

Vainillas colombianas y su microbiota. II. Diversidad, cultivo y microorganismos endófitos

Miguel Ángel Gamboa-Gaitán ✉

Colombian *Vanilla* and its microbiota. II. Diversity, culture and endophytic microorganisms

Abstract

Among orchids, *vanilla* is the only species that is an edible product. Its farming is being promoted in Colombia as an alternative to traditional crops, especially among small and medium farmers. Existing crops have a limited genetic base and are therefore susceptible to biotic stress, particularly those caused by viruses and fungi. Wild vanilla can be a source of variability that could help increase its gene pool and could also provide naturally associated endophyte microorganisms with antagonistic properties to fight pathogens of farmed vanilla. In this study we assessed the understanding of vanilla cultivation as well as the diversity of the genus *Vanilla* in Colombia. As a result of this first phase of research, we found twenty species of Colombian vanilla and 60 morphospecies of endophytic microorganisms. We discuss the relevance of these findings and their potential impact on promoting vanilla farming, and also discussed the use of these plants as a model group for basic research.

Keywords: *Vanilla planifolia*; endophytes; tropics; *Fusarium*; *Colletotrichum*; *Xylaria*; *Phomopsis*; vanilla farming.

Edited by Alberto Acosta ✉

Laboratorio de Biología Tropical, Departamento de Biología,
Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C., Colombia.

Received: 25-03-2014 Accepted: 02-05-2014

Published on line: 27-05-2014

Citation: Gamboa-Gaitán MA (2014) Vainillas colombianas y su microbiota. II. Diversidad, cultivo y microorganismos endófitos. *Universitas Scientiarum* 19(3): 287-300 doi: 10.11144/Javeriana.SC19-3.vcmd

Funding: Grupo de Orquídeas y Ecología Vegetal de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira; División de Investigaciones de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (DIB).

Electronic supplementary material: N/A

Introducción

La vainilla es una planta aromática que posee la particularidad de ser la única especie comestible de la familia *Orchidaceae* (Bythrow 2005). Su uso se remonta a los pueblos precolombinos, siendo los más probables usuarios primigenios los Mayas y la cultura de los Totonacos de México. Se ha estimado que la vainilla pudo estar sometida a selección humana ya hacia el 3400 aC (Bory et al. 2008d, Lubinsky et al. 2008a). Aparentemente los Totonacos la utilizaban como aromatizador de bebidas, uso que siguió dándole la cultura Mexicana, mejor conocidos como aztecas, quienes habían conquistado a los Totonacos para el momento en que los españoles llegaron a América. Los Mayas la denominaban “zizbic” y también la



usaban al menos desde el siglo XIV para tratar heridas y picaduras de la piel (Rain 2004). Entre los aztecas, la vainilla era denominada “tlilxochitl”, vocablo náhuatl que significa “flor negra”, haciendo probablemente alusión al color del fruto cuando está maduro y listo para ser consumido. Los españoles notaron que la realeza indígena consumía una bebida (Bory et al. 2008a), a la que agregaban ají, cacao y vainilla entre otras cosas. Dicha bebida era denominada “xocolātl” y, según la hipótesis más aceptada, se cree que es el ancestro del actual chocolate.

Posteriormente, tras la conquista del pueblo Azteca por los españoles al mando de Hernán Cortés, la vainilla fue introducida a Europa en la década de 1520-30. El nombre vainilla es de origen español y hace referencia a la forma del fruto, larga y delgada, que les recordaba las vainas de algunas plantas, pero por su mayor delgadez la llamaron en diminutivo “vainilla”. Es interesante anotar que, botánicamente, el fruto de las orquídeas es una cápsula y no una vaina, pero en varias descripciones taxonómicas del género en diferentes floras el fruto es siempre descrito como de tipo carnoso e incluso indehisciente: por ejemplo en la Flora de China (Sing-chi & Cribb 2009) y en la Flora de Norteamérica (Ackerman 2003). Probablemente se trata de una confusión ya que los frutos son recolectados cuando son verdes y succulentos, es decir, cuando parecen bayas porque están lejos de alcanzar su estado de madurez fisiológica.

Desafortunadamente, no existe en la literatura una caracterización morfoanatómica completa de los frutos de estas plantas, así que un seguimiento hasta el momento de la dehiscencia no ha sido reportado. El único trabajo conocido en anatomía de la vainilla es el de Odoux et al. (2003), en el que se muestra la organización interna del fruto en el momento que es recolectado para iniciar el curado, cuando es todavía verde, succulento y no presenta signos de dehiscencia. Sin embargo, dicho trabajo está dirigido a localizar la actividad glucosidasa y no a hacer un estudio morfoanatómico del fruto. Será necesario estudiar los cambios del ovario desde el momento de la fecundación hasta cuando las semillas están completamente maduras, para saber si son liberadas por suturas longitudinales tal como sucede en la mayoría de las cápsulas de las orquídeas o si son dispersadas de forma diferente.

Volviendo a la historia de la vainilla, es importante mencionar que siempre ha estado estrechamente ligada al chocolate pues, como se dijo, eran consumidas juntas. De hecho, estudios arqueológicos han encontrado plantas de cacao centroamericanas sobre las que crecen vainillas epífitas, en lo que parece ser un antiguo sitio Maya donde existía un bosque manejado, el cual se usaba como fuente de cacao y vainilla (Pain 2008). Una vez sacada de México, la vainilla pudo ser crecida en varios lugares tropicales e incluso en jardines europeos, pero no producía frutos ya que sus polinizadores naturales, que son varios tipos de abejas, incluyendo algunas meliponas, sólo existen en su ambiente nativo. Esto llevó a que durante muchos años México fuera prácticamente el único productor de la vainilla. De hecho, el primer registro de una plantación de vainilla aparece en 1767 en la región de Veracruz, donde los Totonacos iniciaron el cultivo de esta planta. Hacia 1819, los franceses la introdujeron en las islas Reunión y Mauricio con el propósito de cultivarla. En 1837, el botánico belga Charles F.A. Morren descubrió una forma de polinización artificial que no resultó viable para el cultivo, por lo que sólo hasta 1841, cuando un niño esclavo en la isla Reunión descubrió que era posible autopolinizar manualmente la planta, se pudo empezar el cultivo de la vainilla a gran escala fuera de México. De allí pasó a las Islas Comoros y a Madagascar, siendo estas tres islas los lugares donde, hacia finales del siglo XIX, se producía el 80% de la vainilla mundial. El predominio mundial del cultivo de la vainilla pasó a manos de Madagascar en 1924, según Lucas (1990), citado en Bory et al. (2008c).

En Colombia los reportes más antiguos de su uso se remontan a mediados del siglo XVIII, en plena colonia, cuando misioneros en el Caquetá mencionan su uso como aromatizante y como adorno, pues algunos indígenas usaban los frutos colgados en el cuello. Posteriormente, en la época republicana, en pleno siglo XIX, la vainilla es mencionada en varias partes como Antioquia y Valle, donde incluso se intentó establecer cultivos (Patiño 2002). Actualmente, la vainilla en Colombia se consume en dos formas, una es el principio químico purificado, mientras que la otra es el extracto natural de vainilla, que es más escaso y costoso. Los cultivos existentes en Colombia corresponden a un par de empresas en los Departamentos de Antioquia y Casanare, arreglos

agroforestales de baja o mediana intensidad en el Urabá antioqueño, Quindío y Magdalena, así como pequeñas colecciones privadas no comerciales de orquideólogos en el departamento del Valle (Gómez et al. 2011).

Materiales y métodos

Se revisó la literatura pertinente a la vainilla disponible en las bases de datos electrónicas más comunes (ScienceDirect, JSTOR, MOBOT, etc.), así como la presente en físico en las bibliotecas de la Universidad Nacional de Colombia. Con base en esa información y en la obtenida a partir de los especímenes de herbario se obtuvo la distribución y diversidad de las vainillas colombianas. Para el componente de microorganismos endófitos, además de revisar la literatura como se mencionó, se realizaron muestreos siguiendo la metodología empleada por Gamboa & Bayman (2001), que básicamente consiste en esterilizar superficialmente los tejidos vegetales y luego sembrar fragmentos de las plantas en cajas de Petri con medio de cultivo artificial de papa (PDA). Los microorganismos aislados se purificaron y guardaron en un cepario para su posterior identificación, la cual se hizo consultando expertos, usando claves taxonómicas y comparando con material de referencia.

Material herborizado revisado: Material vegetal consultado directamente en herbarios.

Herbario COL: Amazonas-Vaupés, río Apaporis, 250 m, 15 dic 1951, H. García-Barriga # 14042; Caquetá, Chiribiquete, 550 m, 3 dic 1992, C. Barbosa, R. Cortés y P. Palacios # 4258; Caquetá, Chiribiquete, 0°52'15" N 72°42'06" W, 600 m, 3 dic 1992, P. Palacios # 2776; Cauca, Guapi, Isla Gorgona, 250 m, 1 jun 1986, G. Lozano y O. Rangel # 5112; Cauca, El Tambo, hoya del río Patía, corregimiento de Mosquera hacia el río Timbío, 200 m, 19 ago 1949, J.M. Idrobo y A. Fernández # 185; Chocó, Nuquí quebrada Trapiche, 5°32' N 77°15' W, 100-160 m, feb-mar 1994, G. Galeano, A. Moreno y J. Perea 5607; Chocó, Bahía Solano, 75 m, 21 feb 1939, E. Killip y H. García # 33629; Córdoba, El Valle, 50-100 m, 17 feb 1939, E. Killip y H. García # 33399; Cundinamarca, Albán, 2000 m, abril 1947, M. Schneider # 355; Meta, Puerto Chumsa, río Duda, 460 m, 10 nov 1975, J.M. Idrobo # 8439; Valle, Dagua, Loboguerrero, 730 m, 31 jul 1998, W. Vargas # 4643; Valle, hacienda El Trejo, entre

El Cerrito y Palmira, 28 dic 1938, H. García-Barriga # 6344; Vaupés, río Vaupés, cerca a Mitú, 10 sep 1966, R. Schultes # 24204; Vaupés, río Yi, 12 dic 1952, R. Romero-Castañeda # 3942; Sucre, entre Colosó y la reserva de primates, 9°30' N 75°30' W, 340 m, Gentry et al. # 34832A.

Herbario CUVIC: Risaralda, Pereira, hacienda Alejandría, km 6 carretera Cerritos-La Virginia, bejuco, ca. 4° 51' N, 75° 52' W, 960 m, 5 ene 1995, P. Silverstone-Sopkin # 7387; Valle, Zarzal, hacienda El Medio sobre *Anacardium excelsum*, 950 m, 16 abr 1987, P. Silverstone-Sopkin # 3105; Valle, Zarzal, hacienda Las Pilas, hacia Guacimal luego de la hacienda Chaquiral, lomas bajas, bejuco, 1025 m, 10 jun 1991, P. Silverstone-Sopkin, J. Giraldo y J. Gamboa # 6150; Valle, Cali, planta trepadora, flores amarillo claro, savia lechosa, 6 ene 1986, W.F. Buttkus # 21.

Herbario VALLE: Valle, hoya del río Anchicayá bajando a La Planta, 200-350 m, 27 sep 1943, J. Cuatrecasas # 15220; Valle, río Calima, la Trojita, 5-50 m, 19 feb-10 mar 1944, J. Cuatrecasas # 16550.

Resultados y discusión

Historia natural de la vainilla: Las vainillas y sus parientes más cercanos forman un grupo taxonómico relativamente bien unificado que se puede considerar una subfamilia entre las orquídeas: *Vanilloideae*. Las otras subfamilias de las orquídeas son *Apostasioideae*, *Cypripedioideae*, *Orchidoideae* y *Epidendroideae* (Cameron et al. 1999). El género *Vanilla* posee un poco más de 100 especies (Portères 1954, Soto-Arenas 2003), las cuales son de distribución pantropical por lo que se cree que su diversificación pudo producirse antes de la separación de los continentes de Gondwana, hace unos 160 millones de años. La monofilia del género está bien aceptada y se considera como uno de los grupos basales de las orquídeas (Soto-Arenas 1999, Cameron 2003). Uno de los trabajos clásicos en este tema, el de Portères (1954), muestra que las vainillas están en todas las zonas tropicales del mundo exceptuando Australia, siendo americanas casi la mitad de las especies conocidas.

Si bien el género está bien delimitado, aún no hay unidad de criterios en cuanto al número de especies aceptadas y los nombres que debieran ser validados.

Los trabajos más recientes en este tema son el de Cameron & Chase (1999) que aceptan 90 especies de vainillas, Soto-Arenas (2003, 2006, 2010) y Soto-Arenas & Cribb (2010), quienes aceptan alrededor de 106 Govaerts (RBG 2009), especies, que acepta 110 especies y Bory et al. (2008c), quienes hacen una recopilación de todas las especies halladas en la literatura, 200 en total. Este panorama muestra que será necesario realizar más investigación en la sistemática y biogeografía de este grupo si se desea lograr una clasificación taxonómica clara. Un ejemplo del confuso estado de las vainillas es precisamente el caso de la especie más importante, *V. planifolia*, cuyo tipo nomenclatural es un lectótipo, un dibujo concretamente, realizado por G. Jackson en una publicación hecha por Andrews (P. Lubinsky, comunic. pers.). En esa obra no se realizó una descripción escrita de la especie, por lo que algunos autores consideran a G. Jackson como el verdadero autor de la especie, mientras otros aceptan a Andrews. También se ha publicado combinaciones como “G. Jackson en Andrews” o “Jacks. ex Andrews” (RBG 2009), que es la usada aquí para denominar la vainilla: *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews. Sin embargo, el debate continúa.

La falta de unidad en cuanto al número de especies no ha permitido clarificar la organización infragenérica de *Vanilla*, es decir, a nivel de secciones. La propuesta más aceptada es la de Portères (1954), que sin embargo fue descalificada por Soto-Arenas (2003), quien dijo que las subsecciones y secciones están incompletas y son heterogéneas, proponiendo una nueva clasificación (Soto-Arenas 2010). Las relaciones filogenéticas entre las vainillas no han dejado de ser tema de estudio, habiendo hoy día varios grupos que se dedican a clarificar el parentesco de las especies al interior del género. Para tal fin se ha usado, por ejemplo, el análisis de características morfoanatómicas (Stern & Judd 1999), cuyos resultados concuerdan con la clasificación de Portères. También se han realizado estudios a nivel molecular, como por ejemplo los que usaron el espaciador interno transcrito del ARN ribosomal (ITS 18S y 26S) (Soto-Arenas 1999, Cameron 2004). Estos estudios muestran que las especies de vainilla se agrupan en tres clados, uno con especies de la sección *Foliosae* y la subsección *Membranaceae* de Portères, que son todas especies neotropicales,

otro clado con las especies del Caribe y del viejo mundo y el tercero con las especies aromáticas de América, según Soto-Arenas (2003).

El género *Vanilla* posee bastantes especies aromáticas, estimándose que hasta casi un tercio de ellas podrían tener esta característica (Soto-Arenas 2003). Todas las especies aromáticas son americanas y a pesar de ser tantas sólo unas pocas han sido cultivadas: *V. planifolia* (sinónimo *V. fragrans* (Salisb.) Ames, que es la más importante), *V. pompona* (muy poco cultivada) y *V. tabitensis* (la cual parece haberse originado de la hibridación entre *V. planifolia* y *V. odorata*) (Lubinsky et al. 2008b). La distribución de la vainilla ha sido reportada desde tiempos coloniales en México, toda Centroamérica, Jamaica, Tobago, Colombia, Venezuela, Guayana, Ecuador y Perú, siendo México el sitio donde más ha sido estudiada. En Colombia, donde la vainilla es también conocida como bejuquillo, los reportes más antiguos incluyen la región caribeña, Cartagena, la cuenca del Magdalena, la región de la Orinoquia en el Meta, Valle, Cauca, Quindío y la región amazónica en el Caquetá (Patiño 2002). Sin embargo, el material herborizado es escaso, ya que sólo hay muestras de vainillas silvestres de Antioquia, Bolívar y Vichada, desde el nivel del mar hasta los 1470 m, según el material hallado en los herbarios COL, CUVC y MO. Aunque la vainilla cultivada se considera originaria de México (Soto-Arenas 1999), la casi nula búsqueda de estas plantas en el Chocó biogeográfico lleva a sospechar que es posible encontrar variedades o especies nuevas de vainilla en ese sitio, dada su cercanía geográfica. Es razonable pensar que existe, al menos, otro centro de gran riqueza o diversificación de especies o incluso un centro de origen alterno, ya que estas plantas se encuentran naturalmente en selvas tropicales bajas y, de hecho, la máxima diversidad del género *Vanilla* se alcanza en Suramérica (Soto-Arenas 2010).

La biología reproductiva de la vainilla es un tema muy interesante. Si bien la morfoanatomía floral hace que la autopolinización sea difícil, varios estudios han mostrado que puede haber tasas de autopolinización del 6% o incluso de hasta el 20% (Soto-Arenas 1999, Lubinsky et al. 2006), siendo hallados los valores más altos en variedades cultivadas. Esto llevaría a pensar que la alogamia estaría fuertemente

promovida en la naturaleza, pero lo curioso es que en condiciones naturales la reproducción sexual es raramente observada, según estudios realizados en Puerto Rico, México y Centro América (Bory et al. 2008c). La posible conclusión es que las poblaciones naturales tienen baja densidad y están compuestas por una mezcla de individuos autoincompatibles con individuos autocompatibles, cuya proporción se desconoce. En este punto es necesario prestar atención a los polinizadores, ya que ellos podrían ser la clave para entender la biología reproductiva de estas plantas, aspecto muy importante de la historia natural de las vainillas pero que es poco conocido.

Si bien las vainillas representan un grupo basal en las orquídeas, sus flores muestran características florales tan complejas como las de orquídeas más avanzadas. Es apenas lógico pensar que conocer sus mecanismos de polinización y agentes polinizadores puede contribuir al mejoramiento del cultivo, especialmente porque la base genética es angosta y hay momentos en que se requiere promover la reproducción cruzada. En el campo se ha observado la presencia de visitantes florales que no son polinizadores, como hormigas, colibríes y abejas oportunistas, si bien entre los posibles candidatos como verdaderos polinizadores están abejas de los géneros *Melipona*, *Trigona*, *Euglossa* y *Eulaema* (Soto-Arenas 1999, Lubinsky et al. 2006). Este es un aspecto que requiere más investigación, particularmente en las selvas del Chocó biogeográfico, donde no hay trabajos al respecto. Lo cierto es que actualmente el modo predominante de reproducción en *Vanilla* es la propagación vegetativa, especialmente en los cultivares, lo que contribuye a que haya una baja variabilidad genética en los cultivos.

El género *Vanilla* es uno de los pocos casos de orquídeas neotropicales en que se ha mostrado la existencia de hibridación interespecífica, incluso entre taxones lejanamente emparentados, como especies de América y Asia (Nielsen & Siegismund 1999, Nielsen 2000, Divakaran et al. 2006b, Lubinsky et al. 2006). Si bien sólo unos pocos casos de incompatibilidad genética se han reportado entre vainillas cercanamente emparentadas, la ocurrencia de hibridación específica es rara, o al menos no tan común como se esperaría. Sin embargo no se puede descartar que sea lo suficientemente común en la naturaleza como para contribuir a la confusa delimitación interespecífica al

interior del género, llevando incluso a pensar que es posible la existencia de varios complejos de especies, en los que pudiera haber especies de reciente aparición. Otro fenómeno genético interesante que se presenta en la *vainilla* es la poliploidía natural, la cual parece explicar la elevada variación fenotípica en la *vainilla* cultivada (Bory et al. 2008a), pues los estudios moleculares muestran una baja diversidad genética que no puede explicar la variación fenotípica (Bory et al. 2008b,c,d). Todo esto hace de *Vanilla* un modelo interesante para estudiar la evolución y especiación en orquídeas, un grupo que por su tamaño e importancia ayudará a clarificar la historia natural de las angiospermas.

El cultivo de la vainilla: El cultivo mundial de la vainilla produjo más de 8,000 toneladas en el año 2011, una cifra considerable si se tiene en cuenta que su principal producto –la vanilina– se puede sintetizar artificialmente a mucho menor costo. El principal productor es Indonesia, con 3,500 toneladas, seguido de Madagascar con más de 1,580 toneladas. China ocupa el tercer lugar con más de 1,300 toneladas y, bastante alejado, está México con unas 360 toneladas en el cuarto lugar (Faostat 2011). En las estadísticas aparecen unos diez países más, todos ellos con menos de 300 toneladas producidas. Colombia no aparece en las estadísticas de la FAO como país donde se cultive la vainilla, si bien hay cultivos en Antioquia y Casanare. La producción mundial estimada en términos del rendimiento es aproximadamente de 110 kg por Ha (Faostat 2011). Hay actualmente cuatro tipos de vainilla cultivadas en México, su supuesto centro de origen, los cuales difieren morfológicamente aunque no hay acuerdo entre los autores (Castillo-Martínez & Engleman 1993, Soto-Arenas 2003).

Algunos estudios con isoenzimas corroboran algunas diferencias entre las variedades, las cuales reciben los nombres de “Mansa”, “Oreja de Burro”, “Acamaya” y “Albo-marginata”, pero se desconoce si son clones de una sola especie o híbridos naturales. Un estudio morfológico comparativo entre las variedades Mansa y Oreja de Burro (Castillo-Martínez & Engleman 1993), mostró que las diferencias son lo suficientemente robustas para separarlas, pero desafortunadamente los autores las separan “claramente en dos tipos diferentes”, lo cual aporta poco ya que el “tipo” no es una categoría aceptada por el Código Internacional de Nomenclatura Botánica (recientemente renombrado

Código Internacional de Nomenclatura para Algas, Hongos y Plantas). En otros lugares donde es ampliamente cultivada, como por ejemplo Madagascar, hay también otras variedades como “Classique”, “Mexique”, “Aiguille”, “Grosse Vanille”, etc., por lo que es claro que se requieren estudios que unifiquen los nombres de las variantes fenotípicas de la vainilla cultivada en una categoría taxonómicamente válida. Es posible que el abordaje de la anatomía vegetativa ayude en este aspecto, por lo que es esperanzador que ya hay algunos autores que intentan mejorar el estado de la sistemática de la vainilla desde la anatomía vegetativa (Stern & Judd 1999).

La vainilla es una de las especies aromáticas más cotizadas actualmente y su principal producto es la vanilina, un compuesto fenólico que es quizá el más importante saborizante usado hoy día, tanto así que es incluso considerado por algunos “el aroma del planeta” (Anon 2000). Su nombre químico es 4-hidroxi-3-metoxibenzaldehído (Walton et al. 2003) y su fuente original es el fruto de *V. planifolia*, aunque se encuentra naturalmente en otras plantas (Makkar & Beeker 1994). La vanilina se comercializa de dos formas: pura, cuando es sintetizada artificialmente a partir de lignina o en el extracto de vainilla, donde se encuentra mezclada con cientos de compuestos naturales procedentes del fruto. En efecto, más de 160 compuestos aromáticos han sido detectados en el extracto natural de vainilla (Soto-Arenas 2006).

La demanda de vanilina ha venido incrementándose recientemente, dado que se usa en la industria alimenticia, principalmente como saborizante en la elaboración de pasteles, postres y helados (Bythrow 2005, Anónimo 2009). Adicionalmente, este compuesto tiene potencial como preservativo de alimentos, agente microbicida y en la industria química como intermediario en la síntesis de herbicidas y drogas (Burri et al. 1989, Hocking 1997, Fitzgerald et al. 2003), así como agente reductor del daño cromosomal inducido por radiaciones y como agente anticarcinógeno (Keshava et al. 1998, Duran & Karran 2003, Maurya et al. 2007, Lee et al. 2014). Esta sustancia puede ser producida sintéticamente, siendo su valor en el mercado muy inferior al de la vanilina natural (Lomascolo et al. 1999, Muheim & Lerch 1999), lo que no ha impedido que la planta se siga cultivando hoy día. Esto puede deberse a que la vanilina sintética se usa mayoritariamente

en la industria química y, además, a que el consumo de productos naturales se ha incrementado a nivel mundial. Con todas estas aplicaciones de la vanilina, es apenas lógico que se justifique la investigación dirigida a mejorar su producción, particularmente en Colombia donde se predice una considerable riqueza natural del género *Vanilla*. Es oportuno mencionar que la vanilina no es el único compuesto interesante aislado de esta planta, ya que también se sabe que produce muchas otras sustancias como ésteres volátiles (Werkhoff & Günter 1997), glicósidos (Dignum et al. 2004) y compuestos relacionados a la vanilina como el ácido vanílico, el *p*-hidroxi-benzaldehído y el ácido *p*-hidroxi-benzoico. Un reciente estudio realizado en Perú (Maruenda et al. 2013), muestra que las vainillas silvestres pueden ser fuente de varios compuestos aromáticos de interés, así que es necesario tamizar las vainillas silvestres colombianas pues es viable prever que serán tan promisorias como las de otras regiones tropicales.

Se considera que el acervo genético que dio origen al cultivo de vainilla fue muy escaso (Soto-Arenas 1999, Lubinsky 2003, Bory et al. 2008d), por lo que en la mayoría de los países donde se introdujo la vainilla para cultivarla, los individuos se originaron a partir de material vegetal propagado clonalmente. Esto conllevó a que prácticamente no exista variabilidad genética para el mejoramiento de dicho cultivo. Así pues, la vainilla cultivada está expuesta a una gran amenaza por parte de plagas y enfermedades a causa de su angosta base genética, lo cual ha sido reconocido desde hace ya más de 20 años (Purseglove et al. 1981). Hoy día, el principal impedimento para una producción alta de vainilla es precisamente el estrés biótico, que puede ser causado por artrópodos (Vanitha et al. 2012), si bien mayoritariamente son virus, hongos y bacterias los más problemáticos y han estado a punto de acabar con el cultivo en regiones enteras, como sucedió hace poco en Madagascar, donde un hongo causa la caída del fruto antes de su madurez. Entre las afecciones más notables se puede citar la enfermedad causada por el hongo *Ceratocystis*, el cual es transmitido por escarabajos barrenadores, así como las antracnosis causadas por *Colletotrichum* y *Calospora*. También, recientemente, se ha reportado infección por *Phytophthora* (Joseph & Bhai 2001), pero la mayor preocupación se centra hoy en los virus y en la infección por *Fusarium* (Bayman

comunic. pers.) Ante este panorama se hace necesario explorar la disponibilidad de especies y variedades silvestres en las zonas más prístinas de donde es nativa la planta, para así ampliar la base genética disponible para el mejoramiento del cultivo de la vainilla.

Otra posible alternativa para el combate de las enfermedades y plagas de este cultivo, es el uso de estrategias ambientalmente amigables, como el control biológico. Esto tiene amplia aceptación hoy día, ante el creciente interés mundial por producir alimentos más sanos a partir de una agricultura sostenible. Los microorganismos endófitos y epífitos naturalmente asociados a las plantas, los cuales han sido encontrados en toda especie vegetal en la que se han buscado (Lodge 1997, Gamboa & Bayman 2001), muestran un interesante potencial como controladores biológicos de plagas y enfermedades. Esto ya se mostró en otra planta tropical cultivada, el cacao (Arnold et al. 2003), planta de la que se aisló un hongo inocuo naturalmente asociado a ella, que mostró ser antagonista de uno de sus patógenos. Como puede inferirse, las variedades y especies silvestres de vainilla podrían ser fuente de microorganismos naturalmente asociados a ellas, con los cuales se puede hacer ensayos para determinar si muestran potencial como antagonistas de los patógenos de la vainilla cultivada. La gran cantidad de especies de bacterias y hongos endófitos y epífitos que hay en las plantas tropicales (Lodge 1997, Arnold et al. 2000, Gamboa et al. 2002), lleva a pensar que sea bastante probable hallar microorganismos con las propiedades mencionadas. Un reporte de Ordóñez et al. (2012), muestra de forma promisorio que los endófitos pueden tener mucho que ver en el mejoramiento del cultivo de la vainilla.

Otro tipo de microorganismos muy importante para las orquídeas en general y para la vainilla en particular, son los que forman asociaciones del tipo micorrizas. Estos hongos son considerados elementos importantes en dos aspectos claves de la historia natural de las orquídeas: la germinación de sus diminutas semillas y la incorporación de algunos nutrientes escasos, como el fósforo (Dressler 1990, Rasmussen 1995). El tema de las micorrizas debe ser estudiado, a pesar que no se trate de microorganismos endófitos propiamente dichos, ya que ellas poseen el potencial de mejorar el cultivo de la vainilla, bien sea porque se identifique algunas que sean antagonistas

de plagas o enfermedades o porque ayuden a incrementar el rendimiento del cultivo. Estos dos aspectos deben ser tenidos en cuenta como alternativa para el mejoramiento del cultivo, ya que es posible que no se encuentre germoplasma silvestre que amplíe la base genética del cultivo o simplemente porque la incorporación de las características silvestres deseadas en la vainilla cultivada sea difícil y tarde mucho. Por ello es importante considerar alternativas para el mejoramiento de la vainilla y las micorrizas han mostrado ser muy diversas, específicas y útiles para incrementar la germinación de sus semillas y el crecimiento vegetal (Porrás-Alfaro & Bayman 2007). Los microorganismos no formadores de micorrizas asociados a la raíz de la vainilla son menos conocidos, pero los primeros trabajos al respecto muestran que hay una gran variedad de ellos y que poseen un notable potencial biotecnológico (Álvarez et al. 2013).

Estado de conservación de la vainilla y perspectivas para el cultivo en Colombia: El muestreo de las poblaciones neotropicales de vainilla por fuera de México es escaso, muy pobre en el caso de Colombia, por lo que es importante aumentar el estudio de las poblaciones nativas de vainilla si se desea promover su cultivo. La zona biogeográfica del Chocó, donde se espera hallar gran cantidad de germoplasma de vainilla, ha sido tan poco explorada (Forero & Gentry 1989), sólo reportan una “*Vanilla* sp.” para todo el departamento del Chocó. Es muy probable que los aun abundantes bosques de tierras bajas colombianas sean fuente de gran cantidad de germoplasma de vainillas, dado que en nuestro país existen las condiciones ambientales adecuadas para que existan buenas poblaciones silvestres. Este tipo de cultivos están siendo impulsados desde el Ministerio de Agricultura, dado su potencial como una fuente alternativa de ingresos para pequeños y medianos agricultores, se hace necesario investigar en los diferentes aspectos de la historia natural de la vainilla, que deben incluir las interacciones planta microorganismo, las enfermedades que la aquejan, la distribución geográfica y la búsqueda de especies y variedades silvestres que puedan aumentar su base genética.

El género vainilla en Colombia se ha registrado en los departamentos de Amazonas, Antioquia, Bolívar, Cauca, Chocó, Córdoba, Cundinamarca, Risaralda,

Valle, Vaupés y Vichada, entre los 10 y los 2100 m, según los especímenes de herbario (COL, CUVC y VALLE), la bibliografía y las bases de datos del herbario del Missouri Botanical Garden (MBG 2010). Las especies registradas en Colombia son 20 (Tabla 1), pero hay abundante y variado material de herbario que espera ser determinado por especialistas, por lo que es posible que el número de vainillas aumente en el futuro cercano. Varios estudios recientes muestran un panorama sombrío en cuanto al estado de conservación de la vainilla en sus ambientes naturales,

Tabla 1. Especies de vainilla que crecen naturalmente en Colombia. En el herbario COL hay catorce (14) especímenes sin identificar que corresponden a diferentes morfoespecies, las cuales podrían aumentar el número de vainillas para el país. MBG = base de datos del Missouri Botanical Garden.

Especie	Distribucion / Referencia
<i>Vanilla cabyclata</i>	Valle, 1200m; Soto-Arenas (2010)
<i>Vanilla colombiana</i>	Caquetá (Chiribiquete), Cauca, Chocó, Córdoba 50-600 m; Valle del Magdalena.
<i>Vanilla dressleri</i>	Soto-Arenas (2010)
<i>Vanilla espondae</i>	Pacífico, valle del Magdalena.
<i>Vanilla grandiflora</i>	Amazonia colombiana, cerca a fronteras con Perú, Brasil y Venezuela.
<i>Vanilla belleri</i>	Molineros-Hurtado et al. (2011)
<i>Vanilla bostmannii</i>	Soto-Arenas (2010)
<i>Vanilla inodora</i>	Cundinamarca 2000 m.
<i>Vanilla latifolia</i>	Meta, 460 m.
<i>Vanilla latisegmenta</i>	Vaupés; MBG (2010)
<i>Vanilla methonica</i>	MBG (2010), Soto-Arenas (2010)
<i>Vanilla mexicana</i>	MBG (2010)
<i>Vanilla odorata</i>	Amazonas, Antioquia, Cauca, Risaralda, Valle 150-1025 m.
<i>Vanilla palmarum</i>	Vaupés, cerca a Mitú; MBG (2010)
<i>Vanilla penicillata</i>	Caquetá (Chiribiquete), 550 m.
<i>Vanilla planifolia</i>	Amazonas, Antioquia, Bolívar, Valle, Vichada, 10-1470 m.
<i>Vanilla pompona</i>	Sucre, 340 m; MBG (2010) Soto-Arenas (2010)
<i>Vanilla ribeiroi</i>	Soto-Arenas (2010)
<i>Vanilla spruce</i>	Amazonia colombiana.
<i>Vanilla trigonocarpa</i>	Soto-Arenas (2010)

por ejemplo en México se le considera sobreexplotada y subutilizada simultáneamente (Soto-Arenas 2006). Si bien ningún estudio ha sido desarrollado en Colombia, hay razones para creer que los ecosistemas en los cuales es nativa en nuestro país están en una situación similar.

Los estudios acerca de la situación de las poblaciones nativas (Lubinsky 2003), así como del conocimiento actual de la biodiversidad y estado de conservación de la vainilla (Bory et al. 2008c), muestran que las áreas donde se originó el cultivo están severamente amenazadas, por lo que la angosta base genética de la vainilla cultivada está reduciéndose aún más. Si bien la mejor estrategia de conservación sería la preservación *in situ*, es decir, la protección de los bosques donde naturalmente se da la planta, la realidad muestra que se debe intentar con otras alternativas ante la galopante deforestación de los ecosistemas nativos. No es un secreto que en el Chocó biogeográfico colombiano hay también una intensa presión sobre los bosques nativos, por lo que no se debe estar confiando que la inmensa biodiversidad de nuestro Pacífico continental será suficiente para preservar el reservorio natural de las vainillas. Es clave crear bancos de germoplasma y adelantar estudios en varias áreas de la historia natural de estas orquídeas, como se ha empezado a hacer en otras latitudes.

Recientemente se ha explorado la posibilidad de conservar y propagar la vainilla *in vitro* (Divakaran et al. 2006a, Domingues de Oliverira et al. 2013), lo cual ha arrojado unos resultados esperanzadores al menos para la preservación en el corto y mediano plazo. La aplicación de cultivos de doble fase permitió obtener plántulas que se aclimataron efectivamente cuando se transfirieron a tierra (Domingues de Oliverira et al. 2013), por lo que se debe iniciar el trabajo en este aspecto en Colombia, donde hay buena experiencia en los cultivos *in vitro* de otras especies. Para estudiar el estado de conservación de la vainilla se ha dirigido una gran cantidad de esfuerzos a explorar la variabilidad genética de la vainilla usando marcadores moleculares como RAPD (Besse et al. 2004, Verma et al. 2009), RAPD y AFLP (Divakaran et al. 2006b, Bory et al. 2008d) y microsátélites (Bory et al. 2008b, Verma et al. 2009). En general, estos reportes muestran que el cultivo de la vainilla requiere un intenso trabajo de mejoramiento, selección y conservación de recursos genéticos, debido a su origen por multiplicación

Tabla 2. Vainillas colombianas y algunos de los microorganismos endófitos naturalmente asociados a ellas. En el cepario del Laboratorio de Biología Tropical hay más de 50 aislamientos de hongos y bacterias para identificación (Gamboa-Gaitán en prep.).

Microorganismo	Especie	Tejido	Rol en la literatura
<i>Alternaria alternata</i>	<i>Vanilla planifolia</i>	Hoja sana, raíz	Patógeno
<i>Arthrographis</i> sp.	<i>Vanilla</i> sp.	Raíz	Dermatófito
<i>Aspergillus niger</i>	<i>Vanilla</i> sp.	Tallo	Endófito, saprófito
Bacteria (bacilo Gram -)	<i>Vanilla planifolia</i>	Hoja sana	
<i>Bionectria</i> sp.	<i>Vanilla odorata</i>	Hoja joven	Patógeno
<i>Biscogniauxia atropunctata</i>	<i>Vanilla</i> sp.	Hoja	Saprófito, epífita
<i>Colletotrichum boninense</i>	<i>Vanilla planifolia</i>	Tallo	Patógeno
<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	<i>Vanilla planifolia</i>	Hoja sana	Endófito, patógeno
<i>Colletotrichum</i> sp.	<i>Vanilla planifolia</i> <i>Vanilla</i> sp.	Hoja enferma y hoja sana. Tallo	Endófito
<i>Cosmospora</i> sp.	<i>Vanilla</i> sp.	Epífita	
<i>Diaporthe eucalyptorum</i>	<i>Vanilla</i> sp.	Tallo	Patógeno
<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lotii</i>	<i>Vanilla odorata</i>	Hoja sana	Patógeno
<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>melonis</i>	<i>Vanilla planifolia</i>	Hoja sana	Patógeno
<i>Fusarium solani</i>	<i>Vanilla planifolia</i> <i>Vanilla calyculata</i>	Hoja sana y raíz Fruto	Patógeno
<i>Fusarium</i> sp. (Probablemente <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>vanillae</i>)	<i>Vanilla planifolia</i>	Hoja enferma	Patógeno, endófito
<i>Fusarium</i> sp.	<i>Vanilla odorata</i> <i>Vanilla</i> spp.	Hoja sana Tallo y raíz	Endófito
<i>Hypocrea virens</i>	<i>Vanilla</i> sp.	Tallo	
<i>Lasioidiplodia venezuelensis</i>	<i>Vanilla</i> sp.	Tallo	Patógeno, endófito
Micelios estériles (más de 40)	<i>Vanilla</i> spp.	Raíz, tallo y hoja	Endófitos
<i>Neofusicoccum</i> sp.	<i>Vanilla calyculata</i>	Fruto	
<i>Penicillium</i> spp.	<i>Vanilla odorata</i> <i>Vanilla</i> spp.	Raíz Hoja sana y tallo	Endófito
<i>Pestalotia</i> sp.	<i>Vanilla planifolia</i> <i>Vanilla calyculata</i> <i>Vanilla</i> sp.	Hoja enferma Fruto Hoja sana	Endófito, patógeno
<i>Pestalotiopsis theae</i>	<i>Vanilla</i> sp.	Hoja	
<i>Phialocephala</i> sp.	<i>Vanilla odorata</i> <i>Vanilla</i> sp.	Raíz	Endófito
<i>Phomopsis</i> sp.	<i>Vanilla planifolia</i> <i>Vanilla</i> sp.	Raíz	Patógeno, endófito
<i>Rhizoctonia</i> sp.	<i>Vanilla</i> sp.	Raíz	Patógeno, endófito
<i>Trichoderma barzilianum</i>	<i>Vanilla planifolia</i>	Raíz	
<i>Trichoderma</i> sp.	<i>Vanilla odorata</i> <i>Vanilla</i> spp.	Tallo Hoja y raíz	Endófito
<i>Volutella</i> sp.	<i>Vanilla</i> sp.	Hoja	Patógeno
<i>Xylaria</i> spp.	<i>Vanilla planifolia</i> <i>Vanilla</i> spp.	Hoja enferma Raíz	Saprófito, endófito

vegetativa (la causa de su angosta base genética), así como a la gran amenaza que existe sobre los ecosistemas de los cuales son nativas las vainillas. A pesar de su baja densidad poblacional y casi exclusiva reproducción vegetativa, las vainillas presentan casos bien documentados de la importancia de su reproducción sexual en hibridaciones interespecíficas, como la que dio origen a la *V. tabitensis* tras un cruce entre *V. planifolia* y *V. odorata* (Lubinsky et al. 2008b). Esto necesariamente dirige la atención hacia la necesidad de hacer estudios genéticos que ayuden a comprender la reproducción sexual en este grupo, pues no se debe descartar al flujo génico sexual como una posible solución al problema de la baja diversidad genética de las vainillas cultivadas.

Todo este trabajo que hace falta por hacer debe considerarse un aliciente para dirigir la atención a las vainillas colombianas, ya que por la predecible abundancia de especies y variedades silvestres que puede haber en el país, este grupo se presenta con gran potencial económico. El cultivo de las vainillas se presenta como una alternativa real para el fortalecimiento del sector agrícola nacional (Ordóñez et al. 2011) y dado que es muy importante realizar estudios acerca de su historia natural (biología reproductiva, biogeografía, especiación, interacciones planta microorganismo y variabilidad genética), se puede constituir como un grupo útil en aspectos tanto básicos como aplicados. Así pues, la vainilla además de poder convertirse en un cultivo productivo a mayor escala, tiene potencial también para ser un interesante modelo de estudio.

Panorama general de la microbiota natural de las vainillas: Todas las plantas cultivadas que han sido estudiadas para demostrar la presencia de microorganismos endosimbiontes o endófitos han dado resultados positivos (Gamboa et al. 2002, Gamboa-Gaitán 2006). Algunos de los mencionados endófitos muestran un gran potencial como controladores de plagas o patógenos que afectan a las plantas cultivadas, razón por la cual está plenamente justificado su estudio. El presente reporte muestra resultados parciales de una investigación que pretende promover el cultivo de la vainilla en Colombia y detectar la estructura y composición de la comunidad de microorganismos endófitos naturalmente asociada a ella. Estos primeros

resultados muestran que las vainillas tienen un gran repertorio de bacterias y hongos endófitos asociados a sus tejidos, los cuales fueron muestreados de raíces, tallos, hojas y frutos, tanto de vainillas cultivadas como silvestres (**Tabla 2**).

Si bien la caracterización de toda la comunidad microbiana de las vainillas está en proceso (Ordóñez et al. 2012, Gamboa-Gaitán 2013, Gamboa-Gaitán en prep.), puede adelantarse que hay una gran cantidad y muy diversa calidad de microorganismos endosimbiontes asociados a ellas. En este informe se reporta un conjunto de endófitos asintomáticos que en la literatura aparecen con otros roles tan variados como dermatófitos, fitopatógenos y saprófitos en la naturaleza. También es notable la presencia de endófitos oscuros septados de la raíz, probablemente del grupo *Phialocephala*, que representa uno de los grupos más interesantes en la actualidad (Sieber & Grunig 2006). Aquí es necesario aclarar que los hongos formadores de micorrizas, por definición, no son endófitos, ya que ellos alteran la morfología radical y son por lo tanto sintomáticamente visibles. Esta diferenciación es importante también desde el punto de vista funcional, ya que al parecer el efecto de diversos hongos formadores de micorrizas es diferente para la misma planta de vainilla, según establecieron Porras-Alfaro & Bayman (2007). El subsecuente estudio de esta comunidad microbiana estará dedicado a conocer el posible rol de algunas especies endófitas como antagonistas de los patógenos de la vainilla, así como a ayudar a entender la dinámica y la estructura de las comunidades de microorganismos endófitos tropicales. Como puede verse, los resultados finales de esta investigación tendrán impacto tanto en ciencia básica como aplicada.

Conclusión

En este estudio, se evidenció el conocimiento del cultivo de la vainilla como la diversidad del género *Vanilla* en Colombia. Como resultado de esta primera fase de investigación, se encontraron: veinte especies de vainillas colombianas y más de 60 morfoespecies de microorganismos endófitos. Se discutió la relevancia de estos hallazgos y su posible impacto en la promoción del cultivo de la vainilla, así como también se planteó el uso de estas plantas como un grupo modelo en investigación básica.

Agradecimientos

A aquellas personas que contribuyeron en aspectos logísticos o de identificación de muestras: Profesores Otero-Ospina y Huertas, Héctor K. Chávez y Fernando Ramos (Universidad Nacional de Colombia, Palmira), Nicola Flanagan (Pontificia Universidad Javeriana, Cali), Julio Betancur y Néstor D. Jiménez (Herbario COL, Universidad Nacional de Colombia), Philip Silverstone (Herbario CUVC, Universidad del Valle), Miguel Tascón y Guillermo Reina, orquideólogos que facilitaron material vegetal. Esta investigación fue parcialmente financiada por el Grupo de Orquídeas y Ecología Vegetal de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira y por la División de Investigaciones de la Universidad Nacional de Colombia (DIB).

Conflicto de intereses

Este trabajo no presenta conflicto de intereses.

Referencias

- Ackerman J (2003) *Vanilla* en Flora of North America online vol. 26
- Álvarez C, Osorio NW, Marín MM (2013) Identificación molecular de microorganismos asociados a la rizosfera de plantas de vainilla en Colombia. *Acta Biológica Colombiana* 18(2):293-306
- Anon (2000) *Vanilla* – Aroma of the planet. Indian Spice Associates, Karnataka, India
- Anónimo (2009) Vainilla y cocina. <http://www.encyclopedia.com/doc/1P2-6954770.html>. Consultado el 12 Feb 2009
- Arnold AE, Maynard Z, Gilbert GS, Coley PD, Kursar TA (2000) Are tropical fungal endophytes hyperdiverse? *Ecological Letters* 3:267-274
- Arnold AE, Mejía LC, Kylló D, Rojas EI, Maynard Z et al. (2003) Fungal endophytes limit pathogen damage in a tropical tree. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100:15649-15654
- Besse P, Da Silva D, Bory S, Grisoni M, le Bellec F, Duval MF (2004) RAPD genetic diversity in cultivated *vanilla*: *Vanilla planifolia*, and relationships with *V. tahitensis* and *V. pompona*. *Plant Science* 167:379-385
- Bory S, Catrice O, Brown S, Leitch IJ, Gigant R et al. (2008a) Natural polyploidy in *Vanilla planifolia* (Orchidaceae). *Genome* 51(10):816-826
- Bory S, Da Silva D, Risterucci AM, Grisoni M, Besse P et al. (2008b) Development of microsatellite markers in cultivated *vanilla*. Polymorphism and transferability to other *vanilla* species. *Scientia Horticulturae* 115:420-425
- Bory S, Grisoni M, Duval MF, Besse P (2008c) Biodiversity and preservation of *vanilla*: present state of knowledge. *Genetics Resources and Crop Evolution* 55(4):551-571
- Bory S, Lubinsky P, Risterucci AM, Noyer JL, Grisoni M (2008d) Patterns of introduction and diversification of *Vanilla planifolia* (Orchidaceae) in Reunion Island (Indian ocean). *American Journal of Botany* 95(7):805-815
- Burri J, Graf M, Lambelet P, Loliger J (1989) Vanillin: more than a flavouring agent a potent antioxidant. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 48:49-56
- Bythrow (2005) *Vanilla* as a medicinal plant. *Seminars in Integrative Medicine* 3:129-131
- Cameron KM (2003) *Vanilloideae*. En: Pridgeon AM, Cribb PJ, Chase MW, Rasmussen FN (ed) Genera orchidacearum: *Orchidoideae*, Oxford University Press, EUA
- Cameron KM (2004) Utility of plastid *psaB* gene sequences for investigating intrafamilial relationships within *Orchidaceae*. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 31(3):1157-1180
- Cameron KM, Chase MW (1999) Phylogenetic relationships of *Pogoniinae* (*Vanilloideae*: *Orchidaceae*): an herbaceous example of the eastern north America-eastern Asia phylogeographic disjunction. *Journal of Plant Research* 112:317-329
- Cameron KM, Chase MW, Whitten WM, Kores PJ, Jarrell DC et al. (1999) A phylogenetic analysis of the *Orchidaceae*: evidence from *rbcL* nucleotide sequences. *American Journal of Botany* 86:204-224
- Castillo-Martínez R, Engleman EM (1993) Caracterización de dos tipos de *Vanilla planifolia*. *Acta Botánica Mexicana* 25:49-59
- Dignum JW, Van Der HR, Kerler J, Winkel C, Verpoorte R (2004) Identification of glucosides in green beans of *Vanilla planifolia* Andrews and kinetics of *vanilla* β -glucosidase. *Food Chemistry* 85:199-205
- Divakaran M, Babu KN, Peter KV (2006a) Conservation of *Vanilla* species, in vitro. *Scientia Horticulturae* 110:175-180
- Divakaran M, Babu KN, Ravindran PN, Peter KV (2006b) Interspecific hybridization in *vanilla* and molecular characterization of hybrids and selfed progenies using RAPD and AFLP markers. *Scientia Horticulturae* 108:414-422
- Domingues de Oliverira SO, Meneses R, Balzorc TA, Scherwinski-Pereira JE (2013) A new procedure for in vitro propagation of *vanilla* (*Vanilla planifolia*) using a double-phase culture system. *Scientia Horticulturae* 161:204-209
- Dressler RL (1990) The orchids: natural history and classification. Harvard University Press, EUA

- Duran S, Karran P (2003) Vanillins: A novel family of DNA-PK inhibitors. *Nucleic Acids Research* 31:5501-5512
- Faostat (2011) Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Consultado 4 Feb 2013
- Fitzgerald DJ, Stratford M, Narbad A (2003) Analysis of the inhibition of food spoilage yeasts by vanillin. *International Journal of Food Microbiology* 86:113-122
- Forero E, Gentry AH (1989) Lista anotada de las plantas del departamento del Chocó, Colombia. Biblioteca José Jerónimo Triana # 10, Instituto de Ciencias Naturales, Museo de Historia Natural, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.E., Colombia
- Gamboa MA, Bayman P (2001) Communities of endophytic fungi in leaves of a tropical timber tree (*Guarea guidonia*). *Biotropica* 33:352-360
- Gamboa MA, Laureano S, Bayman P (2002) Measuring diversity of endophytic fungi in leaves: Does size matter? *Mycopathologia* 156(1):41-45
- Gamboa-Gaitán MA (2006) Hongos endófitos tropicales: conocimiento actual y perspectivas. *Acta Biológica Colombiana* 11S:3-20
- Gamboa-Gaitán MA (2013) Colombian *Vanilla* and its microbiota. I. First report of *Fusarium* taxa from both wild and cultivated species. *Acta Botanica Hungarica* 55(3-4):239-245
- Gómez-L NM, Moreno HF, Díez-G MC (2011) El cultivo de la vainilla en Colombia. En: Moreno-H F, Díez-G MC (ed) Cultivo de vainilla. Contribuciones para el desarrollo de su cadena productiva en Colombia. Medellín, Colombia, pp 82-91
- Hocking MB (1997) Vanillin: synthetic flavoring from spent sulfite liquor. *Journal of Chemical Education* 74:1055-1059
- Keshava C, Keshava N, Ong TM, Nath J (1998) Protective effect of vanillin on radiation-induced micronuclei and chromosomal aberrations in V79 cell. *Mutation Research* 397:149-159
- Joseph T, Bhai S (2001) *Sclerotium* rot-a new disease of vanilla (*Vanilla planifolia* Andr.) in India. *Journal of Spices and Aromatic Crops* 9(2):175-176
- Lee J, Cho JY, Lee SY, Lee KW, Lee J, Song JY (2014) Vanillin protects human keratinocyte stem cells against Ultraviolet B irradiation. *Food Chemistry and Toxicology* 63:30-37 doi: 10.1016/j.fct.2013.10.031. Epub 2013 Oct 30
- Lodge DJ (1997) Factors related to diversity of decomposer fungi in tropical forests. *Biodiversity and Conservation* 6:681-688
- Lomascolo A, Stentelaire C, Asther M, Lesage-Meessen L (1999) Basidiomycetes as new biotechnological tools to generate natural aromatic flavours for the food industry. *Trends Biotechnology* 17:282-289
- Lubinsky P (2003) Conservation of wild vanilla. En: Proceedings of *Vanilla*. First International Congress. Princeton, NJ, EUA
- Lubinsky P, Van Dam M, Van Dam A (2006) Pollination of *Vanilla* and evolution in *Orchidaceae*. *Orchids* 75(12):926-929
- Lubinsky P, Bory S, Hernández-Hernández J, Kim SC, Gómez-Pompa A (2008a) Origins and dispersal of cultivated *Vanilla* (*Vanilla planifolia* Jacks. [*Orchidaceae*]). *Economic Botany* 62(2):127-138
- Lubinsky P, Cameron KM, Molina MC, Wong M, Lepers-Andrzejewski S, Gómez-Pompa A, Kim SC (2008b) Neotropical roots of a Polynesian spice: the hybrid origin of Tahitian vanilla, *Vanilla tahitensis* (*Orchidaceae*). *American Journal of Botany* 95:1040-1047
- Lucas R (1990) La Réunion, île de Vanille. Océan Editions, St. André, La Réunion
- Makkar PS, Beeker K (1994) Isolations of tannins from leaves of some trees and shrubs and their properties. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 42:731-734
- Maruenda H, del Lujan Vico M, Householder JE, Janovec JP, Cañari C et al. (2013) Exploration of *Vanilla pompona* from the Peruvian Amazon as a potential source of vanilla essence: Quantification of phenolics by HPLC-DAD. *Food Chemistry* 138(1):161-167
- Maurya DK, Adhikari S, Fair KK, Devasagayam PA (2007) DNA protective properties of vanillin against γ -radiation under different conditions: possible mechanisms. *Mutation Research* 634:69-80
- MBG (2010) Base de datos del Missouri Botanical Garden. http://mobot.mobot.org/cgi-bin/search_vast#samer. Consultado 9 nov 2013
- Moliner-Hurtado FH, Flanagan N, González RT, Soto-Arenas MA, Otero JT (2011) Caracterización de diversidad de vainilla del Pacífico colombiano. En: Resúmenes VI Congreso Colombiano de Botánica. Biodiversidad, Desarrollo y Cultura: una visión integradora, 11-15 agosto de 2011. Cali, Colombia, p 30
- Muheim A, Lerch K (1999) Towards a high-yield conversion of ferulic acid to vanillin. *Applied Microbiology and Biotechnology* 51:456-461
- Nielsen RL (2000) Natural hybridization between *Vanilla claviculata* (W.Wright) Sw. and *V. barbellata* Rehb.f. (*Orchidaceae*): genetic, morphological, and pollination experimental data. *Botanical Journal of the Linnean Society* 133(3):285-302
- Nielsen RL, Siegmund HR (1999) Interspecific differentiation and hybridization in *Vanilla* species (*Orchidaceae*). *Heredity* 83(5):560-567
- Odoux E, Scoute J, Verdeil J, Brillouet J (2003) Localization of β -D-glucosidase activity and glucovanillin in vanilla bean (*Vanilla planifolia* Andrews). *Annals of Botany* 92:437-444

- Ordóñez NF, Osorio AI, Calle-P JE, Díez MA, Moreno-HF (2011) La vainilla en Colombia y en el mundo. En: Moreno-HF, Díez-G MC (ed). Cultivo de vainilla. Contribuciones para el desarrollo de su cadena productiva en Colombia. Medellín, Colombia, pp11-23
- Ordóñez NF, Otero JT, Díez MC (2012) Hongos endófitos de orquídeas y su efecto sobre el crecimiento en *Vanilla planifolia* Andrews. *Acta Agronómica* 61(3):282-290
- Pain S (2008) On the trail of Tahiti's elusive vanilla orchid. <http://www.newscientist.com/article/mg20026842.500-on-the-trail-of-tahitis-elusive-vanilla-orchid.html>. Consultado el 8 Feb 2009
- Patiño VM (2002) Historia y dispersión de los frutales nativos del Neotrópico. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Santiago de Cali, Colombia
- Porras-Alfaro A, Bayman P (2007) Mycorrhizal fungi of *Vanilla*: diversity, specificity and effects on seed germination and plant growth. *Mycologia* 99(4):510-525
- Portères R (1954) Le genre *Vanilla* et ses espèces. En: Lechevalier P (ed) Le vanillier et la vanille dans le monde. París, Francia
- Purseglove JW, Brown EG, Green CL, Robbins RJ (1981) Spices. Tropical Agricultural Series, vol. 2. Longman Inc., Nueva York, EUA
- Rain P (2004) *Vanilla*. The cultural history of the world's favorite flavor and fragrance. Penguin Group, Nueva York, EUA
- Rasmussen HN (1995) Terrestrial orchids: from seed to mycotrophic plant. Cambridge University Press, Nueva York, EUA
- RGB (2009) Royal Botanic Gardens. <http://apps.kew.org/wcsp/prepareChecklist.do;jsessionid>. Consultado 18 feb 2009
- Sieber TN, Grunig CR (2006) Biodiversity of fungal root-endophyte communities and populations, in particular of the dark septate endophyte *Phialocephala fortinii*. En: Schulz B, Boyle C, Sieber TN (ed) Microbial root endophytes, Soil Biology, 9 S I, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Alemania, pp 107-132
- Sing-chi C, Cribb PJ (2009) *Vanilla* en Flora of China online vol. 25 http://hua.huh.harvard.edu/china/mss/volume25/FOC_25_Vanilloideae.pdf. Consultado el 29 abr 2010
- Soto-Arenas MA (1999) Filogeografía y recursos genéticos de las vainillas de México. <http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/Infj101.pdf>. Consultado el 15 feb 2009
- Soto-Arenas MA (2003) *Vanilla*. En: Pridgeon AM, Cribb PJ, Chase MW, Rasmussen FN (ed) Genera orchidacearum: *Orchidoideae*, Oxford University Press, EUA
- Soto-Arenas MA (2006) La vainilla: retos y perspectivas de su cultivo. *Biodiversitas* 66:2-9
- Soto-Arenas MA (2010) A new species of *Vanilla* from South America. *Lankesteriana* 9(3):281-284
- Soto-Arenas MA, Cribb P (2010) A new infrageneric classification and synopsis of the genus *Vanilla* Plum. ex Mil. (*Orchidaceae*: Vanillinae). *Lankesteriana* 9(3):355-398
- Stern WL, Judd WS (1999) Comparative vegetative anatomy and systematics of *Vanilla* (*Orchidaceae*). *Botanical Journal of the Linnean Society* 131(4):353-382
- Vanitha K, Karuppuchamy P, Sivasubramanian P (2012) *Vanilla* insect pests and their natural enemies. *Indian Journal of Entomology* 74(4):319-322
- Verma PC, Chakrabarty D, Jena SN, Mishra DK, Singh PK et al. (2009) The extent of genetic diversity among *Vanilla* species: comparative results for RAPD and ISSR. *Industrial Crops and Products* 29(2-3):581-589
- Walton NJ, Mayer MJ, Narbad A (2003) Vanillin. *Phytochemistry* 63:505-515
- Werkhoff P, Günter M (1997) Identification of some ester compounds in Bourbon vanilla beans. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie* 30:429-431

Vainillas colombianas y su microbiota. II. Diversidad, cultivo y microorganismos endófitos

Resumen. La vainilla es la única especie como producto comestible entre las orquídeas. Su cultivo en Colombia se está promoviendo como alternativa a los tradicionales; especialmente entre pequeños y medianos agricultores. El cultivo actual adolece de una angosta base genética y por lo tanto es susceptible al estrés biótico, especialmente el causado por virus y hongos. Las vainillas silvestres son posible fuente de variabilidad que podría ayudar a ampliar su acervo genético y a su vez, podrían aportar microorganismos endófitos naturalmente asociados a ellas que tuviesen propiedades como antagonistas de los patógenos de la vainilla cultivada. En este estudio, se evidenció el conocimiento del cultivo de la vainilla como la diversidad del género *Vanilla* en Colombia. Como resultado de esta primera fase de investigación, se encontraron: veinte especies de vainillas colombianas y más de 60 morfoespecies de microorganismos endófitos. Se discutió la relevancia de estos hallazgos y su posible impacto en la promoción del cultivo de la vainilla, así como también se planteó el uso de estas plantas como un grupo modelo en investigación básica.

Palabras clave: *Vanilla planifolia*; hongos endófitos; trópico; *Fusarium*; *Colletotrichum*; *Xylaria*; *Phomopsis*; vainilla cultivada.

Baunilhas colombianas e sua microbiótica. II. Diversidade, cultivo e microorganismos endófitos

Resumo. A baunilha é a única espécie de produto comestível entre as orquídeas. O seu cultivo em Colômbia está sendo promovido como alternativa aos tradicionais; especialmente entre pequenos e médios agricultores. O cultivo atual carece de uma forte base genética, portanto é suscetível ao estresse biótico, especialmente causados por vírus e fungos. As baunilhas silvestres são uma possível fonte de variabilidade que poderia ajudar a ampliar o acervo genético e a sua vez, poderiam contribuir com microorganismos endófitos naturalmente associados a elas que tivessem propriedades como antagonista dos patógenos da baunilha cultivada. Neste estudo, se evidenciou o conhecimento do cultivo da *baunilha* como a diversidade do género *Baunilha* em Colômbia. Como resultado desta primeira fase de investigação, se encontraram: vinte espécies de baunilhas colombianas e mais de 60 morfoespecies de microorganismos endófitos. Discutiu-se a relevância destes resultados e o seu possível impacto na promoção do cultivo da baunilha, assim como também se evidenciou o uso destas plantas como um grupo modelo em investigação básica.

Palavras-chave: *Baunilha planifolia*; fungos endófitos; trópico; *Fusarium*; *Colletotrichum*; *Xylaria*; *Phomopsis*; baunilha cultivada.