

Lulo (*Solanum quitoense* [Lamarck.]) como cultivo novedoso en el paisaje agroecosistémico mexicano*

Lulo (*Solanum quitoense* [Lamarck.]) as new landscape crop in the Mexican agro-ecosystem

Fernando C. Gómez-Merino^{1§}, Libia I. Trejo-Téllez², J. Cruz García-Albarado¹ y Jorge Cadeña-Íñiguez³

¹Colegio de Postgraduados-Campus Córdoba. Carretera Córdoba Veracruz km 348. Amatlán de los Reyes Veracruz, México. C. P. 94969. (fernandg@colpos.mx; jcruz@colpos.mx). ²Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. (tlibia@colpos.mx). ³Colegio de Postgraduados Campus San Luis Potosí. Agustín de Iturbide N° 73, Salinas de Hidalgo, Salinas, S. L. P., México. C. P. 78600. (jocadena@colpos.mx). [§]Autor para correspondencia: fernandg@colpos.mx.

Resumen

El lulo (*Solanum quitoense* [Lamarck.]) es una solanácea que produce un fruto de exquisito sabor y de propiedades nutraceuticas novedosas que le convierten en una especie de gran potencial para su establecimiento y aprovechamiento en México. Esta especie es originaria de la región andina de Colombia, Ecuador y Perú, países donde se concentra su producción y aprovechamiento. Debido a diversas limitantes tanto de orden técnico como comercial y organizacional, la producción de este cultivo no abastece el mercado regional en los países sudamericanos, y a su vez, en otros países como Estados Unidos se ha incrementado la importación de esta solanácea, lo que abre una importante ventana de posibilidad para que países como México desarrollen su propia tecnología tendiente a mejorar la producción y productividad de este fruto para su consumo interno y exportación. En esta revisión se analizan aspectos generales de la especie, incluyendo los principales descriptores botánicos, recursos genéticos, materiales mejorados, así como requerimientos ambientales y agronómicos para su producción sustentable. En el documento también se proponen algunas estrategias para la implementación de innovaciones en la cadena de valor como directrices para su aprovechamiento en México. Se concluye que el lulo es una especie con potencial y

Abstract

Lulo (*Solanum quitoense* [Lamarck.]) is a white nightshade that produces a result of exquisite taste and innovative nutraceutical properties that make it a species of great potential for its establishment and exploitation in Mexico. This species is native to the Andean region of Colombia, Ecuador and Peru, countries that concentrate its production and use. Due to various constraints, technical, commercial and organizational, the production of this crop do not supply the regional market in South American countries, and in turn, in other countries such as United States import of this white nightshade has increased, opening an important window of possibility for countries such as Mexico to develop its own technology to improve the production and productivity of this fruit for domestic consumption and export. This review discusses general aspects of the species, including the main botanical descriptors, genetic resources, improved materials, as well as environmental and agronomic requirements for their sustainable production. Suggesting some strategies for the implementation of innovations in the value chain such as guidelines for its use in Mexico as well. It is concluded that lulo is a species with potential and, it is necessary to develop research in different aspects, to provide the necessary

* Recibido: febrero de 2014
Aceptado: julio de 2014

que es necesario desarrollar investigaciones en diferentes vertientes, tendientes a ofrecer los elementos necesarios que permitan el enriquecimiento del paisaje rural mexicano, en términos tanto de servicios ambientales como agronómicos y de agregación de valor.

Palabras clave: agroecosistemas, frutas andinas, frutas nutraceuticas, naranjilla, solanaceae.

Introducción

El lulo (*Solanum quitoense* [Lamarck.]) es una planta de la familia Solanaceae, sección Lasiocarpa. Esta sección taxonómica comprende más de 14 especies, de las cuales ocho se encuentran en Colombia (Denis *et al.*, 1985; Heiser; 2000; Benítez y Lastres-Médez, 2009). De hecho, el centro primario de diversidad genética del lulo incluye los bosques húmedos subtropicales de Colombia, Ecuador y Perú (Lobo-Arias y Medina, 2000; Lobo-Arias *et al.*, 2007).

El lulo se consideró como una especie promisoría hace más de 80 años y fue catalogado como un cultivo de potencial agroalimentario (Lobo-Arias, 2000). El desarrollo que ha alcanzado este cultivo se atribuye a la iniciativa de los propios productores, sin que haya habido inicialmente un acompañamiento científico en el desarrollo de investigaciones y experimentación (Medina *et al.*, 2009).

De acuerdo con Lobo-Arias (2007), Colombia presenta una serie de factores que favorecen y potencian la producción de este frutal, entre las que destacan: amplia variabilidad genética del taxón y especies relacionadas; nichos ecológicos apropiados para su siembra y cultivo; aceptación de los frutos por los consumidores; potencial agroindustrial; y alternativa para la reconversión productiva. Pese a estos factores favorables, Colombia no es un país autosuficiente en producción de lulo y tiene que importar cerca de 20% de lo que consume. El principal país de donde provienen estas importaciones es Ecuador. Además, la tecnología para la producción se encuentra poco desarrollada (Medina *et al.*, 2009).

De hecho, la mayor parte de la producción colombiana (más de 74%) se realiza en esquemas de agricultura campesina, carente de tecnología avanzada. Esto hace necesario investigar en temas tales como: producción limpia, manejo agronómico, control de plagas y enfermedades, ecofisiología del cultivo, agregación de valor, manejo

elements that would allow the enrichment of the Mexican countryside, in terms of both environmental services such as agronomic and aggregation of value.

Keywords: agro-ecosystems, naranjilla, nutraceutical fruits, solanaceae.

Introduction

Lulo (*Solanum quitoense* [Lamarck.]) is a plant of the family Solanaceae, section Lasiocarpa. This taxonomic section comprises more than 14 species, of which eight are in Colombia (Denis *et al.*, 1985; Heiser; 2000; Benítez and Lastres-Médez, 2009). In fact, the primary center of genetic diversity of lulo includes subtropical humid forests of Colombia, Ecuador and Peru (Lobo-Arias and Medina, 2000; Lobo-Arias *et al.*, 2007).

Lulo was considered a promising species for more than 80 years and was listed as a crop of agro-food potential (Lobo-Arias, 2000). The development that it has reached is attributed to the initiative of the producers, without a scientific support initially in the development of research and experimentation (Medina *et al.*, 2009).

According to Lobo-Arias (2007), Colombia presents a series of factors that promote and enhance the production of this fruit, including: wide genetic variability of the taxon and related species; ecological niches suitable for its sowing and cultivation; acceptance of the fruits by consumers; agro-industrial potential; and alternative to the productive reconversion. Despite these favourable factors, Colombia is not a self-sufficient country in production of lulo and has to import about 20%. The main country where these imports come from is Ecuador. In addition, the technology for the production is under developed (Medina *et al.*, 2009).

In fact, most of the Colombian production (over 74%) is done in agriculture, lacking advanced technology schemas. This is necessary to investigate topics such as: clean production, agronomic management, control of plagues and diseases, eco-physiology of the crop, adding value, postharvest handling and alternative applications in the food and pharmaceutical industries, among other examples (Tafur, 2006). The introduction of this species grown in Mexico, will mean considering these research needs, with a view

poscosecha y usos alternativos en las industrias alimenticias y farmacéuticas, por citar solo algunos ejemplos (Tafur, 2006). La introducción de esta especie cultivada a México, implicará considerar estas necesidades de investigación, con miras a desarrollar una cadena de valor integral, que incluya aspectos de innovación tecnológica, comercial, organizacional y gerencial, y agregue valor al paisaje rural, tanto en términos de nuevos productos como de servicios ambientales y valoración del paisaje *per se*.

Características botánicas y recursos genéticos

Como toda dicotiledónea, la planta de lulo posee una raíz principal o pivotante, con un alto porcentaje de raíces fibrosas superficiales. El tallo es semileñoso, cilíndrico y suculento que en su juventud es tierno y de color verde; éste se transforma en un tallo leñoso de color café en su fase adulta y puede alcanzar hasta 3 m de altura. Algunos genotipos poseen gran cantidad de espinas (i.e. *S. quitoense* var. *septentrionale*) mientras que otros son lisos o con vellosidades suaves (i.e. *S. quitoense* var. *quitoense*). De ellos, los primeros son más comunes en Colombia, mientras que los segundos (sin espinas) son más frecuentes en Ecuador (Denis *et al.*, 1985; Gómez *et al.*, 1999; Heiser, 2000; Sahaza y Henao, 2001; Franco *et al.*, 2002; Angulo, 2008). Las ramas son suculentas y verdes cuando están jóvenes, y se convierten en leñosas y cafés con el tiempo; pueden tener diámetros hasta 5 cm y presentar o no espinas.

Las hojas son generalmente amplias, de por lo menos 40 cm de largo y 34 cm de ancho; son de color verde por el haz y violeta por el envés. Las flores se agrupan en racimos, en un número que varía entre 5 y 10 por cada inflorescencia; los pétalos son blancos y morados por debajo. Existen flores de pistilo largo, medio y corto, pero sólo las de pistilo largo son fértiles. La planta de lulo no produce polen fértil en zonas templadas, lo cual constituye una gran ventaja competitiva para su cultivo en el trópico y una desventaja para los programas de mejoramiento genético en zonas templadas (Angulo, 2008). El fruto es una baya globosa con un diámetro de 4 a 8 cm y con un peso que oscila entre 40 y 80 g; en el híbrido mejorado "La Selva" su corteza es lisa, de color amarillo intenso o amarillo rojizo en la madurez; la pulpa es verde y con numerosas semillas, y de sabor agridulce.

La planta puede fructificar durante todo el año, lo que ocasiona producción de botones florales, flores y frutos de distintos tamaños. Las semillas son lisas y redondas, se pueden encontrar hasta 1 000 por fruto que pueden pesar entre 4 y 40

to develop a chain of integral value, including aspects of managerial, organizational, commercial and technological innovation, adding value to the rural landscape, both in terms of new products and environmental services and assessment of landscape.

Botanical characteristics and genetic resources

As all dicotyledon, lulo has a pivot, or main root with a high percentage of shallow fibrous roots. The stem is cylindrical, semi-wooded and succulent, tender and green; this is transformed into a brown woody stem in the adult stage and can reach up to 3 m in height. Some genotypes have lots of thorns (i.e. *S. quitoense* var. *septentrionale*) while others are smooth or with soft hairs (i.e. *S. quitoense* var. *quitoense*). From these, the first ones are more common in Colombia, while the seconds (without thorns) are more common in Ecuador (Denis *et al.*, 1985; Gómez *et al.*, 1999; Heiser, 2000; Sahaza and Henao, 2001; Franco *et al.*, 2002; Angulo, 2008). The branches are succulent and green when they are young, and they become woody and brown over time; they can have diameters up to 5 cm and present or not thorns.

The leaves are usually large, at least 40 cm long and 34 cm wide; they are green on the beam and violet on the underside. The flowers are grouped in clusters, to a number that varies between 5 and 10 per each inflorescence; the petals are white and purple. There are flowers of long, medium and short pistils, but only the long ones are fertile. Lulo does not produce pollen fertile in temperate zones, which constitutes a great competitive advantage for its cultivation in the tropics and a disadvantage for breeding in mild zones (Angulo, 2008). The fruit is a globose Berry with 4 to 8 cm in diameter and weighing between 40 and 80 g; in the improved hybrid "La Selva" the bark is smooth, deep yellow or deep reddish yellow at maturity; the pulp is green and with many seeds, and sweet-sour flavour.

The plant can bear fruit throughout the year, resulting in production of flower buds, flowers and fruits of different sizes. The seeds are smooth and round, can be up to 1 000 per fruit that can weigh between 4 and 40 mg. The original varieties produced, specially in Colombia and Ecuador, can be spread by seed, while hybrid materials such as lulo "La Selva" must be propagated through sticks, tillers, and plant tissue culture *in-vitro* (CORPOICA *et al.*, 1999; Lobo-Arias *et al.*, 2007).

mg. Las variedades originales que se producen, sobre todo en Colombia y Ecuador, pueden propagarse por semilla, en tanto que los materiales híbridos como lulo "La Selva" deben propagarse por estacas, hijuelos y cultivo de tejidos vegetales *in vitro* (CORPOICA *et al.*, 1999; Lobo-Arias *et al.*, 2007).

En términos generales, la planta de lulo inicia su producción entre los ocho y 12 meses de edad, lo cual depende principalmente de la temperatura, con rendimientos que pueden oscilar entre siete y 30 t ha⁻¹ (Lobo-Arias *et al.*, 1983; Sahaza y Henao, 2001; Angulo, 2008).

De acuerdo con Medina *et al.* (2009), Colombia cuenta con un banco de germoplasma de lulo a cargo de la Corporación Colombiana de Investigaciones Agropecuarias (Corpoica), la cual conserva 77 accesiones de *S. quitoense*, 17 de *S. pseudolulo*, ocho de *S. hirtum*, cinco de *S. vestissimum*, dos de *S. pectinatum*, dos de *S. sessiliflorum*, dos de *S. flexor* y una de *S. stramonifolium*, todos ellas de la sección Lasiocarpa (Lobo-Arias *et al.*, 2002).

Con base en el desarrollo de algunos cruzamientos experimentales controlados, se ha podido conocer la relación filogenética entre lulos, tomates de árbol y otras especies silvestres emparentadas. Por ejemplo, el lulo (*S. quitoense*) puede formar híbridos fértiles con *S. hirtum* (Bernal *et al.*, 1998; Lobo-Arias, 2000; Lobo-Arias *et al.*, 2007). Estos hallazgos han sido de gran utilidad para la generación de materiales mejorados como el lulo "La Selva", resultado del cruzamiento entre *S. quitoense* y *S. hirtum* (Bernal *et al.*, 1998; Lobo-Arias, 2000). Al profundizar en los estudios filogenéticos, Enciso-Rodríguez *et al.* (2010) determinaron que Colombia es el principal centro de diversidad de lulo y que la gran diversidad genética que existe posibilita la obtención de nuevos híbridos con caracteres superiores en cuanto a rendimiento, calidad de fruto y resistencia o tolerancia de las plantas a factores bióticos y abióticos. Los avances logrados en iniciativas como SOL genomics network (<http://solgenomics.net/>) y la reciente publicación del genoma del tomate (The Tomato Genome Consortium, 2012) permitirán avanzar considerablemente en el desarrollo de marcadores moleculares e identificación de genes funcionales que expliquen las respuestas de lulo al manejo agronómico y al ambiente, así como su uso para el mejoramiento genético.

Los estudios moleculares han revelado polimorfismos significativos y una mayor variabilidad genética en híbridos interespecíficos de *S. hirtum* * *S. quitoense* (Fory-Sánchez *et al.*, 2010; Enciso-Rodríguez *et al.*, 2010), en relación a

In general terms, lulo started its production between eight and 12 months of age, which mainly depends on the temperature, with yields that can range between seven and 30 t h⁻¹ (Lobo-Arias *et al.*, 1983; Sahaza and Henao, 2001; Angulo, 2008).

According to Medina *et al.* (2009), Colombia has a germplasm bank of lulo in charge of the Colombian Corporation for agricultural research (CORPOICA), which conserves 77 accessions of *S. quitoense*, 17 *S. pseudolulo*, 8 *S. hirtum*, five of *S. vestissimum*, two of *S. pectinatum*, two *S. sessiliflorum*, two *S. flexor* and one of *S. stramonifolium*, all of them in the section Lasiocarpa (Lobo-Arias *et al.*, 2002).

Based on the development of some controlled experimental crossings, we have been able to know the phylogenetic relationship between lulos, tomatoes- tree and other related wild species. For example, lulo (*S. quitoense*) can form fertile hybrids with *S. hirtum* (Bernal *et al.*, 1998; Lobo-Arias, 2000; Lobo-Arias *et al.*, 2007). These findings have been very useful for the generation of materials improved as lulo "La Selva", result from the cross between *S. quitoense* and *S. hirtum* (Bernal *et al.*, 1998; Lobo-Arias, 2000). Deepening in phylogenetic studies, Enciso-Rodríguez *et al.* (2010) determined that Colombia is the main centre of diversity of lulo and the genetic diversity that exists enables for obtaining of new hybrids with superior characters in terms of yield, quality of fruit and resistance or tolerance to biotic and abiotic factors. Progress on initiatives such as SOL genomics network (<http://solgenomics.net/>) and the recent publication of the Tomato Genome Consortium 2012) will significantly advance the development of molecular markers and on the identification of functional genes that explain lulo responses to the agronomical management and the environment, as well as their use for genetic improvement.

Molecular studies have revealed significant polymorphisms and a larger genetic variability in inter-specific hybrids of *S. hirtum* * *S. quitoense* (Fory-Sánchez *et al.*, 2010; Enciso-Rodríguez *et al.*, 2010), regarding the parental materials, which highlights the need to increase the base genetics for breeding programs.

Despite numerous efforts to generate and systematize scientific knowledge on this crop, the offer of improved material is still limited, and currently there is only cultivar developed in Colombia, "La Selva" lulo. The process of creation of a broad-based genetic to support improvement

los materiales progenitores, lo cual destaca la necesidad de incrementar la base genética de lulo para programas de mejoramiento.

A pesar de numerosos esfuerzos por generar y sistematizar el conocimiento científico de este cultivo, la oferta de material mejorado es aún escasa, y actualmente solo se cuenta con un cultivar desarrollado en Colombia, el lulo "La Selva". El proceso de creación de una base genética amplia para apoyar los esfuerzos de mejoramiento, permitirá generar lulos para procesamiento agroindustrial, más allá de su consumo en fresco. En los programas de mejoramiento, es importante destacar los atributos de una planta de lulo ideal según Lobo-Arias (2000): ausencia de espinas, hábito de crecimiento erecto, alta tasa de amarre de frutos y baja actividad de las enzimas poligalacturonasa y polifenoloxidasas en las bayas. Adicionalmente, la planta requiere mayores estudios fisiológicos, bioquímicos, genéticos y de adaptabilidad (interacción genotipo-ambiente).

Requerimientos ambientales y manejo agronómico

La especie *Solanum quitoense* crece entre los 1 000 y los 2 500 m de altitud, en su mayoría intercalado con el café, aunque se desarrolla mejor entre los 1 200 y 1 600 m en Colombia (Muñoz-Belalcázar, 2011). Medina *et al.* (2009) señalaron que el lulo es una planta adaptada al bosque húmedo de montaña y que prospera bien en zonas cafetaleras bajo sombra. En México, el bosque mesófilo de montaña ocupa unos 8 800 km², lo que equivale a cerca de 0.5% del territorio nacional (González-Espinosa *et al.*, 2012), lo cual significa una gran extensión con potencial para su cultivo intercalado con cafetales que se desarrollan en estos ecosistemas de montaña.

El lulo es una especie de días cortos que exhibe su mejor desarrollo en sitios sombreados, cerca de corrientes de agua, a temperaturas de 15 a 24 °C, con un óptimo de 20 °C. Para su mejor desarrollo requiere suelos ligeramente ácidos (pH entre 5.5 y 6.0), húmedos, profundos y con buen drenaje; así como sitios con precipitaciones entre 2 000 y 3 000 mm al año (Fundación Codesarrollo, 2006). En general, los materiales criollos como "Castilla" son más exigentes en cuanto a condiciones de suelo y clima que el híbrido "La Selva", el cual se adapta mejor a ambientes restrictivos.

Una vez seleccionado el sitio para el establecimiento del lulo a escala comercial, será necesario identificar el genotipo que mejor se adapte a las condiciones ambientales de la región. En el caso del híbrido "La Selva", en Colombia existen

efforts, will allow generating lulos for agro-industrial processing, besides its fresh consumption. In breeding programs, it is important to emphasize the attributes of a plant of lulo according to Lobo-Arias (2000): absence of thorns, erect growth habit, high rate of mooring of fruits and low activity of the enzyme polygalacturonase and polyphenoloxidase in berries. In addition, the plant requires major studies on physiological, biochemical, genetic and adaptability (interaction genotype).

Environmental requirements and agronomic management

Solanum quitoense grows between 1 000 and 2 500 m of elevation, mostly interspersed with coffee, although it develops best between 1 200 and 1 600 m in Colombia (Muñoz-Belalcázar, 2011). Medina *et al.* (2009) pointed out that lulo is a plant adapted to humid mountain forest and thrives well in coffee-growing areas under the shadow. In Mexico, the mountain cloud forest occupies about 8 800 km², which is equivalent to about 0.5% of the national territory (González-Espinosa *et al.*, 2012), which means a large area with potential for cultivation interspersed with coffee plantations that are developed in these mountain ecosystems.

Lulo is a short-day species that exhibits its best development in shaded places, near running water, at temperatures from 15 °C to 24 °C, with an optimum 20 °C. For its better development it requires slightly acidic soils (pH between 5.5 and 6.0), moist, deep and well drained, as well as sites with rainfall between 2 000 and 3 000 mm per year (Fundación Codesarrollo, 2006). In general, native materials as "Castilla" are more demanding in terms of soil and climate conditions than the hybrid "La Selva", which is better suited to restrictive environments.

Once the site for the establishment of commercial scale for lulo is selected, it will be necessary to identify the genotype which best fits the environmental conditions of the region. In the case of the "La Selva" hybrid, in Colombia there are at least two companies, laboratories AM of C. In Medellín, and the "Fundación Universitaria Santa Rosa de Cabal" (UNISARC), which provide quality seedlings cultivated through the technique of plant tissue culture.

Native materials that have not been systematically improved grow normally under some level of shade in natural conditions of Colombia and Ecuador. The hybrid "La Selva" can be grown to free exposure and lower height than native

por lo menos dos compañías, Laboratorios AM de C. en Medellín, y la Fundación Universitaria Santa Rosa de Cabal (UNISARC), que proveen plántulas de calidad cultivadas a través de la técnica de cultivo de tejidos vegetales.

Los materiales nativos que no han sido mejorados sistemáticamente, crecen normalmente bajo cierto nivel de sombra en condiciones naturales de Colombia y Ecuador. El híbrido "La Selva" se puede cultivar a libre exposición y a menor altura que el lulo criollo denominado "Castilla" y los rendimientos del primero son más altos que los obtenidos con este último, por ser resistente a nematodos. En cultivos comerciales se recomienda solamente la siembra de clones del híbrido "La Selva" (*Solanum quitoense* x *S. hirtum*) (Muñoz-Belalcázar, 2011), para lo cual se requieren plantas propagadas *in vitro*.

Debido a que este híbrido requiere sombra parcial, se recomienda su intercalado en los cafetales, aprovechando las calles, después de que se hace la renovación del cafetal. En este caso, al intercalar ambas especies (café y lulo) se puede utilizar un sistema en marco real (3 * 3 m), con una densidad de 1 111 plantas por ha; cuando se establece como monocultivo, se utilizan distancias de siembra de 2.5 x 3 m para una densidad de 1 333 plantas por ha (Muñoz-Belalcázar, 2011).

Uno de los estudios o reportes más completos sobre la descripción de plagas y enfermedades de este cultivo y su control fue publicado por Tamayo (2001), para el caso de Colombia. Posteriormente, García-Lozano *et al.* (2008) revisaron las condiciones fitosanitarias del cultivo para el Departamento del Huila y destacaron como las plagas más comunes a los gusanos perforadores del fruto, los picudos de la flor, los ácaros y los nematodos.

De acuerdo con Carreño *et al.* (2007), los problemas fitosanitarios más limitantes en la producción de lulo son la antracnosis del fruto, ocasionada por *Colletotrichum gloeosporioides*, los nematodos del nudo radical (*Meloidogyne javanica* y *M. incognita*) y la pudrición blanca, ocasionada por *Sclerotinia sclerotiorum*. También se han reportado enfermedades asociadas a *Phytophthora infestans*, *Fusarium oxysporum* y *Ralstonia solanacearum*. Tamayo *et al.* (2001) describieron detalladamente los principales agentes causantes de enfermedades en este cultivo y señalaron que su control se realiza mediante la aplicación de productos químicos, control biológico de agentes transmisores y prácticas agronómicas adecuadas.

lulo named "Castilla" and the first yields are higher than those obtained with the latter, being resistant to nematodes. In commercial crops is recommended only the planting of clones of hybrid "La Selva" (*Solanum quitoense* x *S. hirtum*) (Muñoz-Belalcázar, 2011), for which plants propagated *in vitro* are required.

Since the hybrid require partial shade, planting with coffee recommended, taking advantage of the streets, once the renovation of the coffee plantation is made. In this case, to the interlayer of both species (coffee and lulo) a system can be used in real frame (3 * 3 m), with a density of 1 111 plants by ha; When set as a monoculture, using 2.5 x 3 m planting distances for a density of 1 333 plants per has (Muñoz-Belalcázar, 2011).

One of the more complete reports on the description of pests and diseases of this crop and its control was published by Tamayo (2001), for the case of Colombia. Later, García-Lozano *et al.* (2008) reviewed the phytosanitary conditions of cultivation for the Department of Huila and stood out as the most common pests: piercing worms of the fruit, flower weevils, mites and nematodes.

According to Carreño *et al.* (2007), the most affecting phytosanitary problems are the fruit anthracnose, caused by *Colletotrichum gloeosporioides*, radical knot nematodes (*Meloidogyne javanica* and *M. incognita*) and rot, caused by *Sclerotinia sclerotiorum*. Associated diseases have also been reported to *Phytophthora infestans*, *Fusarium oxysporum* and *Ralstonia solanacearum*. Tamayo *et al.* (2001) described in detail the main agents causing diseases in this crop and noted that its control is carried out through the application of chemicals, biological control agents transmitting and appropriate agronomic practices.

However, where growing conditions are conducive to the development of certain pathogens, it is necessary the work of selection of resistant varieties. For example, "La Selva" hybrid shows resistance to root nematodes and it continues to work to develop clones with resistance to *Phytophthora infestans*, *Fusarium oxysporum* and nematodes (Montes-Rojas *et al.*, 2010).

A way to produce plants free of pathogens and genetic purity is through *in vitro* cultivation. In this regard, several recent studies have shown the feasibility of lulo spread using this technique (Medina-Rivas *et al.*, 2008; Andrade-Díaz *et al.*, 2013; Martín *et al.*, 2013).

No obstante, donde las condiciones de cultivo son propicias para el desarrollo de ciertos patógenos, se hace necesario el trabajo de selección de variedades resistentes. Por ejemplo, el híbrido "La Selva" muestra resistencia a los nematodos de la raíz y se continúa trabajando en desarrollar clones con resistencia a *Phytophthora infestans*, *Fusarium oxysporum* y nematodos (Montes-Rojas *et al.*, 2010).

Una manera de producir plantas con pureza genética y libres de patógenos es el cultivo *in vitro* de tejidos vegetales. En este aspecto, varias investigaciones recientes han mostrado la factibilidad de propagar lulo usando esta técnica (Medina-Rivas *et al.*, 2008; Andrade-Díaz *et al.*, 2013; Martín *et al.*, 2013).

Dentro de los factores abióticos que afectan este cultivo se pueden citar las heladas, las granizadas y las sequías (Muñoz-Balalcazar, 2011). La humedad frecuente y las bajas temperaturas invernales pueden ocasionar cuarteaduras de frutos, en tanto que la sequía prolongada afecta considerablemente la fotosíntesis y el amarre de frutos.

Una vez que se tienen las semillas germinadas y plántulas que crecen en camas o contenedores bajo condiciones controladas, se recomienda inocularlas con micorrizas. Casierra-Posada *et al.* (2013) reportaron que las plantas de lulo inoculadas con *Glomus* sp. o *Scutellospora heterogama* crecieron 55% más que aquellas sin inocular y los hongos micorrízicos permitieron que las plantas toleraran el estrés, ocasionado por la luz solar directa, de manera más exitosa que las plantas sin inocular.

Para ofrecer recomendaciones sobre fertilización química u orgánica a este cultivo, es necesario estudiar la fertilidad de los suelos donde se pretende establecer la plantación de lulo, así como la dinámica de necesidad de nutrientes a través de las diferentes etapas fenológicas del cultivo, aspectos que no son del todo conocidos ni en México ni en Colombia. Sin embargo, se sabe que el lulo responde bien a la aplicación de fertilizantes orgánicos y químicos. Por ejemplo, de acuerdo con Ramírez y Duque (2010), el lulo "La Selva" muestra rendimientos superiores con la aplicación de compostas de gallinaza, en tanto que las aplicaciones de lombricomposta de residuos vegetales y de pulpa de café mostraron efectos similares a la aplicación de fertilizantes químicos (10-30-10) y superiores al tratamiento testigo sin aplicación de fertilizante ni abono.

Frost, hailstorms and drought (Muñoz-Balalcazar, 2011) can be cited within the abiotic factors that affect this crop. Frequent humidity and low winter temperatures can cause cracks of fruits, while prolonged drought significantly affect photosynthesis and the mooring of fruits.

Once they have germinated and the seedlings are growing in beds or containers under controlled conditions, it is recommended to inoculate them with mycorrhizal fungi. Ysabel-Posada *et al.* (2013) reported that lulo plants inoculated with *Glomus* sp. or *Scutellospora heterogama* grew 55% more than those without inoculation and mycorrhizal fungi allowed plants to tolerate the stress, caused by direct sunlight, in a way more successful than non-inoculated plants.

In order to offer recommendations on chemical or organic fertilization for this crop, it is necessary to study the fertility of the soils where intended to establish lulo plantation, as well as the dynamics of need of nutrients through the different phenological stages of the crop, aspects that are not entirely known either in Mexico or in Colombia. However, it is known if lulo responds well to organic and chemical fertilizer application. For example, according to Ramírez and Duque (2010), "La Selva" shows superior returns with the application of compost of chicken manure, while applications of worms of vegetable waste with coffee pulp showed effects similar to the application of chemical fertilizers (10-30-10) and higher than the control's treatment without application of fertilizer or manure.

In this study the lulo "La Selva" grew in a soil derived from volcanic ash, well drained and high fertility, in the coffee-growing zone of Colombia. In a recent study, Gómez-Merino *et al.* (2013) showed that lulo seeds can germinate and produce healthy seedlings in relations of peat: compost between 1.50 and 0.66, which corresponds to 40-60% of compost in the substrate, without the application of chemical fertilizers.

Although there is no general fertilization protocols, as these should be based on studies of soil nutrient availability and the needs of the plant, the Codesarrollo Foundation (2006) proposed that for the Department of Risaralda, Colombia, soil fertilization must be made every month until the fifth month. From the latter and until 18 after sowing, fertilization is made every 45 days, based on the following plan: the

En ese estudio las plantas de lulo “La Selva” crecieron en un suelo derivado de cenizas volcánicas, bien drenado y de alta fertilidad, en la zona cafetalera de Colombia. En un estudio reciente, Gómez-Merino *et al.* (2013) demostraron que las semillas de lulo pueden germinar y producir plántulas sanas en relaciones de turba:composta entre 1.50 y 0.66, lo que corresponde a 40 y 60% de composta en el sustrato, sin la aplicación de fertilizantes químicos.

Si bien no existen protocolos de fertilización generales, pues éstos deben fundamentarse en estudios de disponibilidad nutrimental del suelo y en las necesidades de la planta, la Fundación Codesarrollo (2006) propuso que para el Departamento de Risaralda, Colombia, las fertilizaciones edáficas se deben hacer cada mes hasta el mes quinto. A partir de éste último y hasta el mes 18 después de la siembra, las fertilizaciones se hacen cada 45 días, con base en el siguiente plan: la primera fertilización debe hacerse al momento de la siembra, con la aplicación de 1 kg de gallinaza más 200 g de una mezcla fertilizante que contenga fosfato (P_2O_5) 5%; carbonato de calcio ($CaCO_3$) 55%; y carbonato de magnesio ($MgCO_3$) 26%, para plantas previamente micorrizadas.

Al mes se hace una aplicación de fosfato diamónico (DAP) más elementos menores en proporción 25:1, en dosis de 20 a 30 g planta⁻¹; al segundo mes se aplica la misma mezcla en dosis de 60 g planta⁻¹; al tercer mes se aplican 80 g de la fórmula 10-30-10 planta⁻¹; al cuarto mes se aplican 100 g de 17-6-18 planta⁻¹ y después del quinto mes se aplican 150 g de la fórmula 17-6-0 en plantaciones asociadas con café.

Desde la siembra y durante el desarrollo del cultivo es necesario hacer labores culturales que incluyan el control de vegetación no deseada, de insectos plaga y de agentes causantes de enfermedades de acuerdo con protocolos descritos por Quinchia y Cabrera (2006), Tamayo (2001) y García-Lozano *et al.* (2008).

Para la cosecha de lulo “La Selva”, la producción inicia a los ocho meses después de la siembra y el periodo de floración a la cosecha es de cinco a seis meses, considerando el clima de la zona. En este híbrido, la mayor cantidad de fruta pesa entre 40 y 45 g. Para la agroindustria, el fruto se debe cosechar cuando éste alcance 75% de su madurez, esto es, cuando la mayor parte de su epicarpo sea color amarillo y alcance 9 °Brix.

La recolección de frutos debe realizarse manualmente, desprendiendo la fruta, cortando el pedúnculo, y dejando el cáliz, esto para mantener la fruta hidratada y evitar la

first fertilization must be at the time of planting, with the application of 1 kg of chicken manure more 200 g of a fertilizer mix containing phosphate (P_2O_5) 5%; calcium carbonate ($CaCO_3$) 55%; and magnesium carbonate ($MgCO_3$) 26%, for previously mycorrhizal plants.

Once a month an application of phosphate diammonium (DAP) is made with more elements in proportion 25:1, at doses of 20 to 30 g per plant; in the second month the same mixture is applied in doses of 60 g per plant; the third month apply 80 g of the formula 10-30-10 per plant; the fourth month apply 100 g 17-6-18 per plant and after the fifth month apply 150 g of formula 17-6-0 in associated with coffee plantations.

From planting and during crop development is necessary to make cultural activities that include the control of undesirable vegetation, insects pest and disease causing agents in accordance with protocol described by Quinchía and Cabrera, (2006), Tamayo (2001), García-Lozano *et al.* (2008).

For the harvest of Lulo "La Selva", the production starts eight months after sowing, and the flowering period is five to six months, considering the climate of the area. In this hybrid, most of the fruits weighs between 40 and 45 g. For agribusiness, the fruit must be harvested when it reaches 75% of its maturity, that is, when most of the epicarp is yellow and reach 9 °Brix.

The recollection of fruits must be made manually, releasing the fruit, cutting off the stalk, and leaving the calyx, this for keeping it hydrated and prevent the entry of infectious agents that can cause illness. The fruits must be placed gently in the tank and carefully take the collection site. In order to avoid contamination, the diseased fruit should be discarded and buried in a special pit outside the agricultural land. Once harvested the fruit, is cleaned with light and gentle manual movements in sacks, 20 to 30 fruits per sack. Since we've got the cleaned fruits, these are packaged in plastic baskets between 10 and 20 kg capacity and are transported to the place of delivery. It is evident that in these stages is necessary the development of technology to automate the processes of harvesting, cleaning and packaging.

Colombian quality standards number 1 265 and 5 094 describe the most relevant aspects regarding the product, the packaging and labelling, and establish the minimum requirements to be fulfilled for each of them.

entrada de agentes infecciosos que puedan causar alguna enfermedad al fruto. Los frutos se deben depositar suavemente en el recipiente de recolección y se llevan con cuidado al sitio de acopio. A fin de evitar contaminaciones, los frutos enfermos deben ser desechados y enterrados en una fosa especial fuera de los terrenos de cultivo. Una vez cosechada la fruta, se procede a su limpieza con movimientos manuales ligeros y suaves en costales, 20 a 30 frutos por costal. Ya que se tienen los frutos limpios, éstos se empaquetan en canastillas plásticas de entre 10 y 20 kg de capacidad y se transportan al sitio de entrega. Es evidente que en estas etapas es necesario el desarrollo de tecnología para automatizar los procesos de cosecha, limpieza y empaque.

Las normas de calidad colombianas número 1 265 y 5 094 describen los aspectos más relevantes respecto al producto, los empaques y el rotulado, y se establecen los requisitos mínimos que deben cumplir para cada uno de ellos.

De estos datos se desprende que el cultivo de lulo en México es posible, dado que buena parte de la zona montañosa donde se cultiva café por arriba de los 1 000 msnm, presenta características deseables en cuanto a altitud, suelo y clima. Sin embargo, aún es necesario estudiar el potencial de cada región montañosa y cafetalera para determinar aquellas que tienen mayor posibilidad de éxito para el cultivo del lulo.

Propiedades nutraceuticas del fruto

El fruto de lulo posee altos contenidos de vitamina C y de hierro, que le confieren propiedades diuréticas y tonificantes. Es un solvente de toxinas del organismo y facilita la eliminación de ácido úrico (Muñoz-Balcazar, 2011). En el Cuadro 1 se detallan algunas de las características químicas y alimenticias del lulo.

Principales productores de lulo

La principal producción del lulo en Colombia se destina a su consumo en fresco, y su mercado en los Estados Unidos muestra grandes posibilidades de crecimiento. Asimismo, el lulo se perfila dentro de los cultivos con mayor potencial para aportar a la seguridad alimentaria; además de representar una actividad generadora de empleo y de ingresos (FAO, 2001). Colombia y Ecuador son los principales productores, pero también se cultiva en Venezuela, Perú, Panamá, Costa Rica y Guatemala. En Colombia, el lulo está ganando importancia en el sector industrial para la fabricación de jugos, yogurt, saborizantes, refrescos y alimentos procesados (Medina *et al.*, 2009; Muñoz-Balcazar, 2011).

These data indicate that the cultivation of lulo in Mexico is possible, given that much of the mountainous area where they cultivate coffee above the 1 000 metres above sea level, presents desirable characteristics in terms of elevation, soil and climate. However, it is still necessary to study the potential of each coffee and mountainous region to determine those who have better chance of success for the cultivation of lulo.

Nutraceutical properties of the fruit

The fruit of lulo has high concentration of vitamin C and iron, which gives it diuretic and toning properties. It is a solvent of toxins from the body and facilitates the elimination of uric acid (Muñoz-Balcazar, 2011). The Table 1 describe some of the chemical and nutritional characteristics of lulo.

Cuadro 1. Composición química y valor alimenticio del lulo “Castilla” y “La Selva”. Cantidades encontradas por cada 100 g de porción comestible del fruto de lulo en base fresca (BF).

Table 1. Chemical composition and nutritional value of the “Castilla” and “La Selva”. Amounts found in fresh base (BF) per 100 g of edible portion of the fruit lulo.

Componente	Lulo “Castilla”	Lulo “La Selva”
Agua (%)	87	88
Calorías (%)	23	23
Cenizas (%)	0.95	0.82
Proteínas (%)	0.74	0.68
Fibras (%)	2.6	2.6
Grasas (%)	0.17	0.16
Carbohidratos (%)	5.7	5.7
Calcio (mg 100 g ⁻¹ BF)	34.2	48.3
Hierro (mg 100 g ⁻¹ BF)	1.19	0.87
Fósforo (mg 100 g ⁻¹ BF)	13.5	25.1
Vitamina C (mg 100 g ⁻¹ BF)	29.4	30.8
Vitamina A (mg 100 g ⁻¹ BF)	70 (600 UI)	70 (600 UI)

Franco *et al.* (2002); FAO (2006).

Leading producers of lulo

The main production of the lulo in Colombia is intended for fresh consumption, and its market in the United States shows great potential for growth. In addition, lulo looms within crops with greater potential to contribute to food security; In addition to representing an activity generating employment and income (FAO, 2001). Colombia and Ecuador are the main producers, but it is also cultivated

Para el año 2011, el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2011) de Colombia reportó un área sembrada con lulo de 5 469 ha en Colombia, distribuidas principalmente en zonas cafetaleras. Los principales departamentos productores son Huila, Valle del Cauca, Nariño, Tolima y Boyacá, los cuales en conjunto representan cerca de 62% del área total cultivada con Lulo, con una producción total de 21 225 t de frutos y un rendimiento promedio de 9.2 t ha⁻¹, por debajo del promedio potencial de producción que es cercano a las 30 t ha⁻¹. Se calcula que una planta sana logra producir entre 100 a 150 frutos por año; con un rendimiento promedio anual de 135 frutos por planta, cada planta estaría produciendo 9 kg de frutos, lo que se traduce en 27.2 t ha⁻¹. En general, los lulos criollos de "Castilla" pueden alcanzar las 9 t ha⁻¹ al año, en tanto que el promedio nacional colombiano es de 16 t ha⁻¹ al año para lulo "La Selva" (Ríos-Gallego *et al.*, 2004).

Necesidades de investigación e innovación

Actualmente el cultivo del lulo en países productores como Colombia y Ecuador presenta múltiples problemas que limitan su productividad y competitividad, ya que de un potencial calculado de aproximadamente 30 t ha⁻¹, solamente se obtiene un promedio de entre 7 y 9 t ha⁻¹; esta condición ha llevado al abandono progresivo del cultivo, con la consecuente pérdida de fuentes de empleo, reducción de ingresos económicos y agravamiento del nivel de vida de los productores. Las limitantes de carácter técnico tienen que ver con el manejo agronómico en general, esto es, la selección de materiales mejorados, el control de plagas y enfermedades, y el manejo de la nutrición de las plantas, las cuales se realizan sin un soporte de procesos sistemáticos de investigación y con un conocimiento escaso del funcionamiento fisiológico y ecofisiológico de la planta (Gómez *et al.*, 2005), aspecto fundamental para la gestión integral de la función productiva. Al contemplarse el establecimiento de este cultivo en México, el primer paso será delimitar las zonas con mayor potencial para su cultivo. En principio se podrían considerar los bosques de niebla y las zonas cafetaleras ubicadas en altitudes superiores de los 1 000 m, como zonas propicias para el cultivo de lulo. Las herramientas geomáticas y los datos meteorológicos que poseen diversas instituciones del país podrían ser de gran utilidad en el logro de este cometido.

En el ámbito de producción de plántulas, es necesario explorar sustratos orgánicos disponibles en las zonas potenciales de producción de lulo para evaluar su impacto y uso (Gómez-Merino *et al.*, 2013). De las investigaciones revisadas, también se detecta la necesidad de generar patrones para

in Venezuela, Peru, Panama, Costa Rica and Guatemala. In Colombia, lulo is gaining importance in the industrial sector for the manufacture of juices, yogurt, flavourings, sodas and processed foods (Medina *et al.*, 2009; Muñoz - Balacazar, 2011).

For 2011, the National Administrative Department of Statistics (DANE, 2011) of Colombia reported an area sown with lulo from 5 469 has in Colombia, mainly distributed in coffee-growing areas. The main producing departments are Huila, Valle del Cauca, Nariño, Tolima, and Boyacá, which altogether represent about 62% of the total area cultivated with Lulo, with a total production of 21 225 t of fruits and a yield average of 9.2 t ha⁻¹, below average potential output which is close to the 30 t ha⁻¹. It is estimated that a healthy plant can produce between 100 to 150 fruits per year; with an average annual yield of 135 fruits per plant, each plant would be producing 9 kg of fruits, which translates in 27.2 t ha⁻¹. In general, native lulos of "Castile" can reach 9 t ha⁻¹ per year, while the Colombian national average is 16 t ha⁻¹ a year for "La Selva" (Ríos-Gallego *et al.*, 2004).

Research and innovation needs

Currently, the cultivation of lulo in countries such as Colombia and Ecuador has multiple problems that limit their productivity and competitiveness, since an estimated potential of approximately 30 t ha⁻¹, only gets an average of between 7 and 9 t ha⁻¹; this condition has led to the progressive abandonment of the crop, with the consequent loss of sources of employment, reduction in income and deterioration of the standard of living of the producers. The constraints of a technical nature is related with the agronomical management in general, that is, the selection of improved materials, the control of pests and diseases, and the management of the nutrition of the plants, which are made without a support of systematic research processes and a poor physiological and eco-physiologic knowledge (Gómez *et al.*, 2005), essential for the integral management of the production. Contemplating the establishment of this crop in Mexico, demands that the first step is to delimit the areas with the greatest potential for cultivation. At first, we could considered the cloud forests and coffee-growing areas located at elevations of 1 000 m, as favourable areas for the cultivation of lulo. The geomatic tools and meteorological data which possess different institutions in the country could be useful in achieving this task.

injertos, protocolos de propagación de injertos, métodos para el enraizamiento de patrones, entre otros. Tanto en plántulas provenientes de semillas, como de explantes cultivados *in vitro* y patrones crecidos en invernadero, un foco de atención importante lo deben ocupar los biofertilizantes. Dado que esta especie es micorrizada por diferentes hongos simbioses y tiene respuestas significativas a este tipo de inoculantes, las investigaciones para la identificación de hongos micorrízicos específicos para este cultivo es una necesidad apremiante.

En cuanto a plagas, enfermedades y factores abióticos del ambiente, es necesario que dentro de los programas de mejoramiento genético se contemplen fases para pruebas de resistencia a insectos plaga y agentes causantes de enfermedades. Para el caso de México, cuya producción agrícola total podría caer en más de 25% hacia 2080 como efecto del cambio climático (Moyer, 2010), si no se toman las medidas pertinentes, el desarrollo de materiales mejorados tolerantes a sequías, bajas temperaturas y heladas también debe contemplarse en el corto y mediano plazo.

En aspectos de mejoramiento genético, será necesario desarrollar mayores tecnologías y protocolos moleculares. La secuenciación completa del genoma del tomate en 2012 da ya una excelente referencia.

Respecto al tema organizacional, para el caso de México es necesario focalizar esfuerzos hacia la conformación de figuras asociativas capaces de desarrollar planes estratégicos específicos a corto, mediano y largo plazo. Para ello, varias secretarías de estado ofrecen apoyo técnico, logístico y financiero.

El aspecto gerencial de todo proyecto tendiente a incrementar la producción de lulo debe contemplar creatividad, anticipación y vigilancia, en un ámbito de innovación integral de la cadena de valor.

Conclusiones

La presente revisión destaca los aspectos básicos sobre el cultivo del lulo, como un elemento que contribuya a la diversificación del paisaje agroecosistémico mexicano, además de ser una alternativa viable para la producción agrícola nacional. A este respecto, las condiciones donde se cultiva el café en México, principalmente en sitios templados

In the field of seedlings production it is necessary to explore organic substrates available in the potential production of lulo to assess their impact and use (Gómez-Merino *et al.*, 2013). Consulted research also detected the need for generating patterns for grafts, protocols of propagation of grafting, methods for rooting of patterns, among others. Both in seedlings from seeds, and cultured explants *in vitro* and patterns grown in greenhouse, an important attention should be put on bio-fertilizers. Since this species is infected by different fungal symbionts and have significant responses to this type of inoculant, investigations for the identification of specific mycorrhizal for this crop are a pressing need.

Regarding pests, diseases and abiotic factors of the environment it is necessary that in genetic improvement programs contemplated phases for testing resistance to insect pest and disease causing agents. In the case of Mexico, whose total agricultural production could fall by more than 25 percent to 2080 as climate change effect (Moyer, 2010), if appropriate measures are not taken the development of tolerant to drought, low temperatures and frost improved materials also should be viewed in the short and medium term.

Regarding aspects of genetic improvement, it will be necessary to develop major technologies and molecular protocols. The complete sequencing of the genome of tomato in 2012 already gives an excellent reference.

On the organizational issue, in the case of Mexico, it is necessary to focus efforts towards the formation of associative figures able to develop specific strategic plans in the short, medium and long term. To this end, several Secretaries of State provide technical, logistical and financial support.

The managerial aspect of any project looking to increase the production of lulo, should consider creativity, anticipation and surveillance, in a field of comprehensive innovation of value chain.

Conclusions

The present review, highlights the basics on the cultivation of the lulo, as an element that contributes to the diversification of the landscape in the Mexican agro-ecosystem, as well as being a viable alternative to the national agricultural

donde la vegetación nativa es el bosque mesófilo de montaña o bosque de niebla, constituyen territorios ideales para el cultivo de esta especie. Por otra parte, y dada la importancia gastronómica de México en el contexto internacional, el fruto que produce esta planta puede servir como elemento para enriquecer y diversificar rutas gastronómicas y como parte de actividades recreativas del turismo alternativo a través del senderismo. Para contribuir a un desarrollo exitoso de esta cadena de valor en nuestro país, es necesario revisar las necesidades de investigación para desarrollar innovaciones tecnológicas, organizacionales, comerciales y gerenciales. En específico, estudios sobre mejoramiento genético, adaptabilidad, manejo agronómico, nutrición del cultivo, agregación de valor, organización de productores y comercialización local y global son temas cruciales para desarrollar la cadena de valor del lulo en México.

production. In this respect, the conditions where the coffee is grown, mainly in mild places where native vegetation is the mountain cloud forest or fog-forest, constitute the ideal territory for the cultivation of this species. On the other hand, and given the gastronomic importance of Mexico in the international context, the fruit produced by this plant can serve as an element to enrich and diversify gastronomic tours and as part of recreational activities of the alternative tourism through hiking. For contributing to the successful development of this value chain in our country it is necessary to revise the research needed to develop the technological, organizational, commercial and managerial innovations for this particular case. In particular, studies on genetic improvement, adaptability, agronomic management, crop nutrition, adding value, organization of producers and local and global marketing are crucial issues to develop the lulo value chain in Mexico.

End of the English version



- Andrade-Díaz, D.; Córdoba-Figueroa, M. E.; Criollo-Escobar, H. y Lagos-Burbano, T. C. 2013. Evaluación de medios de cultivo para propagación *in vitro* de semillas y explantes de especies silvestres de *Solanum*. *Acta Agron.* 62:27-36.
- Angulo, R. 2008. El cultivo de lulo. Colciencias, Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia. 100 p.
- Benítez, C. E. y Lastres-Méndez, M. D. 2009. Un nuevo registro de *Solanum* sección *Lasiocarpa* (Solanaceae) para Venezuela. *An. Bot. Agr.* 14:22-24.
- Bernal, J.; Lobo, M. y Londoño, M. 1998. Presentación de material "Lulo La Selva". Corpoica, Rionegro Antioquia, Colombia. 77 p.
- Carreño, N.; Vargas, A.; Bernal, A. J. y Restrepo, S. 2007. Problemas fitopatológicos en especies de la familia Solanaceae causados por los géneros *Phytophthora*, *Alternaria* y *Ralstonia* en Colombia. Una revisión. *Agron. Colombiana* 25:320-329.
- Casierra-Posada, F.; Peña-Olmos, J.; Peñaloza, J. y Roveda, G. 2013. Influencia de la sombra y de las micorrizas sobre el crecimiento de plantas de lulo (*Solanum quitoense* Lam.). *Rev. U. D. A. C. Act. Div. Cient.* 16:61-70.
- Corpoica- Sena y Comitecafe Risaralda. 1999. El cultivo del lulo: recopilación de los módulos técnicos de Corpoica Regional 9. Manizales, Colombia.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). 2011. Dirección de Metodología y Producción Estadística. Resultados Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) 2011. 181 p. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/ena/doc_anexos_ena_2011.pdf
- Denis, F.; Herner, R. and Camacho S. 1985. Naranjilla: a potential cash crop for the small farmer in Latinoamerica. *Acta Hort.* 158:475-481.
- Enciso-Rodríguez, F.; Martínez, R.; Lobo-Arias, M. and Stella-Barrero, L. 2010. Genetic variation in the Solanaceae fruit bearing species lulo and tree tomato revealed by Conserved Ortholog (COSII) markers. *Gen. Mol. Biol.* 33:271-278.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2001. Tratado Internacional de Recursos Fitogenéticos para Alimentación y Agricultura. Roma, Italia. 250 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2006. Fichas técnicas de productos frescos y procesados. Frutas. Lulo (*Solanum quitoense*). Roma. Italia. http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/ae620s/pfrescos/lulo.htm.
- Fory-Sánchez, P.; Sánchez-Mosquera, I.; Bohórquez-Chàux, A.; Ramírez, H.; Medina-Cano, C. I.; and Lobo-Arias, M. 2010. Genetic variability of a Colombian collection of Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) and related species of section *Lasiocarpa*. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín* 63:5465-5476.
- Franco, G.; Bernal, J.; Giraldo, M.; Tamayo, A.; Gallego, L.; Botero, J.; Rodríguez, E.; Guevara, J.; Morales, E.; Londoño, L.; Ríos, G.; Rodríguez, L.; Cardona, H.; Zuleta, J.; Castaño, J. y Ramírez, C. 2002. El cultivo del lulo. Asohofrucol. Corpoica. Manizales, Colombia. 67 p.
- Fundación Codesarrollo. 2006. Alianza productiva de Lulo en los municipios de Dosquebradas y Santa Rosa en el Departamento de Risaralda, Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. República de Colombia. Bogotá, Colombia. 172 p.
- García-Lozano, J.; Floriano, J. A.; Vera, L. F. y Segura, J. D. 2008. Enfermedades y plagas del cultivo de lulo (*Solanum quitoense*) en el Departamento del Huila. Corpoica. Bogotá, Colombia. 31 p.
- Gómez, C.; Franco, G. y Gallego, J. L. 2005. Análisis del crecimiento de lulo "La Selva" (*Solanum quitoense*) en condiciones del Departamento de Caldas. *Rev. Comalfi.* 32:43-51.
- Gómez-Merino, F. C.; Trejo-Téllez, L. I.; García-Albarado, J. C. y Morales-Ramos, V. 2013. Lulo (*Solanum quitoense* Lamarck.) como nuevo elemento del paisaje en México: germinación y crecimiento en sustratos orgánicos. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5:877-887.

- Gómez, L.; Miranda, D.; Barragán, E.; Rivera, J.; Ramírez, L.; Caicedo, G.; Sánchez, M.; Mendoza, L. e Ibarra, I. 1999. Manejo integrado del cultivo de lulo. Corpoica. Bogotá, Colombia.
- González-Espinosa, M.; Meave, J. A.; Ramírez-Marcial, N.; Toledo-Aceves, T.; Lorea-Hernández, F. G. y Ibarra-Manríquez, G. 2012. Los bosques de niebla de México: conservación y restauración de su componente arbóreo. *Ecosistemas* 21:36-52.
- Heiser, C. B. 2000. The naranjilla *Solanum quitoense* and relatives after 38 years. *Plants and people. Soc. Econ. Bot. Newslet.* 14:4-5.
- Lobo-Arias, M. y Medina, C. 2000. *Solanum quitoense* Lam. In: caracterización de frutas nativas da América Latina. Edição comemorativa do 30 Aniversario da Sociedade Brasileira de Fruticultura Funep. 41-43 pp.
- Lobo-Arias, M. 2000. Papel de la variabilidad genética en el desarrollo de los frutales andinos como alternativa productiva. In: memorias del III seminario de frutales de clima frío moderado. Manizales, Colombia. 1-13 pp.
- Lobo-Arias, M.; Medina-Cano, C. I.; Delgado-Paz, O. A. y Bermeo-Giraldo, A. 2007. Variabilidad morfológica de la colección colombiana de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) y especies relacionadas de la sección Lasiocarpa. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 60:3939-3964.
- Lobo-Arias, M. 2007. Recursos genéticos y mejoramiento de frutales andinos: una visión conceptual. Corpoica. Cienc. Tecnol. Agropecu. 7:40-54.
- Lobo-Arias, M.; Girard, E.; Jaramillo, J. y Jaramillo G. 1983. El cultivo del lulo o naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.). ICA-Infoma 17:10-20.
- Lobo-Arias, M.; Medina, C.; Delgado, O.; Zuluaga M. L.; Cardona, M. y Orosio, A. 2002. Recursos genéticos de frutales andinos en el sistema de bancos de germoplasma del estado colombiano. In: memorias del III seminario de frutales de clima frío moderado. Medellín, Colombia. 43-54 pp.
- Martín, G. D.; Cárdenas, G. O. y Cárdenas, C. A. 2013. Almidón de papa, agente gelificante alternativo en medios de cultivo para propagación *in vitro* de lulo *Solanum quitoense* Lam. *Rev. Cienc. Agríc.* 30:3-11.
- Medina, C. C. I.; Lobo, A. M. y Martínez, B. E. 2009. Revisión del estado del conocimiento sobre la función productiva del lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en Colombia. Corpoica Cien. Tecnol. Agrop. 10:167-179.
- Medina-Rivas, M. A.; Sepúlveda-Asprilla, N. I. y Murillo, M. V. 2008. Regeneración *in vitro* de plantas a partir de explantes foliares de lulo chocoano *Solanum sessiliflorum* Dunal vía organogénesis. *Inves. Biod. Des.* 27:92-95.
- Montes-Rojas, C.; Muñoz, L. A.; Terán-G., V. F.; Prado C., F. A. y Quiñónez, A. A. 2010. Evaluación de patógenos en clones de lulo (*Solanum quitoense* Lam.). *Acta Agron.* 59:144-154.
- Moyer, M. 2010. How much is left? A graphical accounting of the limits to what one planet can provide. *Scientific American-Environment.* 74-81 pp.
- Muñoz-Belalcázar, J. A. 2011. Análisis de la competitividad del sistema de producción de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en tres municipios de Nariño. Tesis de Magister en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 128 p. <http://www.bdigital.unal.edu.co/6333/1/790781.2011.pdf>.
- Quinchia, C. F. y Cabrera, C. A. 2006. Manual técnico del cultivo del Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en el departamento de Huila. Gobernación del Huila. Neiva, Huila. Colombia. 34 p.
- Ramírez, V. H. y Duque, N. N. 2010. Respuesta del lulo La Selva (*Solanum quitoense* Lam.) a la aplicación de fermentados aeróbicos tipo bocashi y fertilizante químico. *Acta Agron.* 59:155-161.
- Ríos-Gallego, G.; Romero-Carrascal, M.; Botero-Ospina, M. J.; Franco G.; Pérez-Cárdenas, J. C.; Morales-Muñoz, J. E.; Gallego-Duque, J. L. y Echeverry Agudelo, D. I. 2004. Zonificación, caracterización y tipificación de los sistemas de producción de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en el Eje Cafetero. *Rev. Corpoica* 5:23-30.
- Sahaza, D. y Henaó, M. 2001. Evaluación y caracterización morfológica del lulo (*Solanum quitoense* Lam.). Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. 57 p.
- Tafur, R. 2006. Propuesta frutícola para Colombia y su impacto en la actividad económica nacional, regional y departamental. In: memorias del I congreso Colombiano de Horticultura. Bogotá, Colombia. 47-66 pp.
- Tamayo, M. P. J. 2001. Principales enfermedades del tomate de árbol, la mora y el lulo en Colombia. Corpoica. Regional Cuatro. Rionegro, Antioquia, Colombia. 40 p.
- Tamayo, M. P. J.; Navarro, A. R. A. y de La Rotta, M. C. 2001. Enfermedades del cultivo del lulo en Colombia: guía de diagnóstico y control. Corpoica. Regional Cuatro. Rionegro, Antioquia, Colombia. 48 p.
- The Tomato Genome Consortium. 2012. The tomato genome sequence provides insights into fleshy fruit evolution. *Nature* 475: 635-641. Doi: 10.1038/nature11119.