transgénicos y la utilización de cada una de ellas depende en alto grado de la especie que se desea modificar, debido principalmente a la especificidad de sus sistemas reproductivos. (Ver recuadro)

Ninguna de las técnicas ha tenido aún un impacto significativo en los sistemas de producción animal, muchos laboratorios están produciendo ratones transgénicos para el estudio de genes y algunas universidades y compañías están realizando investigaciones para crear animales de granja modificados genéticamente con el fin de mejorar la selección genética. Quizá donde más rápido se va a obtener beneficio de la transgénesis animal sea en la producción de bio-

fármacos en leche, sangre o huevos. Sin embargo, ninguno de estos productos ha sido liberado comercialmente debido a que son sometidos a un estricto control que garantice que su secuencia y estructura funcional sean idénticas a la de los convencionales, además deben cumplir todos los procedimientos regulatorios exigidos a las sustancias que son producidas mediante procedimientos convencionales.<sup>14</sup>

La modificación genética en animales presenta aún muchas incertidumbres que deben ser aclaradas, no solo con argumentos científicos sino involucrando aspectos éticos y de impacto socioeconómico. Por esta razón el Consejo Nacional de Investigaciones de los Estados Unidos (National Research Council, NRC), reunió un grupo de 12 expertos que definieron con bases científicas las preocupaciones asociadas con la biotecnología animal y sus productos. La primera de ellas se refiere a que cualquiera de las tecnologías utilizadas para producir animales transgénicos puede generar problemas, como la posibilidad de que una secuencia de ADN de un vector usado para transferir un gen pueda escapar e integrar-

9. Houdebine, L. M. 2003. Generation and use of genetically modified farm animals. Documento elaborado para FAO/WHO Expert Consultation on Safety Assessment of Foods Derived from Genetically Modified Animals including Fish. p. 3, 4, 5.  
10. Houdebine, 2003.  
11. Whitelaw, B. 2003. Development of germ-line manipulation technologies in livestock. FAO/IAEA International Symposium on Applications of Gene-Based Technologies for Improving Animal Production and Health in Developing Countries. Book of Extended Synopses. p. 15-16  
12. Whitelaw, 2003  
13. Houdebine, 2003  
14. Fierman, 2003  
15. National Research Council of the National Academies (U.S.). 2002. Committee on Defining Science-based Concerns Associated with Products of Animal Biotechnology. Animal Biotechnology: science-based concerns. The National Academies Press, Washington D. C., U.S.



se en el ADN de otro organismo y generar un peligro. La segunda se relaciona con la posibilidad de que los alimentos y otros productos de la biotecnología animal, ya sean obtenidos por ingeniería genética o por clonación, sean substancialmente diferentes a los derivados de las tecnologías convencionales. La tercera y principal incertidumbre es que las nuevas tecnologías puedan ocasionar daños ambientales. La cuarta tiene que ver con la posibilidad que las nuevas tecnologías aplicadas a los animales creen problemas de salud y afecten su bienestar y la última se refiere a si los aspectos éticos y políticos de estas tecnologías emergentes han sido adecuadamente tratados.<sup>15</sup>

#### NUEVAS VACUNAS DE USO ANIMAL

Básicamente se han utilizado dos enfoques usando técnicas de ADN recombinante para el desarrollo de vacunas de uso animal: el primero involucra la eliminación de genes que determinan la virulencia de patógenos, para producir organismos atenuados que pueden ser usados como vacunas vivas; esta estrategia ha resultado efectiva para enfermedades virales y bacteriales pero poco productiva para el ataque de parásitos. El segundo consiste en identificar las subunidades proteicas de los patógenos que estimulan la inmunidad, teóricamente es posible clonar y expresar cualquier gen microbiano en un organismo diferente con el fin de obtener grandes cantidades, purificarlos y producir vacunas contra las enfermedades. Sin embargo, es esencial que los antígenos que se expresen sean protectivos, es decir que sean ensamblados y presentados al sistema inmune de tal forma que induzcan una respuesta inmune apropiada y de larga duración. Las vacunas recombinantes producidas con subunidades proteicas logran una respuesta inmune humoral (de anticuerpos) y requieren el uso de adyuvantes.<sup>16</sup>

Ya se encuentran en el mercado vacunas contra la garrapata *Boophilus microplus*, utilizando como antígeno la proteína Bm86 aislada del intestino de la garrapata; contra *Theileria parva*, parásito que produce la fiebre de la Costa del Este, utilizando la proteína p67 de la superficie del esporozoito y contra *Dichelobacter nodosus* que produce la enfermedad de foot rot en ovejas y cabras, entre otras.<sup>17</sup>

## TÉCNICAS PARA GENERAR ANIMALES TRANSGÉNICOS

**MICROINYECCIÓN PRONUCLEAR:** consiste en la inyección directa de ADN en el pronúcleo de huevos fertilizados. Aunque aparentemente es una técnica simple requiere de un equipo especial y una alta destreza de la persona que la realiza. Esta técnica se adaptó para la generación de animales de granja, preferible ovinos (hormona de crecimiento), pero no es efectiva en bovinos. Se ha utilizado principalmente en la expresión de proteínas en leche con fines terapéuticos humanos y xenotransplantes. Solo permite la introducción de genes, no la eliminación de ellos, a menos que se utilicen CETs y se suprima un gen introduciendo otro por recombinación homóloga. Todas las células del animal adulto llevarán la modificación genética, desafortunadamente solo se ha logrado obtener CETs en algunas líneas permisivas de ratón. La microinyección de ADN también se puede llevar a cabo en el citoplasma de células embrionarias en especies diferentes a mamíferos, debido a que en algunos casos el pronúcleo no es visible o accesible, como por ejemplo en salmónidos e invertebrados, pero presenta como limitante que en la mayoría de los casos, el nuevo ADN no se integra y finalmente se pierde.<sup>10</sup>

**TRANSFERENCIA NUCLEAR:** Esta técnica se hizo famosa por el nacimiento de Dolly, aunque no fue un animal transgénico, ofrece el potencial de obtener este tipo de animales de una forma más eficiente y producir un rebaño por clonación en una sola generación. Fue la falta de métodos para llevar a cabo la eliminación de genes en ganado la que forzó el desarrollo de esta técnica; es más eficiente que la inyección pronuclear debido a que utiliza células somáticas en cultivo. Aunque es altamente demandante, costosa y se presentan muchas pérdidas "in útero", revolucionó el área de la tecnología animal debido a que sobrepasó la falta de CETs en animales de granja. Tal vez su mayor legado va a ser el desarrollo de estrategias terapéuticas para el tratamiento de enfermedades genéticas humanas.<sup>11</sup>

**INSERCIÓN DE GENES POR MEDIO DE RETROVIRUS:** implica la utilización de un vector retroviral para transportar el gen que se desea introducir en cultivos celulares o en tejidos somáticos de animales. Ha sido usada para modificar líneas germinales de peces, moluscos, aves y bovinos. Recientemente se ha implementado por la utilización de lentivirus (retrovirus lentos especializados). Esta técnica presenta dos ventajas excepcionales que la hacen factible para su uso en la ganadería, como son la simplicidad para introducir ADN, debido a que no requiere costosos aparatos ni personal altamente capacitado y una alta eficiencia de transferencia. Tal vez la meta más excitante que se vislumbra con ella es la ingeniería genética de las enfermedades infecciosas, en conjunto con otra herramienta emergente que es la del ARN interferente (RNAi). Investigadores del Instituto Roslin de Escocia anticipan la generación de animales transgénicos que constitutivamente expresarán vectores de RNAi como blancos específicos para la eliminación de virus y/o sus productos de transcripción.<sup>12</sup> También se han utilizado otras técnicas como los transposones para obtener insectos transgénicos y una muy ingeniosa que consiste en emplear el complejo esperma-anticuerpo-ADN lineal para ser usado en fertilización in vivo o in vitro dependiendo de la especie en que se aplique, resultando muy eficiente en la generación de cerdos, rumiantes y pollos transgénicos.<sup>13</sup>

Una nueva forma y muy prometedora de presentar al sistema inmune los antígenos de patógenos que producen enfermedades en humanos y animales, es a través de las vacunas de ADN desnudo, también llamadas vacunas de genes. En este caso se utilizan plásmidos para clonar los antígenos y enviarlos directamente a las células de los organismos

16. Morrison, W.I. 1999.  
17. Egerton, 2003 Egerton, J. R. 2003. Gene-based vaccine development for improving animal production in developing countries. FAO/IAEA International Symposium on Applications of Gene-Based Technologies for Improving Animal Production and Health in Developing Countries. Book of Extended Synopses. p. 39, 40.





**BOVINOS**  
ALIMENTÁNDOSE EN UNA  
ASOCIACIÓN DE LEUCAENA  
Y PASTO ESTRELLA

para que allí se expresen y se presenten al sistema inmune de la misma forma como se realiza en una infección natural. No requieren del uso de adyuvantes e inducen respuesta inmune humoral y celular la cual es muy específica y de larga duración. Algunas de estas vacunas se encuentran en avanzados ensayos clínicos.<sup>18</sup>

#### GENÉTICA REVERSA CON VIRUS ANIMALES

Por medio de genética reversa, los virus animales de ARN de cadena negativa permiten la generación de virus recombinantes totalmente elaborados por clones de ADN complementario, ADNc. A este grupo pertenecen diversos virus encapsulados que afectan tanto humanos como animales, los cuales varían ampliamente en su morfología, su estructura genética y sus interacciones con el hospedero. Muchos virus de importancia animal como rabia, rinderpest, estomatitis vesicular, distemper canino, parainfluenza bovina y Newcastle, entre otros, han sido manipulados genéticamente con el fin de estu-

diarlos y obtener vacunas mejoradas. La genética reversa permite adicionar o eliminar uno o varios aminoácidos atenuado o eliminando la patogenicidad viral. Adicionalmente, la habilidad de manipular virus animales tiene importantes aplicaciones en el diseño de "Vacunas Marcadoras" que pueden ser positivas o negativas; en el primer caso, se adiciona una secuencia que posteriormente expresa una proteína que puede ser identificada por técnicas serológicas y en el segundo se elimina una secuencia conservada. De esta forma se pueden diferenciar fácilmente animales vacunados de infectados, lo cual es de gran importancia en estudios epidemiológicos y en programas de erradicación de enfermedades.<sup>19</sup>

#### TECNOLOGÍAS BASADAS EN GENES APLICADAS AL ESTUDIO DE MICROORGANISMOS DEL RUMEN

Es indudable el papel que juegan los microorganismos gastrointestinales en las funciones fisiológicas e inmunológicas del hospedero animal. Durante la evolución la aso-

18. Srivastava, I. K., Liu, M.A. 2003. Gene Vaccines. *Ann. Intern. Med.* 138:550-559.  
19. Mebatsion, T. 2003. Reverse genetics with animal viruses. *FAO/IAEA International Symposium on Applications of Gene-Based Technologies for Improving Animal Production and Health in Developing Countries. Book of Extended Synopses.* p. 45, 46.

LA MODIFICACIÓN GENÉTICA EN ANIMALES PRESENTA AÚN MUCHAS INCERTIDUMBRES QUE DEBEN SER ACLARADAS





FOTO ELIZABETH MARTÍN MARTÍNEZ

BOVINOS RAZA  
HARTÓN DEL VALLE

ciación de los microbios con los tejidos del tracto gastrointestinal de los animales ha resultado en una relación balanceada, dinámica, compleja y muy variada. De hecho se ha considerado la población microbiana del tracto digestivo como el órgano metabólico más activo, rápido y renovable. El conocimiento actual de la diversidad microbiana se ha logrado a través de cultivos anaerobios, caracterización fenotípica y bioquímica. Lo anterior, limita el estudio de los ecosistemas microbianos, debido a que los ecólogos no pueden hacer una verdadera clasificación filogenética. Las técnicas moleculares superan estas limitaciones, porque permiten realizar comparaciones de las secuencias de sus ácidos nucleicos para caracterizarlos genotípicamente, predecir sus funciones y las relaciones evolutivas, debido a que se realiza un análisis de las comunidades de la población microbiana y no de cultivos aislados. Lo anterior ha dado lugar a la ecología molecular microbiana, también denominada ecogenómica microbiana.<sup>20</sup>

Existen diversas técnicas que han revolucionado el estudio de los microorganismos, pero indudablemente la reacción en cadena de la polimerasa PCR, por su rapidez y precisión en la detección de numerosos patógenos es la que mayor avance ha permitido. Muchos desarrollos adicionales, basados en los principios básicos de PCR han sido descritos: RT-PCR, NABDA, RAPID, AFLP, LCR, PCR ELISA, SDA, TMA, inmunocaptura PCR, PCR en tiempo real y la lista continua. Los microarreglos que permiten el uso de secuencias totales de ADNc para realizar un análisis de la expresión de genes, hacen posible establecer comparaciones de comunidades microbianas o de sus interacciones en diferentes ambientes, analizar microorganismos modificados genéticamente con sus contrapartes convencionales y determinar transferencia horizontal de genes, entre otros. En el futuro cercano, la nanotecnología promete contribuciones impactantes proveyendo marcadores más ver-

20. Mackie, R., Conn, I. 2003. Application of gene-based technologies directed at commensal gut bacteria to solve animal productivity constraints in developing countries. FAO/IAEA International Symposium on Applications of Gene-Based Technologies for Improving Animal Production and Health in Developing Countries. Book of Extended Synopses. p. 35-36.

SOLO CON ARGUMENTOS CIENTÍFICOS SINO INVOLUCRANDO ASPECTOS ÉTICOS Y DE IMPACTO SOCIOECONÓMICO.





sátiles como las nanopartículas magnéticas o de oro y los nanosensores y nanoarreglos, los cuales son mil veces más pequeños que los microarreglos y millones de veces más densos.<sup>21</sup>

Mejorar la degradación de la fibra de las plantas o pared celular, es una de las prioridades para los criadores de ganado, razón por la que se están secuenciando bacterias fibrolíticas ruminales. Se han completado las secuencias de *fibrobacter succinogenes* y de *ruminococcus albus*, en tanto que la de *Prevotella ruminicola* debe ser completada durante el 2004. El genoma de *F. succinogenes* ha revelado que existen muchos más genes que codifican para endogluconasas y celudextrinasas que aquellos que habían sido aislados y clonados en *E.coli*. En relación con las celulasas se ha descubierto que sólo un pequeño porcentaje, aproximadamente 25%, había sido previamente identificado.<sup>22</sup>

Los rumiantes son una de las mayores fuentes de metano en el mundo, gas que es producido durante la digestión y liberado al medio ambiente. El 23% de las emisiones globales que contribuyen a producir el efecto invernadero están constituidas por metano y de éstas 73% es producido por los rumiantes. Se ha determinado que más de la mitad de la población ganadera está en países en desarrollo (Asia, África, América latina y China), población que tiende a aumentar por la necesidad de productos lácteos y cárnicos. Se prevé que en el 2020 se va a duplicar la emisión de este

gas, adicionalmente la calidad de los forrajes de los países en desarrollo es muy baja y esto conlleva a una mayor cantidad de emisión de metano por unidad de leche y carne producida. La excreción de metano del rumen puede representar pérdidas entre 8 y 10% de la energía ingerida, dependiendo del tipo de dieta. Por lo tanto, el desafío es desarrollar estrategias que permitan reducir la liberación de metano y aumentar la eficiencia de la producción, inhibiendo metanógenos, vacunando contra metanógenos y aumentando la síntesis microbiana del rumen.<sup>23</sup> En Colombia el Laboratorio de Microbiología Molecular, del Programa de Fisiología y Nutrición Animal de Corpoica está incursionado en esta prometedora área, a través del proyecto mundial liderado por la Agencia Internacional de Energía Atómica.<sup>24</sup>

#### TRANSGENÉSIS Y GENÓMICA MOLECULAR PARA EL MEJORAMIENTO DE PASTOS Y LEGUMINOSAS

Se ha logrado un gran avance en el establecimiento de metodologías moleculares para la mejora de pastos y leguminosas, los vegetales más utilizados en la nutrición animal, entre las que figuran, la genómica de plantas, xenogenómica, simbiogenómica y microarreglos para fenotipificar molecularmente.

En transgénesis de pastos, se están llevando a cabo numerosas investigaciones para determinar rutas metabólicas biosintéticas complejas, con el fin de mejorar la calidad del forraje en relación con el contenido de lignina, resistencia a pestes y enfermedades, tolerancia a estrés abióticos y se está manipulando su crecimiento y desarrollo. El mejoramiento genético basado en transgénesis puede sobrepasar limitaciones en la calidad del forraje, tales como contenido de carbohidratos solubles en agua, contenido de proteína, metabolitos secundarios alcaloides, modificación del contenido de lignina para mejorar la digestibilidad de la materia seca, manipulación de la síntesis de taninos para desarrollar plantas libres y plantas con un contenido mayor de aminoácidos esenciales, entre otros.

Por medio de simbiogenómica se están realizando estudios de las interacciones planta-patógeno y de la simbiosis de legu-

21. Viljoen, M., Kara, P. 2003. Current and future developments in nucleic acid-based diagnostics. FAO/IAEA International Symposium on Applications of Gene-Based Technologies for Improving Animal Production and Health in Developing Countries. Book of Extended Synopses. p. 43, 44.  
22. Morrison y Nelson, 2003).  
23. McCrabb y Colaboradores, 2003  
24. IAEA. 2004. Proyecto D3.10.24: Development and use of rumen molecular techniques for predicting and enhancing productivity. Animal Production & Health FAO/IAEA Newsletter. No. 39. p. 16  
25. Spangenberg, 2003  
26. Instituto Colombiano Agropecuario. Resolución 2935 de octubre 23 de 2001. <http://www.ica.gov.co>  
27. Instituto Colombiano Agropecuario. Acuerdo de Consejo Directivo 0004 de abril 5 de 2002. <http://www.ica.gov.co>  
28. Barrera, J., Martínez, G., Ariza, F. 2004. Evaluación de la variabilidad genética en el ganado criollo colombiano mediante microsatélites y ADN mitocondrial. Revista FAO (en proceso de publicación).  
29. Mogollón, J. D., Rincón, M.A., Arbelaez, G., Ruiz, S. 2003. PRRS Virus in Colombia. En PRRS compendium. Second Edition. Veterinary Diagnostic Laboratory College of Veterinary Medicine Iowa State University Ames, Iowa p. 231-232.  
30. Mossos, N., Corredor J., Quiñones G., Alzate O., Villegas P., Cárdenas G. 2003.



minosas-bacterias fijadoras de nitrógeno, leguminosas-mycorritzas y de pastos-endófitas.

La xenogenómica que se relaciona con la investigación genómica de plantas de especies exóticas, incluye el descubrimiento de genes ESTs (expressed sequence tags), EST-microarreglos y genómica prospectiva. Con esta nueva disciplina se ha abordado el estudio de pastos exóticos en Australia que resisten suelos secos, salinos y de baja fertilidad.<sup>25</sup>

**NORMATIVIDAD COLOMBIANA RELACIONADA CON ORGANISMOS MODIFICADOS GENÉTICAMENTE DE INTERÉS PECUARIO**

El Instituto Colombiano Agropecuario como entidad estatal, responsable de la protección a la producción agropecuaria nacional, reglamentó, por medio de la Resolución 2935 de 2001, los procedimientos de bioseguridad para la introducción, producción, liberación, comercialización, investigación, desarrollo biológico, control de calidad, transporte y almacenamiento de organismos modificados genéticamente, sus derivados y productos que los contengan de interés en salud y producción pecuaria.

El propósito de la Resolución es prevenir, minimizar o evitar los posibles riesgos (efectos adversos o no deseados) que las actividades o la utilización de los OMG de interés en salud y producción pecuaria puedan tener sobre la salud humana, animal, el medio ambiente, la biodiversidad, la producción y la productividad agropecuaria. En general, la resolución dispone que todas las personas naturales o jurídicas que se dediquen a cualquiera de las actividades relacionadas con OMG de interés en salud y producción pecuaria, se deben registrar ante el ICA; establece el procedimiento pa-

ra realizar la evaluación de riesgos, la cual se lleva a cabo con base en la información que suministra el solicitante, utilizando la metodología caso a caso; garantiza el tratamiento confidencial a la información que lo requiera y establece las infracciones y sanciones en el caso de su no cumplimiento.<sup>26</sup>

El Instituto es asesorado por el Consejo Técnico Nacional de Bioseguridad Pecuaria, CTN Pecuaria, para la toma de decisiones relacionadas con la materia. Este órgano está conformado por trece miembros que representan los sectores público, privado y académico del ámbito pecuario nacional. A la fecha, se han realizado eva-

luaciones de bioseguridad de proyectos de investigación relacionados con vacunas de ADN, y la aprobación de torta de algodón con la tecnología Bollgard® para consumo animal.<sup>27</sup>

**AVANCES COLOMBIANOS EN LA MATERIA**

Además del proyecto mencionado anteriormente, en el país se están llevando a cabo estudios de diversidad genética y de resistencia a enfermedades en ganados criollos colombianos usando marcadores moleculares;<sup>28</sup> se está incursionando en la clonación de

razas criollas en peligro de extinción; en el campo de vacunas de ADN se están llevando a cabo investigaciones relacionadas con fiebre aftosa y con la garrapata *Boophilus microplus* y se están caracterizando a nivel molecular algunos patógenos animales con fines vacunales y para estudios epidemiológicos.<sup>29-30</sup> ♦

**MEJORAR LA DEGRADACIÓN DE LA FIBRA DE LAS PLANTAS O PARED CELULAR, ES UNA DE LAS PRIORIDADES PARA LOS CRIADORES DE GANADO.**

**GLOSARIO**

**TECNOLOGÍA DE ADN RECOMBINANTE:**

conjunto de técnicas que permiten la manipulación in vitro del ácido desoxiribonucleico, actualmente se pueden cortar fragmentos de ADN, clonarlos, amplificarlos e insertarlos en organismos diferentes de donde fueron tomados inicialmente.

**ADYUVANTE:** sustancia que administrada con un antígeno modifica o aumenta la respuesta inmunológica del hospedero.

**RNA INTERFERENTE (RNAi):** Fragmento Ácido Ribonucleico que bloquea a RNA mensajeros (RNAm), impidiendo que estos puedan llevar el mensaje codificado del ADN a los ribosomas donde se sintetizan las proteínas. Pueden bloquear la expresión de proteínas no deseables.

**Genes ESTs (Expressed Sequence Tags):** Son pequeñas fracciones de ADN (usualmente de 200 a 500 nucleótidos), que son obtenidas por secuenciación de un extremo o de ambos extremos de un gene expresado en un organismo y que son utilizadas como un "anzuelo" para pescar estos genes en otros organismos de interés.

**Xenotransplantes:** transplante de células, tejidos u órganos de animales a humanos.

Agradecimientos a: A la Dra. Melba Hoyos y al Dr. Fernando Rodríguez por la juiciosa lectura y comentarios al artículo.

Production and Health in Developing Countries. Book of Extended Synopses. p. 63-67.