

Fructanos de Agave: aditivos prebióticos con potencialidades de uso en la nutrición y salud animal

Autoría principal

Yanelys García Curbelo¹ y Mercedes Guadalupe López Pérez².

Otros autores

Ramón Bocourt¹, Nereyda Albelo¹, Odalis Núñez¹, Zoraya Rodríguez¹, Lourdes L. Savón¹, Yaneisy García¹, Bárbara Rodríguez¹, Alejandro Albelo¹, Lázara Ayala¹, Yuri Rodríguez¹, Manuel Castro¹, Verena Torres¹, Magali Herrera¹, Aida Noda¹, Judith Urías², María I. García², Patricia Santiago², Norma A. Mancilla², José Llanes³.

Colaboradores

DrC. Juana Luz Galindo⁴, DrC. Rafael Herrera García⁴, DrC. Yurangel Sardiñas López⁴, DrC. Roberto J. García López⁴, DrC. Luis E. Dihigo⁴, Técnico Félix Herrera⁴, Técnico Yasmila Hernández⁴, Técnico Herelia López⁴, Técnico Bárbara Yudith Álvarez⁴, Técnico Yanet Rodríguez⁴, Técnico Yusmeli Ramos⁴, Técnico. Félix Sierra⁴, Especialista, Mabel Almeida⁴, Ingeniera Arelis Vázquez⁴, DrC Raúl Cobo⁴, Directivos y personal de apoyo a la investigación⁴, Grupo de microbiología, departamento de Ciencias Biofisiológicas⁴, Directivos y trabajadores de la Empresa Henequenera Eladio Hernández León de Matanzas, Directivos y trabajadores de apoyo a la investigación del Centro de Investigaciones y Estudios de Avanzadas de México, Directivos y personal de apoyo a la investigación de la Empresa de Desarrollo de Tecnologías Acuícolas.

Entidad ejecutora principal

¹Departamento de Fisiología y Bioquímica, Instituto de Ciencia Animal (ICA), Cuba.

²Departamento de Biotecnología y Bioquímica, Centro de Investigaciones y Estudios de Avanzadas del IPN-Unidad Irapuato (CINVESTAV), México.

Entidades participantes

³Empresa de Desarrollo de Tecnologías Acuícolas, Cuba.

⁴Instituto de Ciencia Animal, Cuba.

Autores para correspondencia

Lic. Yanelys García Curbelo, DrC.

Dirección: Instituto de Ciencia Animal, Carretera Central km 47 ½, C.P 32700. San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba

e-mail: ygarcia@ica.co.cu

Lic. Mercedes Guadalupe López Pérez, DrC

Dirección: Biotecnología y Bioquímica. Centro de Investigación y Estudios de Avanzadas del IPN, Unidad Irapuato, A.P. 629, Irapuato, Guanajuato, 36821, México

e-mail: mlopez@ira.cinvestav.mx

Resumen

La necesidad de sustituir los antibióticos como aditivos promotores del crecimiento en la alimentación animal por los efectos indeseables que provocan en la salud, propició el desarrollo de aditivos seguros e inocuos como los prebióticos. En este sentido, se desarrolló una secuencia experimental con el objetivo de obtener fructanos a partir de diferentes especies del género *Agave*, su caracterización estructural y evaluación in vitro e in vivo como prebiótico. Como resultados se obtuvo que en las diferentes plantas del género *Agave*: *A. tequilana*, *A. angustifolia*, *A. potatorium* (México) y *A. fourcroydes* (Cuba) existe alta acumulación de fructanos en los tallos con valores superiores al 60% del peso total. Las estructuras químicas de estos compuestos se identificaron con el empleo de diferentes técnicas cromatográficas, están constituidos por una mezcla polidispersa de fructanos, con presencia de enlaces β (2-1), β (2-6), así como ramificaciones y unidades fructosil en la posición 6 de la glucosa, a partir de este análisis se proponen nuevas estructuras denominadas agavinas, las cuales se registraron. Además, la evaluación in vitro, demostró que constituyen un buen sustrato como fuente energética de bacterias beneficiosas como *Lactobacillus* spp y *Bifidobacterium* spp, con un incremento de su actividad fermentativa, lo que es importante para la eubiosis del ecosistema microbiano intestinal. La respuesta prebiótica quedó demostrada en la evaluación de los fructanos de *Agave* en diferentes especies de animales como: ratones, pollos de ceba, cerdos y tilapias, al tener efectos beneficiosos en la absorción mineral, disminución de los niveles de glucosa y colesterol en sangre, estimulación del sistema inmune y de la actividad fermentativa. También se comprobó que mejoró el estado de salud e incrementó algunos indicadores productivos. Los resultados constituyen un importante aporte al conocimiento en la obtención de aditivos prebióticos, marcan pautas en el establecimiento de la metodología de extracción, la caracterización estructural y evaluación de su actividad, lo que respalda su empleo en la alimentación animal en los sistemas productivos actuales. La información se divulgó en 14 publicaciones científicas periódicas, tres capítulos de libros, tres tesis de doctorado, 35 memorias de eventos científicos nacionales e internacionales, dos patentes y dos registros.

Comunicación Corta

La necesidad de sustituir los antibióticos como aditivos promotores del crecimiento en la alimentación animal por los efectos indeseables que provocan en la salud, propició el desarrollo de aditivos seguros e inoocuos como los prebióticos. Estos compuestos se definen como ingredientes alimenticios que son fermentados selectivamente por la biota beneficiosa intestinal y modifican su composición y actividad metabólica de manera que mejoran la salud del hospedero (Gibson *et al.* 2004).

Las plantas del género *Agave* sintetizan y almacenan fructanos en sus tallos, por lo que podrían constituir una nueva fuente de materia prima para la obtención de productos prebióticos, teniendo en cuenta que la literatura científica sugiere que las futuras investigaciones en este campo, deben estar encaminadas a buscar nuevos compuestos (González-Herrera *et al.* 2015). En México existen diferentes especies del género *Agave*, que no se han estudiado con este fin; en Cuba el *Agave* que más se cultiva es el *Agave fourcroydes*, con el objetivo de obtener fibra de sus hojas, quedando los tallos en el campo como desecho de la agroindustria que no son aprovechados. En este sentido, investigadores de diferentes instituciones aunaron sus esfuerzos para presentar la siguiente propuesta que exponen los resultados de varios proyectos de investigación pertenecientes al Programa Nacional de Biotecnología Agropecuaria del CITMA (Cuba), Proyectos del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología (México), así como de varias becas de formación profesional e intercambio académico.

El objetivo de la presente propuesta fue obtener fructanos a partir de diferentes especies del género *Agave*, su caracterización estructural y evaluación *in vitro* e *in vivo* como prebiótico. Para ello, el trabajo se dividió en tres estudios: I) Obtención de fructanos a partir de diferentes especies de *Agave* y caracterización química de sus estructuras; II) Evaluación de los fructanos de *Agave* spp en la capacidad de crecimiento y fermentación de *Lactobacillus* spp y *Bifidobacterium* spp en condiciones *in vitro*; III) Evaluación de la respuesta biológica tipo prebiótica de los fructanos de *Agave* spp. Los resultados de estos estudios formaron parte de tres tesis de doctorado y se divulgaron en 14 publicaciones periódicas, 7 no periódicas, un plegable, 35 participaciones en eventos de carácter nacional e internacional, tres capítulos de libros.

Se obtuvo dos patentes y dos registros. En estos materiales se evidenció la importancia de las investigaciones científicas que se desarrollaron, al identificar nuevas estructuras en los *Agaves* con actividad prebiótica que incrementan la actividad fermentativa de bacterias beneficiosas del tracto gastrointestinal y ejercer efectos positivos en la fisiología, salud y comportamiento productivo de los animales.

Principales Resultados

1. Obtención de fructanos a partir de diferentes especies de *Agave* y caracterización química de sus estructuras.

A partir de tallos de diferentes plantas del género *Agave*: *A. tequilana*, *A. angustifolia*, *A. potatorium* (procedentes de distintas regiones de México) y *A. fourcroydes* (procedente de Cuba), se realizaron cuatro experimentos donde se cuantificó el contenido de

carbohidratos presentes en los tallos de *Agave* mediante técnicas espectrofotométricas y para la caracterización estructural de los fructanos se emplearon técnicas cromatográficas. Los resultados mostraron que en las diferentes especies de *Agave* existe alta acumulación de fructanos en el tallo, con valores superiores al 60% (**Mancilla-Margalle 2006 y García-Curbelo et al. 2009**). Por lo que, constituyen una buena fuente de materias primas para obtener aditivos prebióticos y permitirá diversificar las producciones a partir de estos cultivos.

El análisis de las estructuras químicas de los fructanos de *Agave* evidenció su complejidad estructural (**López et al. 2003 y García-Curbelo et al. 2015a**). Están constituidos por una mezcla polidispersa de fructanos, con presencia de enlaces β (2-1), β (2-6), así como ramificaciones y unidades fructosil en la posición 6 de la glucosa, a partir de este análisis se proponen nuevas estructuras denominadas agavinas (**MX PA/a/2004/011739, García-Curbelo et al. 2015b**), estas características le confieren diferencias con respecto a las inulinas que son los productos que se comercializan actualmente en el mercado internacional. También, se evidenció la heterogeneidad estructural de los fructanos en las plantas en estudio, lo que está relacionado con las características de la especie, la variedad y las condiciones geográficas en que se desarrollan, siendo los *Agave* spp de México de alto grado de polimerización y el *A. fourcroydes* de Cuba de bajo grado de polimerización. Las características estructurales de los fructanos de *Agave* revisten gran importancia para su valoración como candidato prebiótico. A partir de estos resultados, se continuaron estudios *in vitro* con todos los fructanos de *Agave* spp.

2. Evaluación de los fructanos de *Agave* spp en la capacidad de crecimiento y fermentación de *Lactobacillus* spp y *Bifidobacterium* spp en condiciones *in vitro*.

Se realizaron dos experimentos *in vitro* con cepas de *Lactobacillus* spp y *Bifidobacterium* spp obtenidas del *American Type Culture Collections* (ATCC) para evaluar su crecimiento y capacidad de fermentación al utilizar los fructanos de *Agave* spp como fuente energética. Los resultados indican que en los medios con fructanos de *Agave* spp como fuente de carbono todas las cepas evaluadas crecieron, en la mayoría de los casos el crecimiento fue superior a la de prebióticos comerciales tipo inulina, por lo que constituye una buena fuente energética (**Urías-Silva y López 2009; Santiago-García y López 2009 y García-Curbelo et al. 2012**). También se logró mayor disminución de los valores de pH, como consecuencia de la producción de ácidos orgánicos por las bacterias estudiadas, lo que indica incremento de la actividad fermentativa. Las proporciones de ácidos generados dependieron del sustrato utilizado por las diferentes bacterias. A partir de estas consideraciones, se realizó la evaluación *in vivo* de su actividad prebiótica.

3. Evaluación de la respuesta biológica tipo prebiótica de los fructanos de *Agave* spp.

Para determinar la respuesta tipo prebiótica de los fructanos de *Agaves* spp, se realizaron siete experimentos en diferentes modelos animales: ratones, pollo de ceba,

cerdos y tilapia. Los experimentos con ratones se realizaron en bioterios de CINVESTAV-México y Charles River (Bélgica), con pollos de ceba y cerdos en crecimiento en las unidades experimentales del Instituto de Ciencia Animal (Cuba) y con tilapia en la Empresa de Desarrollo de Tecnologías Acuícolas (Cuba).

Para desarrollar las investigaciones en ratones (*Mus musculus*) se realizaron 4 experimentos y se emplearon las líneas C57Bl/6J y C57BL/6N sexadas, a los que se les administraron dieta estándar (5053 y A04) y se sustituyó el 10% del alimento por fructanos de *Agave* spp e inulinas comerciales.

Experimento 1. Efecto prebiótico con fructanos de *Agave tequilana* (Urías-Silva et al. 2008)

Con la inclusión de fructanos de *A. tequilana* en la dieta se disminuyó con respecto al grupo control: el peso vivo y el consumo de alimento. También, se encontró incremento en sangre del péptido tipo incretinas que intervienen en el metabolismo de la glucosa y lipídico (GLP-1) lo que se relacionó con la disminución de glucosa y colesterol en suero. Se establecen relaciones de la acción prebiótica con diferentes funciones del metabolismo de la glucosa y lipídico.

Experimento 2. Agavinas de *A. angustifolia* y *A. potatorum* (Santiago-García y López 2014)

En los grupos que consumían fructanos el comportamiento en el consumo y el peso del cuerpo fue similar al experimento anterior. En los indicadores estudiados del metabolismo lipídico hubo disminución de triglicéridos y aunque los niveles de colesterol se mantuvieron igual, si varió la composición de las lipoproteínas que lo transportan, se incrementó las HDL (colesterol-bueno) y disminuyó las LDL (colesterol-malo). Solo los fructanos de *A. potatorum* tuvieron acción en hormonas relacionadas con la saciedad en intestino y vena porta (aumento de GLP-1 y disminución de Grelina), esto se relacionó con el incremento de la concentración de ácido butírico producto de la fermentación colónica.

Experimento 3. Fructanos de *A. tequilana* en el metabolismo mineral (García-Vieyra et al. 2014)

Con la administración de fructanos de *A. tequilana* en la dieta con respecto al grupo control, se obtuvo incrementos en la concentración de calcio y no influyó en la concentración de magnesio en sangre. Sin embargo, los análisis en hueso (fémur y columna vertebral) mostraron incrementos en la concentración de ambos minerales, también aumentó la concentración de osteocalcina en suero que es un marcador de la formación del hueso. Los estudios con microscopía electrónica mostraron que en los tratamientos con fructanos se disminuye el desgaste en hueso y se mejora su estructura ósea.

Experimento 4. Acción prebiótica con fructanos de *Agave fourcroydes* en ratones (García-Curbelo et al. 2015c)

En los grupos que consumían fructanos de *A. fourcroydes* en la dieta con respecto al control, no se obtuvo diferencias en el consumo y el peso del cuerpo. Se observaron

incrementos de indicadores fermentativos en ciego, el peso relativo del intestino grueso, bazo y timo y una disminución de la concentración de glucosa en sangre. También se obtuvo efectos en la absorción mineral y el metabolismo lipídico al lograr incrementos en la concentración de calcio y magnesio en fémur y disminución de colesterol y triglicéridos en sangre.

Experimento 5. Fructanos de *Agave fourcroydes* en cerdos. en la etapa de crecimiento (García-Curbelo et al. 2015d y Ayala et al. 2015).

Se emplearon 120 animales de la raza YL x L35, distribuidos según diseño de bloques al azar en tres tratamientos y ocho réplicas cada uno. Los tratamientos fueron: control (dieta estándar maíz-soya) y adición de (0.25 y 0.5)% de fructanos de *Agave fourcroydes* a la dieta estándar. Como principales resultados se obtuvo con el empleo de fructanos, efecto en indicadores fisiológicos relacionados con el incremento del peso relativo del colon y órganos relacionados con la respuesta inmune (bazo y timo). También aumentó la actividad fermentativa en colon y disminuyeron los niveles de colesterol en suero. Se encontraron incrementos en el número de pulmones sanos en el tratamiento con 0.50% de adición de fructanos de *Agave fourcroydes* en la dieta.

Experimento 6. Fructanos de *Agave fourcroydes* en pollos de ceba. (García-Curbelo et al. 2015e y Hernández et al. 2015)

Se utilizaron 525 animales mixtos de reproductora EB34 distribuidos en un diseño completamente aleatorizado en tres tratamientos: control (dieta estándar maíz-soya), adición de (0.25 y 0.5)% de fructanos de *Agave fourcroydes* a la dieta estándar. Como principales resultados se obtuvo, con el empleo de fructanos, estimulación de la actividad fermentativa en ciego y el depósito de grasa abdominal. Solo con el tratamiento 0.50% se observó estimulación de la respuesta inmune con incremento del peso relativo de la bolsa de Fabricio, lo que estuvo relacionado con el aumento de los títulos de anticuerpos para la vacuna de Newcastle e incremento del peso vivo.

Experimento 7. Fructanos de *Agave fourcroydes* en tilapia (García-Curbelo et al. 2015f)

Se utilizaron 360 alevines de tilapia nilótica GIFF de 0.14 ± 0.01 g de peso medio, distribuidas en tres tratamientos: control (concentrado comercial) y la adición de (0.25 y 0.50)% de fructanos de *Agave fourcroydes* al concentrado. Se obtuvo en los grupos con fructanos incrementó de la supervivencia animal por encima del 90%, así como mayor ganancia de biomasa (g), con mejor conversión de alimento. Lo que permitió que los animales se incorporaran a su etapa de desarrollo-ceba con mejores indicadores productivos.

Los resultados presentados en este trabajo permitieron demostrar la actividad prebiótica de los fructanos de diferentes especies de *Agave*, al presentar características estructurales que permiten que no puedan ser hidrolizados, ni absorbidos en las partes altas del tracto gastrointestinal, pudiendo llegar al intestino grueso, sitio donde constituyen la fuente energética de microorganismos beneficiosos como lactobacilos y bifidobacterias, aspecto este que quedó demostrado en los estudios *in vitro*. Los estudios *in vivo* en ratones, cerdos, pollos de ceba y tilapia, confirmaron la respuesta biológica tipo prebiótica de los fructanos de *Agave* spp, lo que

respalda su empleo como aditivo en la alimentación animal. Además, abre un camino en futuras investigaciones para tratar enfermedades en humanos como la diabetes, osteoporosis, alteraciones del metabolismo lipídico e inmune.

Bibliografía

- Ayala, L., García-Curbelo, Y., Hernández, L., Rodríguez, Y., Castro, M., Herrera, M. 2015. Evaluación del fructanos de *A. fourcroydes* (FRUCTOICA) en precebas porcina. Informe parcial de proyecto del programa de Producción de Alimento Animal Empleo del FRUCTOICA en la producción animal.
- García-Curbelo, Y., López, G. M., Bocourt, R., Collado, E., Albelo, N. and Nunez, O. 2015a. Structural characterization of fructans from *Agave fourcroydes* (Lem.) with potential as prebiotic. *Cuban Journal of Agricultural Science* 49 (1): 75-80
- García-Curbelo, Y., Bocourt, R., López, M., Albelo, N., Nunez, O., Rodríguez, Z. y Savón, L. 2015b. Manual de procedimiento para la obtención de fructanos a partir del *Agave fourcroydes* y su evaluación como aditivo prebiótico para la alimentación animal. Registro Centro Nacional de Derecho de Autor. ISBN 978-959-7171-58-4.
- García-Curbelo, Y., López, G. M., Bocourt, R., García-Vieyra, I. and Savón, L. 2015c. Prebiotic effect of *Agave fourcroydes* fructans: An animal model. *Food and Functions*. DOI: 10.1039/C5FO00653H
- García-Curbelo, Y., Ayala, L., Bocourt, R., Albelo, N., Nunez, O. Castro, M., García, Y., Savón, L., Hernández, L. y Rodriguez, Y. 2015d. FRUCTOICA: nuevo aditivo prebiótico para la alimentación porcina. *Porcicultura tropical*. III Seminario Internacional. III Taller Internacional de cerdo criollo. ISBN 978 959 1208 24 2.
- García-Curbelo, Y., Hernández, B., Bocourt, R., Albelo, N., Nunez, Hernández, M. y Albelo, A. 2015e. Efecto prebiótico de los fructanos de *A. fourcroydes* en indicadores fisiológicos de pollos de ceba. Informe parcial de proyecto del programa de Producción de Alimento Animal Empleo del FRUCTOICA en la producción animal.
- García-Curbelo, Y., Llanes, J., Toledo, J., Albelo, N. y Bocourt, R. 2015f. Evaluación de fructanos de *Agave fourcroydes* (FRUCTOICA) en postlarvas de tilapias del Nilo GIFT (*Oreochromis niloticus*) . *AcuaCUBA* 17(1): 23-27
- García-Curbelo, Y., López, M., Bocourt, R., Rodríguez, Z., Urias-Silva, J. and Herrera, M. 2012. In vitro fermentation of the extract of *Agave fourcroydes* (henequen) by lactic acid bacteria. *Cuban Journal of Agricultural Science* 46 (3): 203-209
- García- Curbelo, Y., López, G. M. and Bocourt, R. 2009. Fructans in *Agave fourcroydes*, potentialities for its utilization in animal feeding. *Cuban Journal of Agricultural Science* 43 (2): 169.
- García-Vieyra M.I. and López M.G. 2014. *Agave* fructans: Their Effects on Mineral Absorption and Bone Mineral Content. *Journal of Medicinal Food* 17:1247-1255

- Gibson, G and Roberfroid, M. 2008. Handbook of prebiotic. Gibson, G and Roberfroid M. Eds. Bélgica
- Gibson, G., Probert, H., Van Loo, J., Rastall, R. and Roberfroid, M. 2004. Dietary modulation of the human colonic microbiota: Updating the concept of prebiotics. *Nutrition Research Reviews* 17(2): 259–275
- González-Herrera, S., Rodríguez, R., López, M., Rutiaga, O., Aguilar, C y Contreras, J. Inulin in food products: prebiotic and functional ingredient. *British Food Journal* 117(1): 371-387
- Hernández, B., García-Curbelo, Y., Albelo, A. y Hernández, M. 2015. Indicadores productivos con el empleo de fructanos de *Agave fourcroydes* (FRUCTOICA) en pollos de ceba. Informe parcial de proyecto del programa de Producción de Alimento Animal Empleo del FRUCTOICA en la producción animal.
- López, M.G. and Mancilla-Margalli, N.A. 2007. The nature of fructooligosaccharides in *Agave* plants. In: *Recent Advances in Fructooligosaccharides Research*. Editors: Shiomi, N., Benkeblia, N. and Onodera, S. 47-67
- López, M.G., Mancilla-Margalli, N.A. and Mendoza-Díaz, G. 2003. Molecular Structures of Fructans from *Agave tequilana* Weber var. azul. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 51:7523-7529
- Mancilla-Margalle, N. A. 2006. Caracterización molecular de fructanos en *Agave* y *Dasyliirion* spp identificación de fructosyl transferasas y su expresión en *Pichia pastoris*. Tesis de Doctorado en Ciencias de Biotecnología de Plantas. CINVESTAVF-IPN, Unidad Irapuato. México
- MX PA/a/2004/011739. Extracción de Agavinas y su Uso como Prebióticos.
- Santiago-García P.A. and López M.G. 2009. Prebiotic effect of *Agave* fructans and mixtures of different degrees of polymerization from *Agave angustifolia* Haw. *Dynamic Biochemistry, Process Biotechnology and Molecular Biology* 3(1): 52-58
- Santiago-García P.A and López M.G. 2014. *Agavins* from *Agave angustifolia* and *Agave potatorum* affect food intake, body weight gain and satiety-related hormones (GLP-1 and ghrelin) in mice. *Food and Function*. 5: 3311-3319
- Urías-Silvas J.E. and López M.G. 2009. *Agave* spp. and *Dasyliirion* sp. fructans as a potential novel source of prebiotics. *Dynamic Biochemistry, Process Biotechnology and Molecular Biology* 3(1): 59-64
- Urías-Silvas, J.E., Cani, P.D., Delmeé, E., Neyrinck, A.M., López, M.G. and Delzenne, N.M. 2008. Physiological effect of dietary fructans extracted from *Agave tequilana* Gto. and *Dasyliirion* spp. *Journal of British Nutrition* 99: 254-261

Novedades científicas que se derivan del trabajo

1. Se hallaron nuevas estructuras químicas denominadas agavinas que se identificaron a partir de fructanos contenidos en los tallos de distintas especies de Agave, con características diferentes a los productos que se comercializan actualmente en el mercado internacional.
2. Se evaluaron, por primera vez, los fructanos obtenidos de Agave spp en la capacidad de crecimiento y fermentación de *Lactobacillus* spp y *Bifidobacterium* spp en condiciones in vitro, constituyendo una buena fuente energética para bacterias beneficiosas del tracto gastrointestinal, con resultados superiores a los prebióticos comerciales tipo inulina.
3. Se reporta y dispone de fructanos de Agave spp con efecto prebiótico a través de mejoras en indicadores fermentativos, morfométricos, inmunológicos y metabólicos en ratones, cerdos en crecimiento, pollos de ceba y tilapia para su empleo como aditivo en la producción animal.

Aportes científicos e importancia del trabajo

1. Se cuenta con fructanos de *A. tequilana*, *A. angustifolia*, *A. potatorium* (procedentes de distintas regiones de México) y *A. fourcroydes* (Cuba), diferentes a los prebióticos comerciales.
2. Se dan a conocer elementos teóricos y prácticos de la obtención, caracterización estructural y evaluación biológica de los fructanos de Agave spp, aspectos que serían de interés incorporar en la formación de pregrado y postgrado, además, constituye un importante material de consulta para los especialistas del tema y sirve de referencia en futuras investigaciones desarrolladas en este campo.
3. Los fructanos de Agave spp se pueden utilizar como aditivo nutracéutico en la nutrición animal, lo que contribuirá a la reducción de la importación de medicamentos y aditivos.
4. Los resultados permiten diversificar las producciones de las plantaciones de Agave, logrando dar valor agregado a los cultivos; en el caso de *A. fourcroydes* el tallo constituye un desecho de la agroindustria, por lo que, permite disponer adecuadamente de un contaminante ambiental hacia objetivos económicos, al brindar la posibilidad de utilizarlo en la obtención de aditivos prebióticos.