



Uso potencial de dos forrajeras herbáceas (*Axonopus catarinensis* y *Smallanthus sonchifolius*) en los sistemas silvopastoriles del trópico alto colombiano¹

Potential use of two herbaceous forage (*Axonopus catarinensis* and *Smallanthus sonchifolius*) crops in the silvopastoral systems in the tropical highlands of Colombia

Jhon Jairo Lopera-Marín², Joaquín Angulo-Arizala³, Enrique Murgueitio Restrepo², Liliana Mahecha-Ledesma³

¹ Recepción: 10 de octubre, 2022. Aceptación: 23 de marzo, 2023. Este trabajo hace parte de la tesis doctoral del primer autor titulada “Evaluación productiva de sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) en lechería de trópico alto, con suplementación de recursos forrajeros criollos y fuentes lipídicas”. Financiada por el Grupo de Investigación de Ciencias Agrarias (Grupo GRICA) de la Universidad de Antioquia a través de los recursos de sostenibilidad, y el Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV) a través del apoyo recibido por Minciencias y del Patrimonio Autónomo Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas, mediante el plan de fortalecimiento Innovación para la Resiliencia y la Mitigación del Cambio Climático en los Agropaisajes Ganaderos de Colombia, código 3307100270685, contrato 006-2020. Además, de la Agencia de Educación Superior Postsecundaria de Medellín SAPIENCIA – Posgrados Nacionales.

² Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria. Cali, Colombia. jjlopera@fun.cipav.org.co (<https://orcid.org/0000-0002-8740-2867>); enrique@fun.cipav.org.co (<https://orcid.org/0000-0001-6956-4187>).

³ Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación en Ciencias Agrarias. Medellín, Colombia. joaquin.angulo@udea.edu.co (autor para correspondencia; <https://orcid.org/0000-0003-3352-8795>); liliana.mahecha@udea.edu.co (<https://orcid.org/0000-0003-3377-8399>).

Resumen

Introducción. La lechería especializada del trópico alto colombiano presenta elevados costos de producción, emisiones de metano y contaminación por nitrógeno en el suelo y agua, empleo de plaguicidas en las praderas y una producción de leche que aún no alcanza altos estándares de calidad. Lo anterior, requiere un cambio estructural en el modelo de producción con un enfoque de sustentabilidad. Además de otros aspectos, la ganadería sostenible requiere mayor complementariedad y diversidad de especies forrajeras, arbustivas y arbóreas adaptadas a las condiciones de trópico de altura. **Objetivo.** Recopilar información a través de acción participativa y de innovación rural por los productores y avances de investigación de las especies *Axonopus catarinensis* y *Smallanthus sonchifolius*, forrajeras herbáceas con posible potencial productivo y ambiental (en etapa preliminar), para su integración en sistemas silvopastoriles del trópico alto colombiano. **Desarrollo.** *A. catarinensis* y *S. sonchifolius* son especies que podrían ser utilizadas en la alimentación básica y suplementación energética, respectivamente, de vacas lecheras en el trópico alto colombiano. Aunque no existe información científica para estas condiciones, la referencia de algunos productores menciona que estas especies tal vez pueden mejorar la producción y la calidad de la leche con efectos en la economía familiar. Además, pueden contribuir a la generación de productos lácteos con atributos funcionales benéficos, que impacten en la salud humana. **Conclusión.** *A. catarinensis* y *S. sonchifolius* son especies que pueden tener un potencial forrajero y nutricional para incluirse en los sistemas silvopastoriles de producción lechera en el trópico alto colombiano.

Palabras clave: alimento, azúcares, cultivo, forrajes, inulina.



Abstract

Introduction. Specialized dairy farming in Colombia highlands entails high production costs, methane emissions, nitrogen pollution in soil and water, the use of pesticides in pastures, and milk production that has not yet reached high-quality standards. All of these factors necessitate a structural change in the production model with a sustainability focus. In addition to other aspects, sustainable livestock farming requires greater complementarity and diversity of forage, shrub, and tree species adapted to high-altitude tropical conditions. **Objective.** To gather information through participatory action and rural innovation by producers and research advancements on the species *Axonopus catarinensis* and *Smallanthus sonchifolius*, herbaceous forage species with potential production and environmental benefits (in preliminary stage), for their integration into silvopastoral systems in the Colombian highlands. **Development.** *A. catarinensis* and *S. sonchifolius* are species that could be used in basic diet and energy supplementation, respectively, of dairy cows in the Colombian highlands. While there is no scientific information available for these conditions, some producers' experiences suggest that these species may improve milk production and quality with positive effects on family economics. Additionally, they can contribute to the generation of dairy products with beneficial functional attributes that impact human health. **Conclusion.** *A. catarinensis* and *S. sonchifolius* are species that may have forage and nutritional potential to be included in silvopastoral dairy production systems in the Colombian highlands.

Keywords: food, sugars, crop, forages, inulin.

Introducción

En Colombia, el sistema de producción lechería especializada aporta el 45 % del total de la leche producida en el país (Federación Colombiana de Ganaderos, 2018). Sin embargo, los altos costos de producción y la composición química de la leche afectan la competitividad en el mercado nacional e internacional (Calderón et al., 2006; Promoción de Turismo, Inversión y Exportaciones de Colombia, 2011). Parte de esta problemática, se relaciona con el desbalance energético-proteico en la dieta de los animales basada en monocultivo de pastos fertilizados con nitrógeno (Lopera-Marín, Durana et al., 2020), donde hay poco empleo de especies forrajeras arbustivas en los potreros y se obliga al uso de alimentos balanceados comerciales (Lopera et al., 2015; Rueda et al., 2016). Lo anterior puede contribuir a una mayor producción de metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) con impactos negativos en el ambiente, el agua y otros recursos naturales (Cardona-Iglesias et al., 2017; Carmona et al., 2005).

Los sistemas silvopastoriles (SSP) en el trópico de altura colombiano, contribuyen a mejorar las condiciones agroecológicas de los suelos dedicados a la producción lechera (Escobar et al., 2020). Sin embargo, el mercado tiende a ser más exigente y demanda productos con valor agregado y menores riesgos para la salud, producidos con menor huella ambiental (Mahecha-Ledesma et al., 2017). Los SSP, en especial los intensivos (SSPi), son una alternativa para generar este tipo de productos. Permiten integrar árboles, arbustos forrajeros para ramoneo directo, mezclas de pastos tropicales y especies de interés nutricional para corte y acarreo (Murgueitio et al., 2013). También, pueden contribuir a sustituir y/o reducir el uso de alimentos balanceados, fertilizantes, plaguicidas y costos de producción, así como a conservar los recursos naturales (Mahecha-Ledesma et al., 2022).

Los SSPi son un uso del suelo que permite aumentar la cobertura vegetal y la biodiversidad, conservar el agua, la flora y la fauna. Estos servicios ecosistémicos pueden contribuir a aumentar la rentabilidad del negocio ganadero (Calle Díaz et al., 2009; Montagnini et al., 2015; Sarria Buenaventura et al., 2008). El potencial para el mejoramiento del balance energético-proteico (Galindo et al., 2017) y la disminución de gases efecto invernadero (Carmona et al., 2005), son atributos positivos adicionales. Al incluir botón de oro (*Tithonia diversifolia* Hemsl

A. Gray) en la dieta de vacas lecheras, se ha encontrado reducciones en las emisiones de gases de efecto de invernadero por unidad de producto, mayor consumo de nutrientes y de materia seca (MS) (Molina et al., 2016; Rivera-Herrera et al., 2017).

Las especies arbustivas más utilizadas y evaluadas en SSP en el trópico alto, son botón de oro (*T. diversifolia* Hemsl A. Gray) y el tilo o sauco blanco (*Sambucus peruviana* Kunth) (Calle Díaz et al., 2009), también evaluado y citado como *Sambucus nigra* (Sánchez Mata et al., 2009). En cuanto a gramíneas, el pasto que más predomina en las lecherías de trópico alto es el kikuyo (*Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov. Morrone), con algunas inclusiones de pasto ryegrass (*Lolium perenne* ssp. *multiflorum* Lam) (Jaimes Cruz & Correa Cardona, 2016).

Se han realizado evaluaciones de SSPi en el trópico alto con especies como el aliso (*Alnus acuminata* Kunth.), botón de oro (*T. diversifolia* (Hemsl.) Gray) y pasto kikuyo (*C. clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone), comparado con el monocultivo del mismo pasto. Los resultados evidenciaron una mayor producción MS y de leche ha/año, así como mejor calidad de esta última en el SSPi, con una proporción de kikuyo: botón de oro en la dieta de 95:5 en condiciones de pastoreo. También hubo reducción de costos al no usar fertilizantes en el SSPi, mientras que en el monocultivo de pasto la utilización de este fue 550 kg/ha/año N (Mejía-Díaz et al., 2017).

Estudios con mayor proporción de kikuyo: botón de oro (82,5:17,5) y con suplementación energética, lograron aumentar casi 3 L de leche vaca/día, lo que puede estar sustentado en una mejora del balance energético-proteico (Cardona-Iglesias et al., 2017). Otras investigaciones se han enfocado en mejorar el perfil lipídico de la leche, que se puede perfilar como un alimento funcional para los humanos (Mahecha et al., 2008; Prieto-Manrique et al., 2016). Hay más trabajos publicados sobre esta temática en el trópico bajo (≤ 1500 m s. n. m.) con sistemas de producción de doble propósito o lechería tropical (Barragán Hernández et al., 2016). Por lo que, es importante investigar cuál sería su comportamiento en el trópico de altura.

Aún con todas las ventajas que ofertan los sistemas silvopastoriles (SSP), existe la necesidad de investigar más sobre especies vegetales que aporten más energía en la dieta. Esto contribuiría a mejorar el balance energía-proteína y reducir costos en el uso de materias primas o alimentos balanceados comerciales. Un ejemplo de esto, son los avances obtenidos en la especie *T. diversifolia*, donde se han encontrado contenidos de carbohidratos no estructurales (CNE) con valores de 9,65 – 18,41 %, cantidades mayores al 9 % encontrado en el pasto kikuyo (Mejía-Díaz et al., 2017; Puerto Morales, 2012). Esto puede favorecer un mayor aprovechamiento de la proteína degradable en rumen (PDR) (Correa et al., 2012). Todo lo anterior, justifica la importancia de investigar especies forrajeras herbáceas como *Axonopus catarinensis* y *Smallanthus sonchifolius*, que complementen desde el punto de vista ambiental, económico, de bienestar animal y productivo los SSP en clima frío. Sin embargo, se debe aclarar que no existe información científica reportada sobre la utilización de estas dos especies para las condiciones de trópico alto en Colombia, pero se toma como referencia la información de trabajos de investigación en otras zonas del mundo que se asemejan a este.

Esta revisión bibliográfica es parte de un proceso de estudio doctoral, que incluye el estudio de las dos especies en mención, a partir del conocimiento generado por productores a través de la acción participativa y la innovación rural (Gutiérrez, 2010). Esta representa una estrategia metodológica que permite la interacción entre iniciativas técnicas que permiten el crecimiento personal y empresarial dentro de las comunidades, para generar soluciones prácticas a los problemas reales que se presentan (Perry, 2003). En síntesis, permite la interacción participativa entre productores y profesionales para trabajar en conjunto de forma sencilla y práctica, en estrategias que permitan el desarrollo local (Perry, 2003).

El objetivo de este trabajo fue recopilar información a través de acción participativa y de innovación rural por los productores y avances de investigación de las especies *A. catarinensis* y *S. sonchifolius*, forrajeras herbáceas con posible potencial productivo y ambiental (en etapa preliminar), para su integración en sistemas silvopastoriles del trópico alto colombiano.

Pasto jesuita gigante *Axonopus catarinensis* Valls

Generalidades

El pasto jesuita gigante es del género *Axonopus*, cuenta con 71 especies y es nativo de las regiones tropicales y subtropicales de América, sus especies crecen por debajo de los 1000 m s. n. m., pero algunas de ellas pueden alcanzar los 3000 m s. n. m. (Giraldo-Cañas, 2014), que abarcaría el trópico alto colombiano, la zona de interés de esta revisión. El jesuita gigante fue descubierto en 1986 en Brasil por técnicos del Centro de Información de Recursos Ambientales y de Hidrometeorología de Santa Catarina (EPAGRI – CIRAM). Se originó del cruzamiento natural en predios campesinos entre el pasto misionero (*Axonopus jesuiticus* (Araujo) Valls) y el pasto imperial (*Axonopus scoparius* (Fluegge) Kuhlmann) (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA], 2009).

En 1996, la Estación Experimental Agropecuaria Cerro Azul del INTA, lo introdujo en el norte de Argentina en la Provincia de Misiones, donde se han realizado ensayos agronómicos y evaluación productiva bajo plantaciones forestales (INTA, 2009). Lo anterior, ha permitido asociar la forestación con el sector de la ganadería bovina a través de un arreglo silvopastoril propio para la región, donde se produce madera, carne y leche de calidad, además, se aprovechan las diversas características de esta gramínea (Figura 1) (INTA, 2009), que la perfilan como una especie de interés para incorporar en SSP en el trópico alto. En el noreste de Argentina, se ha encontrado respuesta positiva al incluirla en los arreglos silvopastoriles donde se integra la producción de madera. Una de ellas, es el incremento de producción de biomasa bajo el dosel de los árboles (Fassola et al., 2005). También se destaca por tener alta calidad, buen crecimiento y buena palatabilidad, características que lo convierten en una de las mejores opciones a considerar en el diseño e implementación de sistemas silvopastoriles (Pantiu et al., 2010).

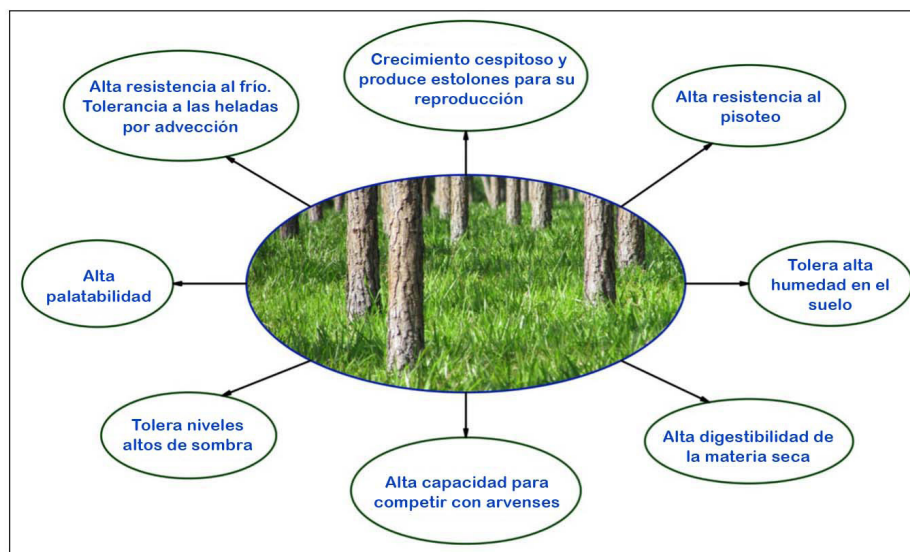


Figura 1. Principales características del pasto jesuita gigante (*A. catarinensis*). Elaborado por los autores a partir de la fuente: INTA, 2009.

Figure 1. Key features of Giant Jesuit Grass (*A. catarinensis*). Prepared by the authors based on the source: INTA, 2009.

Rendimiento y calidad composicional

Bajo condiciones de sombra o debajo del dosel de árboles, en suelos rojos y arenosos, el jesuita gigante tiende a ser dominante y más palatable que otras especies forrajeras (Fassola et al., 2009). Así lo demuestra un estudio realizado en Brasil al comparar este pasto con once especies forrajeras de los géneros *Urochloa*, *Megathyrsus*, *Paspalum*, *Cynodon*, *Arachis*, en sistemas silvopastoriles con *Pinus taeda*, donde se encontró que fue más productiva en los diferentes cortes, en condiciones de mayor restricción luminosa, donde la radiación fotosintética fue de 6,34, 2,10, y 1,08 MJ/m²/día, con producciones de MS de 24,8, 19,1, y 10,1 t/ha, respectivamente (Brugnara Soares et al., 2009).

Al utilizar sombra artificial (50 %) y sin fertilización, la producción de MS de *A. catarinensis* fue de 7520 kg/ha/año, mientras que en el tratamiento sin sombra fue de 1088 kg/ha/año (Lacorte et al., 2004). Otras evaluaciones sobre el comportamiento agronómico de este pasto, han demostrado que en sistemas silvopastoriles con pino (*Pinus elliotti* x *P. caribea*), las producciones de MS se encuentran entre 6000 y 9000 kg/ha/año (Pantiu et al., 2010; Rossner et al., 2009). En los mismos estudios, se encontró que la fracción de hoja se incrementó al tener mayor porcentaje de sombra (100, 70, 50 y 30 %, respectivamente), mientras que la proporción de tallos y raíces disminuyeron.

El dosel arbóreo contribuye a reducir el efecto de las heladas sobre la producción de la gramínea, lo cual, también reduce el uso de suplementos alimenticios en esta época del año (Feldhake et al., 2002). En condiciones de plantaciones forestales, con la introducción de la gramínea, se puede aprovechar mejor este recurso forrajero en la producción de carne con mayor carga animal por ha, comparado con sistemas de monocultivo y sin árboles (Lacorte et al., 2003; Lacorte et al., 2009). También se ha determinado que alcanza los máximos de producción de biomasa con niveles de sombra entre el 30 % y 50 % (Pachas et al., 2004; Pantiu et al., 2010).

En evaluaciones de *A. catarinensis*, donde se compararon niveles de sombra del 0, 25, 50 y 75%, en monocultivo y con mezcla de *Arachis pintoi* cv. Belmonte, hubo cambios estructurales en la planta con sombra intensa (75 %) (Krahl et al., 2021). Estos cambios se evidenciaron en mayor área de hojas por macollo ($p=0,003$) y área foliar ($p=0,002$). Es importante destacar que al intercalarse con *A. pintoi*, no se registró ningún efecto significativo sobre las variables evaluadas. En un ciclo de 240 días de cultivo el potencial productivo fue de 28 t MS/ha/año, con proteína bruta (PB) del 15 % y total de nutrimentos digestibles (TND) del 65 % (Schmidt et al., 2021). Además, se reportaron valores de ácidos grasos (AG) insaturados como linolénico (C18:3n3) y linoleico (C18:2n6) de 19,52 y 14,72 g/100 g total AG, respectivamente (Carneiro et al., 2021).

En sistemas sin sombra, en el noroeste del estado de Rio Grande do Sul, Brasil, esta gramínea presentó un potencial productivo que se extendió hasta el mes de mayo, en otoño, lo cual es una importante característica por llenar el vacío forrajero que durante esta época se presenta en la ganadería. La producción total de MS fue de 13 084 kg/ha/año, entre hojas y tallos (7554 y 4440 kg/ha/año, respectivamente), con una producción media por corte de 2541 kg/ha/año. Los niveles medios de MS y PB fueron de 22,81 % y 8,7 %, respectivamente, y los contenidos de fibra en detergente neutro (FDN) y fibra en detergente ácido (FDA) del 67,19 y 34,39 %, respectivamente, lo que demuestra que es una especie con potencial productivo en esta región (Lorenzoni, 2016).

La información de la calidad composicional en condiciones de trópico alto en Colombia (Rionegro, Antioquia), al norte de Argentina (provincia de Misiones) y al Nordeste de Brasil (Rio Grande do Sul), se presenta en el Cuadro 1. La MS en general, presenta valores superiores si se compara con los aportes del pasto kikuyo (*C. clandestinus*) con valores entre 12 % y 14 %, que es la principal especie empleada en lecherías especializadas en trópico alto de Colombia (Correa et al., 2008). Esto puede favorecer incrementos en el consumo de MS y mejorar el balance energético proteico en vacas lecheras de alta producción.

El contenido medio de la proteína cuando existen niveles de intercepción de luz entre el 50 % y 70 %, es mayor (Rivera Herrera et al., 2015). La FDN no presenta alta variabilidad en el Noreste de Brasil, al estar sin sombra

Cuadro 1. Calidad composicional del pasto jesuita gigante (*Axonopus catarinensis*) en diferentes condiciones agroclimáticas.

Table 1. Compositional quality of the giant jesuit grass (*Axonopus catarinensis*) under various agroclimatic conditions.

Nivel sombra	MS	Proteína	FDN	FDA	Lignina	Fuente
		%				
71	-	12,6	58,6	37,5	3,9	¹ Pachas et al. (2014)
53	-	10,8	60,7	37,2	3,4	
38	-	9,4	60,9	38,2	3,8	
0	-	9,1	59,9	37,5	4	
50 - 70	18,58	12,7	67,8	34,3	-	² Rivera Herrera et al. (2015)
0	22,81	8,71	67,19	34,39	-	³ Lorenzoni (2016)

¹Norte de Argentina; ²Trópico alto de Colombia; ³Nordeste de Brasil (Rio Grande do Sul). / ¹Northern Argentina; ²Tropical highlands of Colombia; ³Northeast Brazil (Rio Grande do Sul).

MS: materia seca; FDN: fibra en detergente neutro; FDA: fibra en detergente ácido. / DM: dry matter; NDF: neutral detergent fiber; ADF: fiber in acid detergent.

(Lorenzoni, 2016), tampoco con el 50 % y 71 % de intercepción de luz en el Norte de Argentina (Pachas et al., 2014) y región Andina de Colombia (Rivera Herrera et al., 2015), con niveles similares a los reportados para pasto kikuyo por Correa et al. (2008) en condiciones de monocultivo. La composición mineral del pasto jesuita gigante para el norte de Argentina y el trópico alto de Colombia se presenta en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Composición mineral del pasto jesuita gigante (*A. catarinensis*) en diferentes condiciones agroclimáticas.

Table 2. Mineral composition of the giant jesuit grass (*A. catarinensis*) under various agroclimatic conditions.

Nivel de sombra	P	K	Mg	Mn	Cu	Fe	Zn	Fuente
	%					mg/g		
71	0,1	2,4	0,2	475	6	278	40	
53	0,2	2,3	0,2	396	6	344	40	¹ Pachas et al. (2014)
38	0,1	1,8	0,2	394	7	290	45	
0	0,2	1,5	0,2	310	8	615	43	
50 - 70	0,2	1,6	0,3	0,1	-	0,1	0	² Rivera Herrera et al. (2015)

¹Norte de Argentina; ²Trópico alto de Colombia. Elaboración propia. / ¹Northern Argentina; ²Tropical highlands of Colombia. Self-produced.

Producción animal

Los resultados obtenidos por varios autores sobre capacidad de carga y ganancias de peso con consumo de pasto jesuita en el norte de Argentina, se muestran en el Cuadro 3, con una carga animal por unidad de superficie alta, que al calcular con la ganancia diaria de peso vivo (GDPV), se pueden obtener rendimientos en producción de carne desde 0,9 hasta 1,3 kg/ha/día, los cuales superan los promedios de regiones ganaderas de Colombia y América Latina (Chará et al., 2019), y aumentan la eficiencia productiva en hatos ganaderos.

Cuadro 3. Información productiva de bovinos en sistemas silvopastoriles (SSP) con árboles de pino para la producción de madera y pasto jesuita gigante (*A. catarinensis*).

Table 3. Productive information of cattle in silvopastoral systems (SPS) with pine trees for wood production and giant jesuit grass (*A. catarinensis*).

Fuente	Raza	Categoría	Carga	Peso inicial	Peso final	GDPV	Producción
			Animales/ha	kg	kg	g	kg ha ⁻¹
Pantiu et al. (2010)	Braford, Herford	Vaquillonas	2,87	125,5	280	391	399,40
	Braford, Herford	Novillos	2,22	202,50	349	598	326
	Braford	Novillos	2,14	185	350	452	353,60
Colcombet et al. (2015)	Braford, Herford	Novillos (BC)	-	350	475	198	-
	Braford, Herford	Novillos (BC)	-	225	398	275	-
	Braford, Herford	Novillos (AC)	-	309	457	235	-
	Braford, Herford	Vaquillonas (BC)	-	191	271	255	-
	Braford, Herford	Vaquillonas (BC)	-	186	287	320	-
	Braford, Herford	Vaquillonas (AC)	-	197	283	273	-
Schapiro y Pantiu (2018)	-	-	2,5 – 3,5	-	-	-	-
Pavetti et al. (2018)	Cruces cebú	Terneros	-	189	270	606	194

BC: baja carga animal; AC: alta carga animal; GDPV: ganancia diaria de peso vivo. / LL: low stocking rate; HL: high stocking rate; DLWG: daily live weight gain.

Yacón (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. y Endl.) H. Robinson)

El yacón es una planta herbácea perenne que pertenece a la familia Asteraceae, mide entre 1,5 y 3 m de altura, produce tubérculos comestibles ricos en fructooligosacáridos (FOS) y biomasa aérea con una calidad composicional de interés para sistemas de producción ganadera (Lopera-Marín, Angulo-Arizala et al., 2020). Originaria de la cordillera de los Andes, donde fue domesticada desde tiempos ancestrales por diferentes culturas precolombinas para el autoconsumo, en Latinoamérica es cultivada en pequeñas extensiones, desde el sur de Colombia hasta el norte de Argentina (Seminario et al., 2003).

El consumo de yacón es muy recomendado en pacientes diabéticos por los FOS y otras propiedades hipoglicemiantes presentes en tubérculos y tallos. Los compuestos que presenta, en especial la inulina, son un tipo de azúcares de reserva que no elevan el nivel de glucosa en la sangre (Sáenz, 2019). Se usan en la elaboración de alimentos funcionales, con efectos favorables sobre la salud humana (Figura 2) (Sáenz Torres et al., 2016).

La producción de yacón se destina en un 83,47 % al procesamiento industrial para la producción de bebidas, néctares, jarabes, dulces, mieles, mermeladas, hojuelas, galletas, encurtidos, cápsulas, extracción de inulina y hasta algunos licores. Donde, el 4,30 % es utilizado como autoconsumo por familias campesinas y el 2,53 % se destina a la alimentación de animales domésticos (Sáenz Torres et al., 2016). Se ha utilizado, además, como planta medicinal en humanos y constituyente importante de la dieta de poblaciones indígenas en los Andes. Sin embargo, en los últimos años ha presentado importancia en los sistemas de producción ganadera, como una fuente de suplementación estratégica (Simonovska et al., 2003) y con potencial de uso en diferentes arreglos silvopastoriles (Lopera-Marín, Angulo-Arizala et al., 2020).

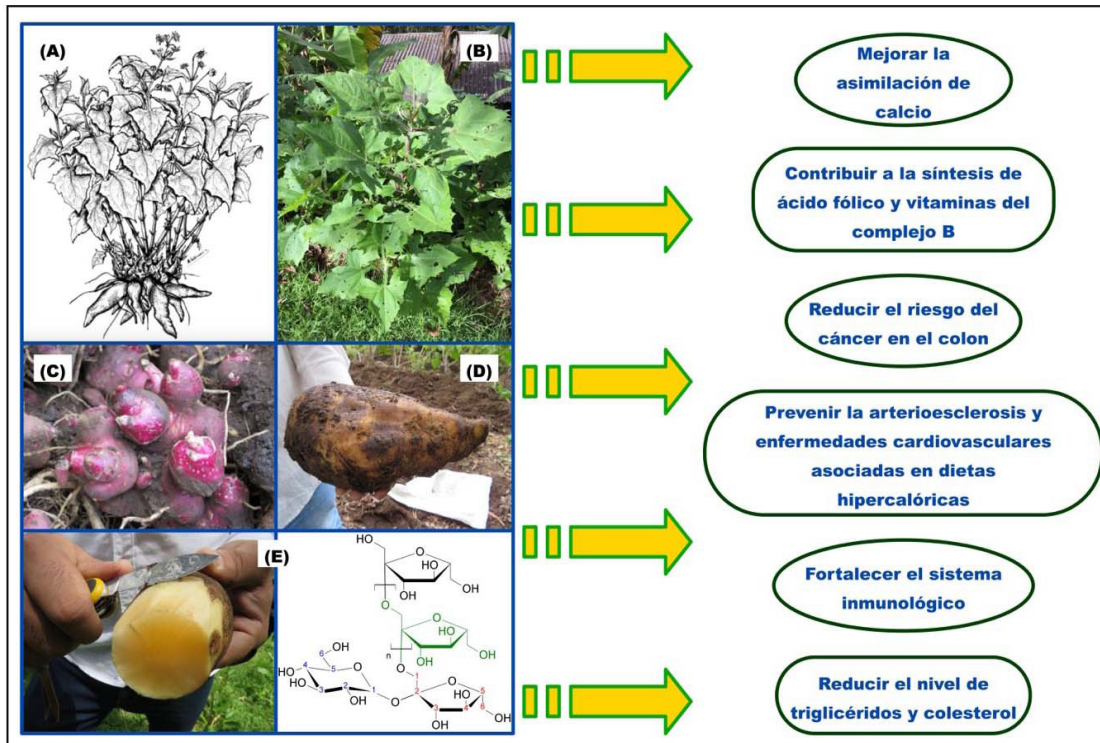


Figura 2. Efectos positivos del yacón (*S. sonchifolius*) sobre la salud humana (elaborado por los autores a partir de la Fuente: Sáenz Torres et al., 2016). (A) dibujo taxonómico de la planta entera (Seminario et al., 2003); (B) biomasa aérea; (C) semilla agámica o propágulos; (D) tubérculo; (E) fórmula estructural de los fructooligosacáridos (FOS) presentes en tubérculos.

Figure 2. Positive effects of yacón (*S. sonchifolius*) on human health (prepared by the authors based on the source: Sáenz Torres et al., 2016). (A) Taxonomic drawing of the whole plant (Seminario et al., 2003); (B) above ground biomass; (C) asexual seed or propágulos; (D) tuber; (E) Structural formula of fructooligosaccharides (FOS) present in tubers.

Rendimientos de cultivo y calidad composicional

Se han reportado producciones de raíces y tubérculos en Perú, Ecuador y Brasil de 28, 95 y 74 t/ha, respectivamente, con una densidad de siembra de 10 000 plantas/ha (Grau & Rea, 1997). En Colombia, se han reportado producciones de tubérculos de 32 t/ha y de biomasa forrajera de 48,5 t/ha sin fertilización, durante un ciclo de producción (Hernández, 2004). Otro estudio registró, sin fertilización, producciones para biomasa aérea (tallos y hojas, semilla agámica/rizóforos/propágulos y tubérculos) de 99,6, 119 y 147 t/ha/año (Lopera-Marín, Angulo-Arizala et al., 2020). En Brasil, en condiciones de montaña (837 m s. n. m.), y tierras bajas (113 m s. n. m.), en diferentes épocas climáticas, se reportaron producciones de tubérculos ($p \leq 0,05$) de 77,47 y 31,55 t/ha, respectivamente (Natal da Silva et al., 2019). En cuanto a los propágulos, la producción ($p \leq 0,05$) fue de 8,28 y 18,06 t/ha, respectivamente. Al comparar diferentes distancias de siembra, la mayor producción de raíces tuberosas ($p \leq 0,05$) fue de 31,5 t/ha, con una distancia de 0,4 m entre plantas y 1,0 m entre surcos (líneas o hileras) (Carvalho et al., 2021). Al comparar diferentes profundidades de siembra (5, 10, 15 y 20 cm) en condiciones de tierras bajas en Brasil (128 m s. n. m.) y su efecto sobre la producción de tubérculos ($p \leq 0,05$), la mayor producción fue a 10 cm de profundidad (50,21 t/ha) (Lima Quaresma et al., 2020; Lima Quaresma et al., 2021).

Al comparar la producción de tubérculos con la siembra de propágulos con diferente número de yemas germinativas, se encontró que la mayor producción ($p \leq 0,05$) se dio con rizóforos que contenían entre tres y cuatro yemas (Ferreira Pedrosa et al., 2020). En general, la producción total presenta variaciones de acuerdo con la zona de vida, tipos de siembra y prácticas de manejo del cultivo. Por tanto, este recurso local adaptado a las condiciones biofísicas del trópico de altura, adquiere relevancia para ser integrado en sistemas de producción sostenible con énfasis en SSP, como una fuente de suplementación estratégica.

La composición química puede variar según las condiciones agroclimáticas del sitio y el uso o no de fertilizantes químicos u orgánicos. Valores de las diferentes fracciones de la planta se muestran en el Cuadro 4. El

Cuadro 4. Composición química de diferentes partes del yacón (*S. sonchifolius*).

Table 4. Chemical composition of different parts of yacon (*S. sonchifolius*).

Composición química	Parte de la planta			Fuente
	Raíz (tubérculo)	Tallo	Hojas	
Materia seca (%)	18,50 - 19,50 - 13,90 - 15,60 - 12,20 - 8,09	9,50		Burgos et al. (2007); Lopera-Marín, Angulo-Arizala et al. (2020); López Torres (2007); Ramos Zapana (2007); Valentová y Ulrichová (2003)
Proteína (%)	1,20 - 2,31 - 2,83 - 5,33	9,73	21,5	Lopera-Marín, Angulo-Arizala et al. (2020); López Torres (2007); Ramos Zapana (2007); Valentová y Ulrichová (2003)
Proteína (g kg ⁻¹)	9,5	-	-	Xiaoli et al. (2008)
Fibra cruda (%)	1 - 16,90 - 4,20	23,82	11,63	López Torres (2007); Ramos Zapana (2007); Valentová y Ulrichová (2003)
Fibra cruda (g kg ⁻¹)	6,6	-	-	López Torres (2007)
Fibra en detergente neutro (FDN) (%)	8	52,16		Lopera-Marín, Angulo-Arizala et al. (2020)
Fibra en detergente ácido (FDA) (%)	5,74	42,17		Lopera-Marín, Angulo-Arizala et al. (2020)
Carbohidratos solubles totales (%)	71,70 - 90,10	-	-	López Torres (2007); Ramos Zapana (2007)
Azúcares totales (%)	12,50 - 13,10	-	-	Burgos et al. (2007); Valentová y Ulrichová (2003)
Azúcares totales (g kg ⁻¹)	132	-	-	Burgos et al. (2007)
Grasa (%)	0,20 - 0,97 - 0,30 - 0,73	1,98	4,20	Lopera-Marín, Angulo-Arizala et al. (2020); López Torres (2007); Ramos Zapana (2007); Valentová y Ulrichová (2003)
Almidón (%)	2,8	-	-	López Torres (2007)
Cenizas (%)	1,15 - 4,75 - 2,84 - 0,70	9,60	12,52	López Torres (2007); Ramos Zapana (2007); Valentová y Ulrichová (2003);
Energía bruta (kcal kg ⁻¹)	3609	3698		Lopera-Marín, Angulo-Arizala et al. (2020)
Calcio (mg/100 g)	23	967	1805	
Fósforo (mg/100 g)	21	415	543	
Hierro (mg/100 g)	0,30	7,30	10,82	
Cobre (mg/100 g)	0,96	<0,5	<0,5	
Manganeso (mg/100 g)	0,54	<0,5	3,10	
Zinc (mg/100 g)	0,70	2,93	6,20	
Retinol (mg/100 g)	10	-	-	Valentová y Ulrichová (2003)
Tiamina (mg/100 g)	0,01	-	-	
Ácido ascórbico (mg/100 g)	13,10	-	-	
Carotenos (mg/100 g)	0,02	-	-	
Rivoflavina (mg/100 g)	0,11	-	-	
Niacina (mg/100 g)	0,34	-	-	

tallos y hojas del yacón, presentan contenidos medios y altos de proteína, respectivamente, y el aporte mineral, en general, es mayor en tubérculos. Estos también son ricos en proteína, vitaminas y carbohidratos totales (donde están presentes los FOS entre 50 % y 70 %), pero con baja MS.

Producción animal e impactos sobre la salud

Al utilizar ensilaje elaborado con la planta entera de yacón (raíces, tallos y hojas), se encontró un buen proceso de fermentación, y al suplementar cerdos se logró una digestibilidad de la MS del 66,7 % (Koike et al., 2009). Lo anterior puede estar explicado por las propiedades antioxidantes naturales del tubérculo y su efecto protector al prevenir daño oxidativo por la captura de radicales libres en el proceso. Al suplementar ovejas con silo de yacón (inclusión en la dieta del 60 %), se encontró reducción de la glucosa en suero y colesterol como efecto positivo en la salud de los animales (Koike et al., 2010). Estudios en los que se suplementó yacón en un 20 % de la dieta en ovejas y cerdos, mostraron también una alta actividad antioxidante y aceptación de este producto (Koike et al., 2013).

Cuando se suplementaron vacas lecheras con tallos y hojas de estevia (*Stevia rebaudiana*), yacón y pulpa de manzana, se registró un efecto positivo en la función metabólica y parámetros de calidad de la leche. También se encontró regulación del sistema enzimático, lo cual contribuye a la absorción de grasas y proteínas, estimula el sistema endocrino y el tracto digestivo, con un crecimiento en el contenido de protozoos y bacterias, mayor actividad microbiana y cantidad de ácidos grasos volátiles (AGV). La leche tuvo un aumento en el contenido de proteína, lactosa y caseína, además de un sabor agradable (Yurusova, 2014).

Los fructooligosacáridos (FOS) son considerados como prebióticos, al estimular en forma selectiva el crecimiento de bacterias en el colon (Sánchez Chiprés et al., 2018). Con esto, el yacón ha sido categorizado como un alimento funcional e ingrediente de suplementos dietéticos. Además, al usar extractos de yacón como fuente natural de prebióticos, se observó una acción simbiótica de este, al estimular el crecimiento de *Lactobacillus plantarum* con inhibición y reducción del crecimiento de poblaciones de *Escherichia coli* enteropatógenas (Vegas et al., 2013). Al incluir FOS comerciales (5 %) y extraídos del yacón (3 y 5 %) en la dieta de ratones, estos últimos evidenciaron presencia de células fagocíticas y un efecto antiinflamatorio, y mejoraron la salud de la mucosa intestinal (Choque Delgado, 2012). Otros estudios con ratas, han demostrado que los FOS del tubérculo de yacón, además de mejorar el desarrollo de la mucosa intestinal, también mejoran la absorción de minerales, en especial el calcio (Lobo et al., 2007). La mayoría de los estudios sobre el efecto de FOS en el tracto digestivo, han sido realizados con animales monogástricos. En rumiantes, los FOS pueden estimular la proliferación de bacterias como bifidobacteria y lactobacilli, que usan azúcares ruminales como sustrato de vital importancia en la producción de ácidos grasos volátiles. Además, los FOS se relacionan con el incremento en la proliferación de bacterias degradadoras de fibra (Li et al., 2011).

La adición de los FOS en la dieta en rumiantes, puede contribuir a mejorar la calidad composicional de la leche y cambiar el proceso fermentación ruminal en vacas lecheras. Estudios en China con vacas en producción (30 L/vaca/día), al incluir 60 g/vaca/día de FOS, han evidenciado efectos significativos ($p \leq 0,01$) al incrementarse en un 35,9 % el total de ácidos grasos volátiles y en un 33 % el ácido butírico, con disminución a su vez en un 15,5 % el nitrógeno amoniacal. Aunque la producción láctea no se incrementó, el % de grasa en leche aumentó significativamente ($p \leq 0,05$) en un 4,7 % y las células somáticas se redujeron en un 68,5 % (DanDan et al., 2017). Otros estudios mostraron que, al incluir inulina procedente del yacón en el sustituto de leche en terneros en sistemas lecheros, esta puede conducir a un aumento significativo en la ganancia diaria de peso vivo y una mejor consistencia en las heces de estos, que reduce la incidencia de diarreas (Nidaullah et al., 2010; Saeed et al., 2017). El incremento de la ganancia diaria de peso puede atribuirse a la mayor fermentación en el duodeno, un mayor flujo de N microbiano en el intestino grueso, así como la estabilización de la microflora ruminal y en los intestinos (delgado y grueso) de los terneros (Samanta et al., 2012).

Aún falta investigación sobre el uso de *S. sonchifolius* para alimentación en rumiantes como estrategia de suplementación en sistemas de producción bovina con SSP u otros modelos de ganadería sostenible. Se requiere más información sobre su calidad química en diferentes estados fenológicos, así como su perfil lipídico y de aminoácidos en tallos, hojas y raíces tuberosas (Sáenz Torres et al., 2016). El yacón se debe explorar como fuente de suplementación estratégica en lecherías especializadas en el trópico alto, con el fin de priorizar evaluaciones orientadas al reemplazo parcial de alimento balanceado.

Potencial de uso de *S. sonchifolius* y *A. catarinensis* en sistemas lecheros en el trópico de altura colombiano

De acuerdo con la revisión de bibliografía, los resultados de tesis doctoral (los cuales se encuentran en proceso de publicación), la experiencia de algunos productores en el trópico alto de Colombia (a través de la acción participativa y la innovación rural) y los aspectos agroecológicos (incluye su adaptación al ambiente) más destacados de *A. catarinensis* y *S. sonchifolius*, se presenta el posible potencial de estas para ser utilizadas en SSP para lechería del trópico de altura (Cuadro 5).

Cuadro 5. Potencial de las dos especies forrajeras para ser incluidas en los sistemas silvopastoriles (SSP) y aportar al mejoramiento del sistema de producción de leche en el trópico de altura en una fase preliminar.

Table 5. Potential of the two forage species to be included in silvopastoral systems (SPS) and contribute to the improvement of the dairy production system in the tropical highlands in a preliminary phase.

Práctica agroecológica/especie	<i>Axonopus catarinensis</i>	<i>Smallanthus sonchifolius</i>
Asociación con árboles (madera, frutos, confort animal).	Alto	Medio
Menor uso de fertilizantes de síntesis.	Alto	Alto
Abandono del uso de plaguicidas contra insectos chupadores de pastos.	Alto	NA
Reducción de los concentrados.	Bajo	Medio - alto
Mejorar eficiencia de uso del nitrógeno.	Bajo - medio	Medio - alto
Mejora en la calidad de la leche.	Medio	Alto
Mejorar el ciclaje de minerales.	Medio	Medio

Elaboración propia. / self-produced.

Conclusiones

El pasto jesuita gigante (*A. catarinensis*) es una especie que responde a la fertilización orgánica, tolera el ataque de insectos fitófagos y se convierte en una gramínea atractiva para incorporar en sistemas silvopastoriles, por tolerar altos niveles de penumbra o intercepción de luz solar, sin afectar la producción de biomasa, bajo condiciones del trópico alto colombiano en una etapa preliminar de desarrollo. Esto permitiría la posibilidad de generar nuevas líneas de investigación relacionadas con los aportes nutricionales y sus efectos en la producción de leche, así como en la economía de las lecherías, al realizar la comparación con otras especies de mayor uso como el *Cenchrus clandestinus*.

El yacón (*S. sonchifolius*), es una especie que permitiría el aprovechamiento de raíces, tallos y hojas para la nutrición animal con valores nutricionales de interés. Además, puede contribuir al balance nutricional en las

lecherías y puede ser un alimento funcional que podría transferir esta característica a la leche y sus derivados. También, es importante por los contenidos de fructooligosacáridos (FOS), los cuales, aún no han sido investigados ampliamente en la ruta metabólica de rumiantes, pero de acuerdo con los avances reportados en Japón y China, se evidencia que vacas y ovejas pueden estar más saludables y producen leche de mejor calidad.

Agradecimientos

Los autores agradecen al apoyo financiero del Grupo de Investigación en Ciencias Agrarias (GRICA), línea de sistemas sostenibles de producción animal, de la Universidad de Antioquia y al Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV), a través del apoyo recibido por Minciencias y del Patrimonio Autónomo Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas, mediante el plan de fortalecimiento *Innovación para la Resiliencia y la Mitigación del Cambio Climático en los Agropaisajes Ganaderos de Colombia*, código 3307100270685, contrato 006-2020. También a la Agencia de Educación Superior Postsecundaria de Medellín SAPIENCIA – Posgrados Nacionales.

Referencias

- Barragán Hernández, W., Mahecha-Ledesma, L., & Cajas-Girón, Y. (2016). Efecto de sistemas silvopastoriles en la producción y composición de la leche bajo condiciones del valle medio del río Sinú, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 8(2), 187–196. <https://doi.org/10.24188/recia.v8.n2.2016.186>
- Burgos, G., Amaros, W., Morote, M., Stangoulis, J., & Bonierbale, M. (2007). Concentración de Hierro y Zinc en Variedades de Papa nativa, desde una perspectiva en Nutrición Humana. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(4), 668–675. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2765>
- Brugnara Soares, A., Sartor, L. R., Adami, P. F., Costa Varella, A., Fonseca, L., & Mezzalira, J. C. (2009). Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageira perenes de verão. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(3), 443–451. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000300007>
- Calderón, A., García, F., & Martínez, G. (2006). Indicadores de calidad de leches crudas en diferentes regiones de Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 11(1), 725–737. <https://doi.org/10.21897/rmvz.457>
- Calle Díaz, Z., Naranjo, J. F., & Murgueitio, E. (2009). El tilo, puerta de entrada a los silvopastoriles en el trópico alto. *Carta Fedegan*, 110, 118–125.
- Cardona-Iglesias, J. L., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2017). Efecto sobre la fermentación *in vitro* de mezclas de *Tithonia diversifolia*, *Cenchrus clandestinus* y grasas poliinsaturadas. *Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 405–426. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.25697>
- Carmona, J. C., Bolívar, D. M., & Giraldo, L. A. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 18(1), 49–63. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/rccp/article/view/323994>
- Carneiro, N., Zacaron, W., Rossato, G., Solivo, G., Bolzan Falk, R., Wagner, R., Da Silva, A. S., & Zotti, C. A. (2021). Chemical composition and fatty acid profile in organic milk from dairy cows fed with microalgae (*Schizochytrium limacinum*). *Research, Society and Development*, 10(10), Article e277101018821. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i10.18821>

- Carvalho, A. H. de O., Pedrosa, J. L. F., de Oliveira, F. L., Parajara, M. do C., da Rocha, L. J. F. N., de Lima, W. L., & Teixeira, A. das G. (2021). Developing row spacing and planting density recommendations for yacon (*Smallanthus sonchifolius*) in tropical highland conditions. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 81(2), 237–245. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392021000200237>
- Chará, J., Reyes, E., Peri, P., Otte, J., Arce, E., & Schneider, F. (2019). *Silvopastoral systems and their contribution to improved resource use and sustainable development goals: Evidence from Latin America*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Centre for Research on Sustainable Agriculture, & Agri Benchmark. https://cipav.org.co/sdm_downloads/silvopastoral-systems-contribution-improved-resource-use-and-sustainable-development-goals/
- Choque Delgado, G. T. (2012). *Avaliação dos efeitos do consumo regular de yacon (Smallanthus sonchifolius) sobre o sistema imune murino* [Tese de doutorado, Universidade Estadual de Campinas]. Repositório da Universidade Estadual de Campinas. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/1327833>
- Colcombet, L., Esquivel, J., Fassola, H., Goldfarb, M. C., Lacorte, S. M., Pachas, A. N., Rossner, B., & Winck, R. A. (2015). Los sistemas silvopastoriles en las provincias de Misiones y Corrientes, Argentina. En F. Montagnini, E. Somarriba, E. Murgueitio, H. Fassola, & B. Eibl, (Eds.), *Sistemas Agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales* (pp. 105–129). Fundación CIPAV, & Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza. https://cipav.org.co/sdm_downloads/sistemas-agroforestales-funciones-productivas-socioeconomicas-y-ambientales/
- Correa, H. J., Pabón, M. L., & Carulla, J. E. (2008). Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): I - Composición química y digestibilidad ruminal y posruminal. *Livestock Research for Rural Development*, 20(4), Artículo 59. <http://www.lrrd.org/lrrd20/4/corra20059.htm>
- Correa, H. J., Rodríguez, Y. G., Pabón, M. L. & Carulla, J. E. (2012). Efecto de la oferta de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) sobre la producción, la calidad de la leche y el balance de nitrógeno en vacas Holstein. *Livestock Research for Rural Development*, 24(11), Artículo 204. <http://www.lrrd.org/lrrd24/11/corr24204.htm>
- DanDan, H., TingTing, G., YaDong, J., & XiaoFeng, X. (2017). Effects of fructooligosaccharides on rumen fermentation and production performance of early dairy cows. *China Dairy Industry*, 45(10), 6–10.
- Escobar, M. I., Navas Panadero, A., Medina, C. A., Corrales Álvarez, J. D., Tenjo, A. I., & Borrás Sandoval, L. M. (2020). Efecto de prácticas agroecológicas sobre características del suelo en un sistema de lechería especializada del trópico alto colombiano. *Livestock Research for Rural Development*, 32(4), Artículo 58. <http://www.lrrd.org/lrrd32/4/maria.es32058.html>
- Fassola, H. E., Lacorte, S. M., Pachas, A. N., & Pezzuti, R. (2005). Factores que influencia la producción de biomasa forrajera de *Axonopus jesuiticus* Valls, bajo dosel de *Pinus taeda* L. en el Nordeste de Corrientes. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 34(3), 21–38.
- Fassola, H. E., Lacorte, S. M., Pachas A. N., Goldfarb, C., Esquivel, J., Colcombet L., Crechi, E. H., Keller, A., & Barth, S. R. (2009, octubre 18-23). *Los sistemas silvopastoriles en la región subtropical del NE argentino* (Presentación). XIII Congreso Forestal Mundial, Buenos Aires, Argentina.
- Federación Colombiana de Ganaderos. (2018). *Ganadería colombiana. Hoja de ruta 2018 - 2022*. https://estadisticas.fedegan.org.co/DOC/download.jsp?pRealName=Hoja_de_ruta_Fedegan.pdf&iIdFiles=682
- Feldhake, C. M. (2002). Forage frost protection potential of conifer silvopastures. *Agricultural and Forest Meteorology*, 112(2), 123–130. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(02\)00058-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(02)00058-8)

- Ferreira Pedrosa, J. L., de Oliveira, F. L., Zucoloto, M., das Graças Teixeira, A., do Carmo Parajara, M., & Tomaz, M. A. (2020). Yacon (*Smallanthus sonchifolius*), propagation from rhizophores with different numbers of buds. *Revista De La Facultad De Ciencias Agrarias UNCuyo*, 52(2), 52–63. <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs/index.php/RFCA/article/view/4131>
- Galindo, J., Elías, A., Marrero, Y., González, N., & Sosa, A. (2017). Ruminant activators, general features and their advantages for feeding ruminants. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 51(1), 11–23. <https://cjas.com/index.php/CJAS/article/view/680>
- Giraldo-Cañas, D. (2014). Las especies del género *Axonopus* (Poaceae: Panicoideae: Paspaleae) de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas*, 38(147), 130–76. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.48>
- Gutiérrez, O. (2010). Desarrollo de la metodología Innovación Rural Participativa en la Zona Andina Central de Colombia. *Agronomía Colombiana*, 28(3), 525–533. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/14816>
- Grau, A., & Rea, J. (1997). Yacón *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson. In M. Hermann, & J. Heller (Eds.), *Andean roots and tubers: Ahipa, arracacha, maca, yacon. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops* (pp. 199–242). Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, & International Plant Genetic Resources Institute. <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/104208>
- Hernández, U. (2004). *Ensayos de adaptación del yacón en zona cafetera* [Tesis de maestría, no publicada]. Universidad de Caldas.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (2009). *Jesuita gigante (Axonopus catarinensis Valls), una nueva especie forrajera para los sistemas ganaderos y forestogaderos de Misiones y la región*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_megatermicas/176-Jesuita_Gigante.pdf
- Jaimes Cruz, L. J., & Correa Cardona, H. J. (2016). Balance de nitrógeno, fósforo y potasio en vacas Holstein pastando praderas de kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) en el norte de Antioquia. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 11(2), 18–41. <http://doi.org/10.21615/cesmvz.11.2.2>
- Koike, A., Murata, T., Matsuda, Y., Masuoka, C., Okamoto, C., & Kabata, K. (2009). Cultivation and ensilage of yacon plants (*Smallanthus sonchifolius* [Poepp. & Endl.] H. Robinson) and the function of yacon silage. *Grassland Science*, 55(1), 6–10. <https://doi.org/10.1111/j.1744-697X.2009.00130.x>
- Koike, A., Pradhan, R., Murata, T., Yasuda, S., Igoshi, K., Okamoto, C., & Kabata, K. (2010). Effect of yacon silage on feed digestibility, blood characteristics and amount of urinary 8-hydroxydeoxyguanosine in ewes. *Grassland Science*, 56(2), 95–100. <https://doi.org/10.1111/j.1744-697X.2010.00180.x>
- Koike, A., Yasuda, S., Nagai, R., Okamoto, C., Nikki, T., Igoshi, K., Pradhan, R., Ono, M., & Kabata, K. (2013, September 15-19). Development of new functional feed that utilizes yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and rush (*Juncus effusus* L.) in Japan. In D. L. Michalk, G. D. Millar, W. B. Badgery, & K. M. Broadfoot (Eds.), *Proceedings of the 22nd International Grassland Congress (Revitalising grasslands to sustain our communities)* (pp. 670–671). New South Wales Department of Primary Industry. <https://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1285&context=igc>
- Krahl, G., Bartoli Zanini, R. L., Ferretto, M., Bresciani Giusti, P., & Todeschini, L. (2021). Impacto do *Arachis pintoi* cv. Belmonte sobre a resposta do *Axonopus catarinensis* Valls ao sombreamento. *Agropecuária Catarinense*, 34(3), 87–92. <https://doi.org/10.52945/rac.v34i3.1255>

- Lacorte, S. M., Fassola, H. E., Domecq, C. D., San José, M., Hennig, E., Correa, E. M., Ferrere, P., & Moscovich, F. (2003). Efecto del pastoreo en el crecimiento de *Grevillea robusta* A. Cunn. y la dinámica del pastizal en Misiones, Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 32(2), 79–96.
- Lacorte, S., Fassola, L., Pachas, N., & Colcombet, L. (2004). Efecto de diferentes grados de sombreado con y sin fertilización fosfórica, sobre la producción de un pastizal modificado con predominio de *Axonopus compressus* (Swartz) Beauv. en el sur de Misiones, Argentina. En Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Ed.), *11^{as} Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales* (Trabajos voluntarios, pp. 422–430). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. <https://www.jotefa.com.ar/actas>
- Lacorte, S. M., Domecq, C., San José, M., Hennig, A., Fassola, H., Pachas, A. N., Colcombet, L., Hampel, H., & Espíndola, H. F. (2009). *Análisis de un sistema silvopastoril en el sur de Misiones, Argentina Producción forestal, forrajera y de carne. Estudio de caso*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/manejo%20silvopastoril/136-INTA-analisis-sistema-silvopastoril.pdf
- Li, G. -H., Ling, B. -M., Qu, M. -R., You, J. -M., & Song, X. -Z. (2011). Effects of several oligosaccharides on ruminal fermentation in sheep: an *in vitro* experiment. *Revue de Médecine Vétérinaire*, 162(4), 192–197.
- Lima Quaresma, M. A., de Oliveira, F. L., Texeira do Amaral, J. F., do Carmo Parajara, M., Pin Dalvi, L., & das Graças Teixeira, A. (2020). Planting methods and depths for the yacon (*Smallanthus sonchifolius*) crop. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 14(2), 249–256. <https://doi.org/10.17584/rcch.2020v14i2.9562>
- Lima Quaresma, M. A. de Oliveira, F. L., Rocha, L. F., das Graças Teixeira, A., Natal da Silva, D. M., Pin Dalvi, L., & Tomas, M. A. (2021). Planting recommendations for yacon (*Smallanthus sonchifolius*) in lowland conditions. *Australian Journal of Crop Science*, 15(04), 564–569. http://www.cropj.com/quarsema_15_4_2021_564_569.pdf
- Lobo, A. R., Colli, C., Alvares, E. P., & Filisetti, T. M. C. C. (2007). Effects of fructans-containing yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp and Endl.) flour on caecum mucosal morphometry, calcium and magnesium balance, and bone calcium retention in growing rats. *British Journal of Nutrition*, 97, 776–785. <https://doi.org/10.1017/S0007114507336805>
- Lopera, J. J., Márquez, S. M., Ochoa, D. E., Calle, Z., Sossa, C. P., & Murgueitio, E. (2015). Producción agroecológica de leche en el trópico de altura: sinergia entre restauración ecológica y sistemas silvopastoriles. *Agroecología*, 10(1), 79–85. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/300761>
- Lopera-Marín, J. J., Durana, C., Davison, I., Lopera, O. A., Sossa, C. P., Galindo, A., Colorado, L. A., & Murgueitio, E. (2020). Manejo de los chupadores del kikuyo con transición agroecológica. Dos fincas silvopastoriles en laderas altoandinas orientadas hacia la ganadería sostenible enfrentan los insectos chupadores del kikuyo. *De Carne*, 47, 56–61. <https://www.calameo.com/read/0020331907118aa18de2b>
- Lopera-Marín, J. J., Angulo-Arizala, J., Murgueitio Restrepo, E., & Mahecha-Ledesma, L. (2020). Producción de tubérculos y biomasa aérea del yacón, *Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob. (Asteraceae), para alimentación animal en el trópico alto colombiano. *Livestock Research for Rural Development*, 32(8), Artículo 135. <http://www.lrrd.org/lrrd32/8/jjlop32135.html>
- López Torres, D. L. (2007). Valoración de la raíz de yacón: obtención de un jarabe rico en fructooligosacáridos. *Revista de Investigación y Desarrollo*, 1(7), 88–89. <https://www.upb.edu/revista-investigacion-desarrollo/index.php/id/article/view/99>

- Lorenzoni, I. G. (2016). *Desempenho da grama missioneira gigante (Axonopus catarinensis Valls) na região noroeste do Rio Grande do Sul* [Tese de doutorado, não publicada]. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.
- Mahecha, L., Angulo, J., Salazar, B., Cerón, M., Gallo, J., Molina, C. H., Molina, E. J., Suárez, J. F., Lopera, J. J., & Olivera, M. (2008). Supplementation with bypass fat in silvopastoral systems diminishes the ratio of milk saturated/unsaturated fatty acids. *Tropical Animal Health and Production*, 40(3), 209–216. <https://doi.org/10.1007/s11250-007-9082-5>
- Mahecha-Ledesma, L., Angulo-Arizala, J., & Barragán-Hernández, W. A. (2017). Calidad nutricional, dinámica fermentativa y producción de metano de arreglos silvopastoriles. *Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 371–387. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.22750>
- Mahecha-Ledesma, L., Angulo-Arizala, J., & Argüello-Rangel, J. (2022). Sistemas silvopastoriles: estrategia para la articulación de la ganadería bovina a desafíos del siglo XXI. En H. Rodríguez Espinosa (Ed.), *Innovación en la investigación agropecuaria* (pp. 103–143). Fondo Editorial Biogénesis. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/biogenesis/article/view/349676/20808170>
- Mejía-Díaz, E., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2017). *Tithonia diversifolia*: especie para ramoneo en sistemas silvopastoriles y métodos para estimar consumo. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 289–302. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.22673>
- Molina, I. C., Angarita, E. A., Mayorga, O. L., Chará, J., & Barahona-Rosales, R. (2016). Effect of *Leucaena leucocephala* on methane production of Lucerna heifers fed a diet based on *Cynodon plectostachyus*. *Livestock Science*, 185, 24–29. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.01.009>
- Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H., & Eibl, B. (2015). *Sistemas Agroforestales. Funciones Productivas, Socioeconómicas y Ambientales*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, & Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria. <http://cipav.org.co/wp-content/uploads/2020/08/sistemas-agroforestales-funciones-productivas-socioeconomicas-y-ambientales.pdf>
- Murgueitio, E., Chará, J. D., Solarte, A. J., Uribe, F., Zapata, C., & Rivera, J. E. (2013). Agroforestería pecuaria y sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) para la adaptación ganadera al cambio climático con sostenibilidad. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 26, 313–316. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/rccp/article/view/324845>
- Natal da Silva, D. M., de Oliveira, F. L., Lima Quaresma, M. A., Erlacher, W. A., & Pacheco Mendes, T. (2019). Yacon production at different planting seasons and growing environments. *Bioscience Journal*, 35(4), 992–1001. <https://doi.org/10.14393/BJ-v35n4a2019-42091>
- Nidaullah, H., Durrani, F. R., Ahmad, S., Jan, I. U., & Gul, S. (2010). Aqueous extract from different medicinal plants as anticoccidial, growth promotive and immunostimulant in broilers. *ARPJN Journal of Agricultural and Biological Science*, 5(1), 53–59. http://www.arpnjournals.com/jabs/research_papers/rp_2010/jabs_0110_175.pdf
- Pachas, N., Keller, A., Fassola, H., Lacorte, S., & Pinazo, M. (2004). *Producción, morfología y calidad nutritiva de Axonopus catarinensis Valls bajo diferentes condiciones lumínicas e hídricas*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Pachas, A. N. A., Jacobo, E. J., Goldfarb, M. C., & Lacorte, S. M. (2014). Response of *Axonopus catarinensis* and *Arachis pintoi* to shade conditions. *Tropical Grasslands-Forrajeras Tropicales*, 2, 111–112. [https://doi.org/10.17138/tgft\(2\)111-112](https://doi.org/10.17138/tgft(2)111-112)
- Pantiu, A. J., Capellari, A., & Kurtz, V. D. (2010). Sistemas silvopastoriles del centro y norte de la Provincia de Misiones, Argentina. *Revista Veterinaria*, 21(1), 69–75. <http://doi.org/10.30972/vet.2111873>

- Pavetti, D. R., Benvenuti, M. A., Radke, O., & Cibils, O. A. (2018). Long-term assessment of a new rotational-grazing management strategy called PUP-grazing (proportion of un-grazed pasture). *Tropical Grasslands*, 6(1), 53–57. [https://doi.org/10.17138/tgft\(6\)53-57](https://doi.org/10.17138/tgft(6)53-57)
- Perry, S. (2003). Working with smallholders towards achieving sustainable development: Foundation for the participatory and sustainable development of the small farmers (PBA Foundation). *Policy Matters*, 11, 116–119. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/Policy-Matters-Issue-11.pdf>
- Puerto Morales, L. S. (2012). *Evaluación química de tres especies con potencial forrajero del trópico alto y medio* [Tesis de especialista, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/1074>
- Prieto-Manrique, E., Vargas-Sánchez, J. E., Angulo-Arizala, J., & Mahecha-Ledesma, L. (2016). Ácidos grasos, fermentación ruminal y producción de metano, de forrajes de silvopasturas intensivas con leucaena. *Agronomía Mesoamericana*, 27(2), 337–352. <https://doi.org/10.15517/am.v27i2.24386>
- Promoción de Turismo, Inversión y Exportaciones de Colombia. (2011). *Sector lácteo en Colombia*. <https://www.colombiaproductiva.com/CMSPages/GetFile.aspx?guid=f19a8ab5-24f2-455e-be57-6ad6742a1961>
- Ramos Zapana, R. (2007). *Estudio químico-bromatológico de algunas variedades de yacón (Smallanthus sonchifolius) (Poepp and Endl) H. Robinson. De la provincia de Sandía-Puno* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio CYBERTESIS de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/1101>
- Rivera Herrera, J. E., Molina Botero, I. C., Donney's Lemos, G., Villegas Sánchez, G., & Barahona Rosales, R. (2015). Composición nutricional y degradabilidad de la materia seca de dietas de sistemas silvopastoriles intensivos y tradicionales en Colombia. En P. L. Peri (Ed.), *Actas 3º Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles y VIII Congreso Internacional de Sistemas Agroforestales*. INTA Ediciones.
- Rivera-Herrera, J. E., Molina-Botero, I., Chará-Orozco, J., Murgueitio-Restrepo, E., & Barahona-Rosales, R. (2017). Sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit: alternativa productiva en el trópico ante el cambio climático. *Pastos y Forrajes*, 40(3), 171–183. <https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path%5B%5D=1965>
- Rossner, M., Guerrero, D., & Domínguez, M. (2009). *Evaluación de Técnicas de Multiplicación de Axonopus catarinensis Valls para Implantación en Sistemas Silvopastoriles*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Rueda, S. L., Taborda, L. M., & Correa, H. J. (2016). Relación entre el flujo de proteína microbiana hacia el duodeno y algunos parámetros metabólicos y productivos en vacas lactantes de un hato lechero del Oriente Antioqueño. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 19(1), 27–38. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/rccp/article/view/324029>
- Saeed, M., Yatao, X., Ur Rehman, Z., Asif Arain, M., Nawaz Soomro, R., Abd El-Hack, M. E., Ahmed Bhutto, Z., Abbasi, B., Dhama, K., Sarwar, M., & Chao, S. (2017). Nutritional and Healthical Aspects of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) for Human, Animals and Poultry. *International Journal of Pharmacology*, 13(4), 361–369. <https://scialert.net/fulltext/citedby.php?doi=ijp.2017.361.369>
- Sáenz, S. (2019). Hay mucho que investigar en las raíces y tubérculos andinos. *Revista de Medicina Veterinaria*, 1(38), 7–13. <https://doi.org/10.19052/mv.vol1.iss38.1>

- Sáenz Torres, S., Chaparro González, M., & Bernal Bechara, L. (2016). *Yacón: producción, transformación y beneficios* (1^{er} ed.). Ediciones Unisalle. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1014&context=edunisalle_agrociencias
- Samanta, A. K., Senani, S., Kolte, A. P., Sridhar, M., Sampath, K. T., Jayapal, N., & Devi, A. (2012). Production and *in vitro* evaluation of xylooligosaccharides generated from corn cobs. *Food and Bioproducts Processing*, 90(3), 466–474. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.11.001>
- Sánchez Matta, L., Amado Saavedra, G. M., Criollo Campos, P. J., Carvajal Salcedo, T., Roa Triana, J., Cuesta Peralta, A., Conde Pulgarín, A., Umaña Arboleda, A., Bernal, L. M., & Barreto de Escovar, L. (2009). *El sauco (Sambucus nigra) como alternativa silvopastoril en el manejo sostenible de praderas en el trópico alto colombiano*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13488?locale-attribute=es>
- Sánchez Chiprés, D. R., Leal, E. H., Galindo, J., Valdovinos, M. A., & Ly, J. (2018). Features of carcass performance and characteristics and meat quality in pigs fed agave oligofructans. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 52(1), 41–48.
- Sarria Buenaventura, P., Builes Correa, A., Gómez Restrepo, C. A., & Murgueitio Restrepo, E. (2008). Evaluación de la producción y calidad de kikuyo *Pennisetum clandestinum* asociado con árboles de aliso *Alnus acuminata* en los Andes centrales, Antioquia. En E. Murgueitio Restrepo, C. A. Cuartas Cardona, & J. F. Naranjo Ramírez (Eds.), *Ganadería del Futuro: Investigación para el Desarrollo* (pp. 399–415). Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/19105?locale-attribute=es>
- Seminario, J., Valderrama, M., & Manrique, I. (2003). *El Yacón: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio*. Centro Internacional de la Papa, Universidad Nacional de Cajamarca, & Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/07/Yacon_Fundamentos_password.pdf
- Simonovska, B., Vovk, I., Andrenšek, S., Valentová, K., & Ulrichová, J. (2003). Investigation of phenolic acids in yacón (*Smallanthus sonchifolius*) leaves and tubers. *Journal of Chromatography A*, 1016(1), 89–98. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(03\)01183-X](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(03)01183-X)
- Schapiro, J., & Pantiu, A. (2018). Manejo sostenible del parasitismo gastrointestinal en bovinos en sistemas silvopastoriles. En J. Ullé, & B. M. Díaz (Eds.), *El suelo como reactor de los procesos de regulación funcional de los agroecosistemas* (pp. 67–85). Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Schmidt, F., Ruiz Favaro, V., & Mader Fernandes, C. O. (2021). Potencial nutricional e desempenho produtivo das pastagens perenes utilizadas na alimentação do rebanho leiteiro em SC. *Revista Congrega*, 15(15), 25–30. <http://revista.urcamp.tche.br/index.php/rcmpce/article/view/4064>
- Valentová, K., & Ulrichová, J. (2003). *Smallanthus sonchifolius* and *Lepidium meyenii*-Prospective Andean crops for the prevention of chronic diseases. *Biomedical Papers*, 147(2), 119–130. <https://biomed.papers.upol.cz/pdfs/bio/2003/02/01.pdf>
- Vegas, C. A., Pichiuha, B. O., Peña, C., & Zavaleta, A. I. (2013). Efecto simbiótico del extracto de *Smallanthus sonchifolius* (yacón) y *Lactobacillus plantarum* frente a *Escherichia coli*. *Ciencia e Investigación*, 16(2), 77–82. <https://doi.org/10.15381/ci.v16i2.10865>
- Xiaoli, X., Liyi, Y., Shuang, H., Wei, L., Yi, S., Hao, M., Jusong, Z., & Xiaoxiong, Z. (2008). Determination of oligosaccharide contents in 19 cultivars of chickpea (*Cicer arietinum* L) seeds by high performance liquid chromatography. *Food Chemistry*, 111(1), 215–219. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.039>
- Yurusova, A. V. (2015). Improvement of milk veterinary-sanitary and qualitative parameters through nutrition supplements for milking cows. *Vestnik OrelGAU*, 6(51), 27–32. <https://cyberleninka.ru/article/n/improvement-of-milk-veterinary-sanitary-and-qualitative-parameters-through-nutrition-supplements-for-milking-cows>