



**Universidad
Rey Juan Carlos**

Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología

**COMO PRESENTAR UN BUEN TRABAJO FIN
DE GRADO DE REVISIÓN.
PRESENTACIÓN DE UN MODELO COMO
ALTERNATIVA**

**(Revisión bibliográfica y actualizaciones dentro del género
Vanilla con énfasis en las especies productoras de vainilla)**

María Bravo Garrido
M^a Carmen Molina Cobos

ÍNDICE

	<u>Página</u>
Cómo presentar un buen trabajo de revisión bibliográfica.	
Presentación de un modelo como alternativa	1
Revisión bibliográfica y actualizaciones dentro del género	
<i>Vanilla</i> con énfasis en las especies productoras de vainilla	4
Resumen	4
Introducción	5
Materiales y Métodos	10
Resultados	12
Discusión	15
Conclusiones	19
Futuras líneas de investigación	20
Bibliografía	20

Cómo presentar un buen trabajo fin de grado de revisión.

Presentación de un modelo como alternativa

El objetivo de un buen trabajo fin de grado bibliográfico es adquirir una perspectiva completa sobre el saber acumulado del tema seleccionado, mediante una estrategia eficiente que garantice la recuperación del mayor número de documentos esenciales relacionados con dicho tema (Sifuentes, 2012). En el modelo de revisión propuesto se recupera la información ya existente sobre el tema de investigación, con la que se realizan unos resultados propios que se discuten y analizan críticamente para resolver los objetivos propuestos, mediante los siguientes apartados: Título, Resumen, Introducción, Materiales y métodos, Resultados, Discusión, conclusiones y futuras líneas de investigación.

Título

El título debe ser claro, conciso y ajustado a la temática principal del trabajo (Méndez, 2010).

Resumen

En este apartado deben verse reflejados todos los posteriores apartados del trabajo, para dar información del contenido de forma estructurada y eficiente, sin abarcar más de 250-300 palabras (Méndez, 2010; Montero-Alonso et al., 2014).

Palabras clave

Entre 4 y 6 palabras que representen la temática principal del trabajo (Amezcuca, 2015)

Introducción con objetivo

El primer paso para hacer una revisión bibliográfica como TFG es justificar el porqué de la investigación documental, presentando el tema a tratar y argumentando su relevancia, identificando el problema abordado, campo de estudio, temática general, y la razón de su elección. Hay que explicar el marco conceptual en el que se desarrolla el tema elegido, que describe lo que se conoce por estudios previos relacionados yendo de lo más general a lo más concreto, para facilitar una visión de la panorámica de la situación actual, y los aspectos que quedan por resolver (Méndez, 2010).

Al final de este apartado se exponen los objetivos. Se debe identificar un objetivo general, marco de referencia de lo que se pretende aportar y demostrar en el trabajo, el cual indica el área temática y el problema que específicamente se atenderá. Y varios objetivos específicos, relacionados con las variables temáticas del estudio, son subobjetivos para facilitar la comprensión de las metas a las que se llegará con las conclusiones (Montero-Alonso et al., 2014).

Materiales y métodos

En este modelo de revisión se expone cómo se lleva a cabo la estrategia de búsqueda e identificación de documentos, para obtener la bibliografía con la que se van a desarrollar unos resultados con los que responder a los objetivos planteados. Este protocolo se realiza mediante el uso de palabras clave como criterios de búsqueda en bases de datos bibliográficas. Se revisa la bibliografía obtenida y se descarta la que no presente información adecuada, o no se encuentre dentro de la franja temporal seleccionada para el estudio. Se organiza la bibliografía obtenida de modo que con ella se obtengan los datos para lograr resolver los objetivos (Sifuentes, 2012).

Resultados

En este modelo de revisión, se trabajan los datos obtenidos y se elaboran unos resultados propios. Se organizan los documentos en apartados temáticos en función de los aspectos más importantes encontrados en la revisión de los documentos. Los datos de los resultados deben responder a la pregunta de investigación y tener coherencia con los objetivos (Montero-Alonso et al., 2014). En este apartado se deben incluir figuras o tablas para representar la información gráficamente. Estos resultados sirven para explicar las razones que han motivado la elección de un problema concreto, su lectura desprende los objetivos y las hipótesis que se quieren analizar a través de la investigación (Méndez, 2010).

Discusión

Se explica, mediante la bibliografía seleccionada, a que son debidos los resultados obtenidos, exponiendo, por tanto, el estado actual del tema estudiado. Se analiza que puede deducirse de los resultados obtenidos para resolver los objetivos, y sacar conclusiones explicando el porqué de los resultados (Méndez, 2010).

Conclusiones

Se deben extraer conclusiones respecto a toda la revisión realizada, de modo que se responda de forma sintética a cada objetivo planteado. Deben explicar las principales aportaciones de la investigación bibliográfica realizada. Y no deben aparecer citas bibliográficas en las conclusiones (Amezcuca, 2015).

Futuras líneas de investigación

En este apartado deben exponerse los campos que quedan por continuar estudiando sobre el tema tratado, resaltando los aspectos de mejora sobre el tema para su abordaje en futuras investigaciones (Amezcuca, 2015).

BIBLIOGRAFÍA

Montero-Alonso, M. Á; Pérez-Castro, M. Á (2014). *Guía para la elaboración del trabajo final de grado (TFG)*. Gestión y Edición de Publicaciones Profesionales, SL.

Amezcu, M. (2015). Cómo estructurar un Trabajo Académico en la modalidad de Revisión de la Literatura. Gomeres. [en línea] <http://index-f.com/gomeres/?p=993> [capturado: 11/04/2020]

Méndez, M. (2010). *Como escribir artículos científicos*. Tundra Ediciones, Valencia

Sifuentes, C. R. philosophia, scientia et praxis. (2012). ¿Qué es la revisión bibliográfica? [en línea] <https://filocien.blogspot.com/2012/05/que-es-la-revision-bibliografica.html> [capturado: 11/04/2020]

Revisión bibliográfica y actualizaciones dentro del género *Vanilla* con énfasis en las especies productoras de vainilla

RESUMEN

En la extracción de vainilla a partir de las orquídeas del género *Vanilla*, se produce vainillina, como componente principal, y más de 200 compuestos encargados de dar a la vainilla natural sus características organolépticas. Actualmente, se sintetiza vainilla artificial más económica, aunque los consumidores siguen prefiriendo la natural, de mejor calidad, por lo que la demanda de vainilla natural es casi el doble de la oferta y su precio es muy elevado. De todo el género solo se cultivan con interés comercial las especies *V. pompona*, *V. tahitensis* y *V. planifolia*. Esta última, controla casi la totalidad del comercio de la vainilla debido a su impacto económico, ecológico y social. En los últimos años, se ha incrementado el interés de la vainilla en la industria alimentaria, cosmética, farmacéutica y en aplicaciones médicas. También se ha prestado especial atención al estudio de las estrategias reproductivas y los niveles derivados de la diversidad genética con fines de conservación. En este trabajo se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica de artículos y documentos científicos sobre el género *Vanilla* durante el siglo XXI. El objetivo principal es determinar cómo ha evolucionado el interés científico del género y la especie *V. planifolia*, así como los campos de investigación asociados a *V. planifolia* durante este periodo. Para un mejor manejo de la base de datos bibliográfica los temas se clasificaron en tres grandes bloques: “Investigación básica”, “Producción industrial” e “Historia y sociedad”. Se concluye que hay una relación positiva entre el interés económico de las especies estudiadas y los proyectos de investigación que generan publicaciones científicas. Igualmente, las áreas de estudio más financiadas y con mayor productividad científica, son aquellas vinculadas con la producción industrial de vainilla.

PALABRAS CLAVE

Vainilla, *Vanila*, *Vanila planifolia* y producción científica.

INTRODUCCIÓN

El género *Vanilla* Plumier ex Miller está constituido por especies con morfología, fisiología y ecología muy diversa (Gantait et al., 2017). En general son plantas con flores grandes y atractivas (Figura 1B). Muchas especies de este género pueden cultivarse con facilidad, pero solo unas pocas especies son comunes en horticultura (Cameron, 2011). De algunas de ellas se extrae la vainilla, un extracto concentrado con olor y sabor comúnmente utilizados en la industria alimenticia, cosmética y del bienestar, con un gran interés comercial (Figura 1 C, D, F). Es la segunda especie aromática más costosa en la industria alimenticia, después del azafrán (Andrade-Andrade et al., 2018). Aunque son muchos y muy variados los componentes de la vainilla natural, el componente principal es la vainillina (4-hidroxi-3-metoxibenzaldeído). Los extractos de vainilla proceden de las vainas de la planta (Figura 1 A, B) después del curado (Figura 1 E), proceso en el que las vainas sufren cambios bioquímicos y enzimáticos, con los que se generan los compuestos encargados de dar el característico sabor y fragancia a la vainilla (Baqueiro-Peña et al., 2017). De las casi 200 especies que forman este género (Rodolphe et al., 2011; Khoyratty et al., 2018), solo *V. planifolia* ex Andrews Jacks., *V. tahitensis* JW Moore. y *V. pompona* Schiede, se utilizan en la extracción de la vainilla (Khoyratty et al., 2018; Gantait et al., 2017). De ellas, *V. planifolia* es la especie más importante debido a su impacto económico. Representa el 95% de la vainilla que se produce con interés comercial, gobierna el mercado de los saborizantes y su demanda casi es el doble de su oferta (Azofeifa-Bolaños et al., 2014; Rodolphe et al., 2011). Además, contribuye a la conservación y valorización de los bosques y otros recursos naturales y tiene un impacto social muy positivo en las regiones de producción, beneficiando a los pequeños productores (Azofeifa-Bolaños et al., 2014). No cesan los esfuerzos para encontrar nuevas especies de *Vanilla* a partir de las cuales extraer vainilla natural, mucho mejor considerada en el mercado que la sintética (Lopes et al., 2019). Esto se debe a la dificultad de producción actual, susceptibilidad de las especies y la alta demanda de los mercados, seguida del aumento de los precios de este producto. Se necesitan nuevas especies como fuentes alternativas para mejorar el cultivo y sabor, con el objetivo de aumentar la producción de ingredientes activos y ampliar los recursos genéticos. Recientemente se ha descrito una nueva especie (*Vanilla bahiana* Hoehne) a partir de la cual se obtiene vainilla natural. Esta especie expresa algunas de las enzimas más importantes en la síntesis del sabor de vainilla, además de producir vainillina (Lopes et al., 2019; Chattopadhyay et al., 2018).

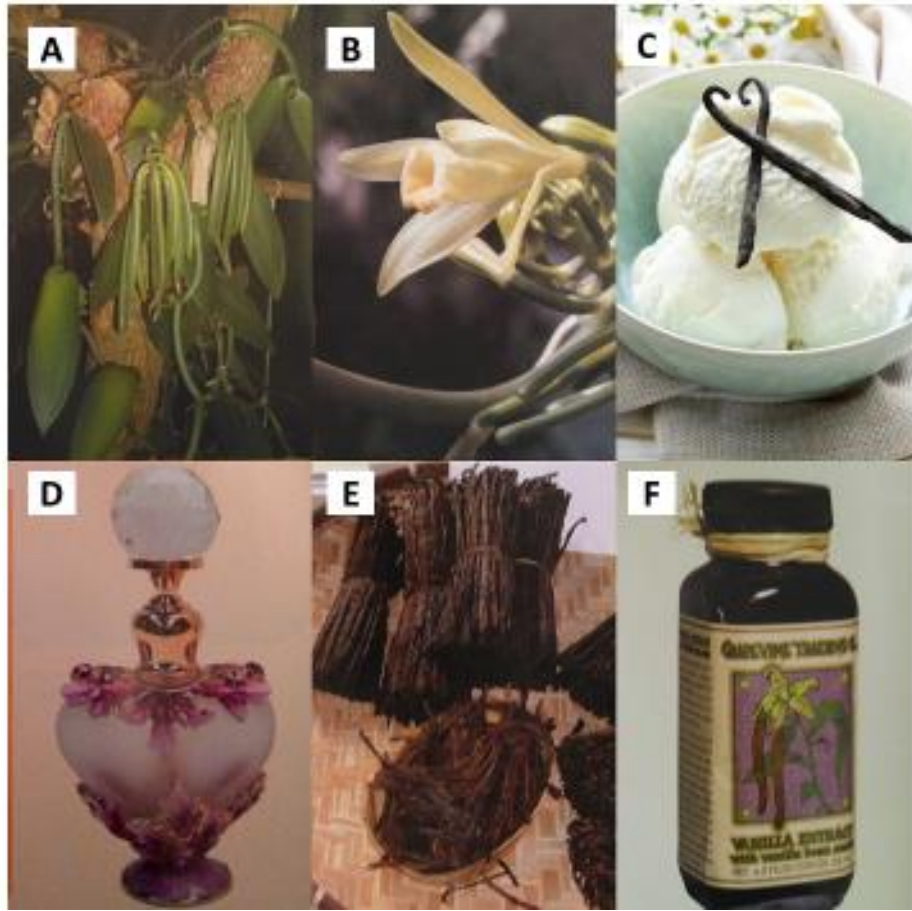


Figura 1. A. Vainas de *V. planifolia* en su punto de recolección (Cameron 2011). B. Flor y vainas de *V. planifolia* (Cameron, 2011). C. Helado sabor vainilla, <https://hacerhelado.com/helado-de-vainilla/>. D. Colonia y ambientador con fragancia y olor de vainilla (Cameron 2011). E. Curado de vainas de *V. planifolia* (Cameron, 2011). F. Extracto sabor vainilla (Cameron, 2011).

El género se distribuye en la franja tropical de América del sur y central, el Caribe y el sur de Florida; África tropical e Islas del Índico; India tropical, Sudeste de Asia, Nueva Guinea e Islas del Pacífico (Rodolphe et al., 2011; Cameron, 2011, Figura 2). No hay datos de especies nativas de Australia tropical, aunque los parientes vivos más cercanos del género, *Pseudovanilla* y *Erythrobis*, son comunes en esta zona (Cameron 2011). El origen de domesticación de las especies productoras de vainilla data de principios del siglo XV y tuvo lugar en el sureste de México (Bory et al., 2008). Posiblemente *V. planifolia* y *V. pompona*, fueron las primeras en ser domesticadas por los indígenas Totonacas y Mayas. La domesticación tuvo gran importancia en el imperio Azteca por estar relacionada con su mitología, pero al no poder cultivarse en las zonas secas y elevadas del centro de México, se convirtió en un elemento importante de comercio en Mesoamérica, adquiriendo un elevado valor, siendo usada como moneda en intercambios comerciales (Cameron, 2011). La vainilla llegó a España a principios del s. XVI (Figura 2), tras la conquista por los españoles de México y América central, y sobre 1520 fue introducida en

Europa (Khoiratty et al., 2018), aumentando el espectro de usos y, por tanto, la demanda de las vainas de Vanilla creció. En la década de 1730, los esquejes de Vanilla comenzaron a cultivarse en Europa (Figura 2), pero ni florecían ni producían frutos, por lo que durante dos siglos continuó la exportación de México y América central a Europa, y la vainilla siguió siendo un producto de lujo. En 1807, en Paddington (Inglaterra), se recolectaron las primeras vainas en invernaderos; en 1836 en el Jardín Botánico de Lieja (Bélgica), florecieron plantas polinizadas a mano y en 1837-1838, florecieron en París. Estos tres casos aislados produjeron la revolución en la producción de vainilla en Europa (Cameron, 2011). Posteriormente, durante las primeras décadas del s. XIX, los franceses exportaron plántulas de *V. planifolia* a sus posesiones tropicales del Índico y del Pacífico (Figura 2). No producían frutos, porque al no estar presente el polinizador natural mesoamericano, era necesaria la polinización manual. Los europeos llevaron la vainilla a Norte América en 1809 (Figura 2). En 1841, se desarrolló en Isla Reunión y Madagascar un efectivo método de polinización manual, convirtiéndose en el principal productor y exportador mundial, perdiendo México la primacía productiva (Lubinsky et al., 2008 a). En la década de 1980 se han empezado a producir plantaciones en Asia (información obtenida a través de FAOSTAT, Food and Agriculture Organization of the United Nations) (<http://www.fao.org/statistics/es>). En la actualidad los países que más vainilla consumen son EEUU, Francia y Alemania (Lubinsky et al., 2008b) y los países que más vainilla producen son Indonesia y Madagascar (Borbolla-Pérez et al., 2017). Madagascar produjo en 2017 el 39,6 % e Indonesia el 29,5% de la producción mundial (FAOSTAT). El precio de la vainilla, aunque sufre muchas oscilaciones, normalmente suele situarse entre los 100-200 \$ / Kg, precio que permite a la industria emplear el producto natural y es conveniente para los productores (Porras, 2013).

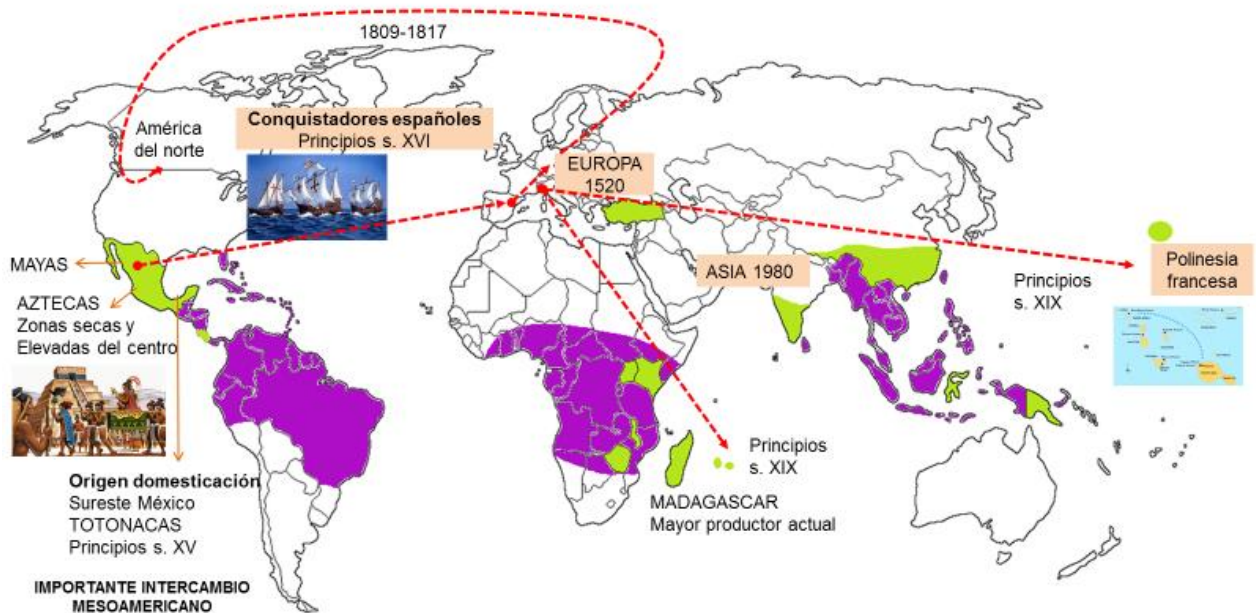


Figura 2. Mapa mundial de la distribución natural del género *Vanilla*, (color morado). Origen de domesticación en México y los movimientos antrópicos que han sufrido las especies con interés comercial y económico a lo largo de la historia (flechas de color rojo). Países productores de vainilla, en los que se cultivan *V. planifolia*, *V. tahitensis* y *V. pompona* (color verde). Figura de elaboración propia en base a información obtenida de Bory et al., (2008), Cameron (2011), FAOSTAT (2017), Khoyratty et al., (2018) y Rodolphe et al., (2018).

Además del evidente interés económico de este grupo, *Vanilla* es un género particularmente interesante desde el punto de vista filogenético y biogeográfico, por tratarse de un linaje basal y primitivo dentro de la Familia Orchidiaceae (Cameron 2009, 2010). Aún permanecen sin resolver muchas dudas sobre las relaciones filogenéticas entre las especies de este género, posiblemente como consecuencia de una mala selección en los marcadores moleculares, que no parecen resolver las relaciones a nivel de especie (Bory et al., 2008; Cameron 2009, 2010). El origen de diversificación del género ha sido también objeto de controversia. Portès apoyó la hipótesis de que Indo-malaya es el centro de diversificación principal de este género, debido a que las poblaciones Indo-malayas se diversificaron y evolucionaron por una parte en Madagascar, Islas Mascarenhas y África; y por otra en las Islas de Asia Oriental y el Pacífico Occidental. Las especies asiáticas, por tanto, han evolucionado durante el terciario hace 65 Ma, con una migración hacia el Pacífico, y desde allí directamente hacia América, o menos probable, indirectamente hacia Asia continental y Europa (Bory et al., 2008). Sin embargo, los primeros estudios filogenéticos sugirieron un origen del género norte-centro americano hace 160-120 Ma, con una posterior migración transcontinental. Estudios más recientes indican un origen en el Cretácico superior (72 Ma), seguido de una migración transoceánica, de África a Asia, de África al suroeste

de islas del Índico y de África de regreso al Caribe americano (Rodolphe et al., 2011). Esta dispersión transoceánica sería posible porque las frutas y semillas de orquídeas vainilloides son diferentes a las del resto de orquídeas y pueden ser dispersadas por aves u otros vectores a larga distancia (Cameron, 2011). Estudios biogeográficos históricos más recientes, basados en datos filogenéticos, sugieren que *Vanilla* es un género pan-tropical y las especies de América del sur son hermanas de las de África y Asia. Por lo que el linaje de *Vanilla* evolucionó antes de lo que se creía (Bory et al., 2008).

A pesar de que, dentro de la Familia, se encuentran altas tasas de divergencia molecular entre géneros e incluso entre especies (Havkin-Frenkel et al., 2011), el género *Vanilla* presenta diversidad genética baja debida a la reproducción autógena (Gamboa-Gaitán, 2013). La historia del origen de la *Vanilla* cultivada sugiere que todo el stock fuera de México puede ser de un único stock genético, y durante los últimos 400 años los humanos han desempeñado un papel importante en la dispersión y propagación de la *Vanilla* en el Nuevo Mundo (Minoos et al., 2008). Es necesaria la conservación genética de las especies que se cultivan con interés comercial, sobre todo de *V. planifolia*, por la fuerte presión de selección a nivel mundial de esta especie (Azofeifa- Bolaños et al., 2014). Además, a pesar de su extensa producción, presenta problemas de conservación debido a la urbanización, deforestación y pérdida de hábitat (Lubinsky et al., 2008 b). La mejor manera para preservar los recursos genéticos de *Vanilla* debe ser la conservación *in situ* en su hábitat natural, pero no es una alternativa viable si no está conectada a las estrategias de conservación del área global. Es, por tanto, también necesaria una conservación *ex situ* (Bory et al., 2008). La propagación basada en el corte de tallos no resuelve la demanda industrial, es necesaria la multiplicación a través de la propagación *in vitro* para la distribución y conservación a gran escala de plantas/germoplasma, que asegura la rápida multiplicación de la especie (Gantait et al., 2017). Para llevar a cabo estrategias de conservación adecuadas hay que conocer bien las estrategias reproductivas y los niveles derivados de la diversidad genética de las especies (Rodolphe et al., 2011). La crioconservación es la técnica más segura y rentable para el almacenamiento a largo plazo, y la transformación genética se suele usar para transferir rasgos de resistencia contra patógenos dañinos y el estrés ambiental (Gantait et al., 2017). El establecimiento de bancos de germoplasma en el campo o *in vitro* es esencial para perpetuar los genotipos existentes y mejorar la reproducción y producción de vainilla (Bory et al., 2008).

Este género vuelve a ser noticia puesto que, recientemente, a extractos extraídos de algunas de sus especies, se les han atribuido propiedades antimutagénicas, anticancerígenas y neuroprotectoras (Borbolla-Pérez et al., 2017; González-Chávez et al., 2018). En la sociedad moderna se están extendiendo de manera alarmante las enfermedades neurológicas (Kundu et al., 2013). En extractos de raíces de *V. planifolia* se encuentran vanillina y metoxibenzaldehidos, potenciales inhibidores de enzima acetilcolinesterasa, con papel crucial en sistema nervioso

central. Estos inhibidores son usados para disminuir los síntomas de enfermedades como el alzhéimer, párkinson, migraña o epilepsia (Kundu et al., 2013). También se han encontrado compuestos derivados de plantas de *Vanilla* con propiedades antimutagénicas y capacidad de potenciar la eficacia de fármacos contra el cáncer (Durant et al., 2003). Por tanto, además de mejorar la calidad de los alimentos, los extractos fragantes de *Vanilla*, pueden servir como componente importante en el diseño de nuevos alimentos funcionales y fármacos que promuevan la salud, expandiendo sus usos como remedio a trastornos neurológicos y mutagénicos (Durant et al., 2003; Kundu et al., 2013).

En resumen, considerando el interés sobre este género, no solo por sus usos en la industria alimentaria y cosmética, sino también por su particular valor filogenético, evolutivo y en conservación, así como por sus nuevas aplicaciones en medicina, creemos interesante llevar a cabo una revisión bibliográfica que aborde las siguientes cuestiones:

- ¿Cuál ha sido la producción científica en torno a este género desde el comienzo del siglo XXI?
- Considerando que el origen de domesticación y dispersión se localiza en centro y norte América, ¿Cómo está evolucionando la producción científica de las especies propias de esta área geográfica en los últimos años?
- Centrándonos en *V. planifolia*, ¿Cuál ha sido la evolución de la producción científica en lo que llevamos de siglo? ¿Qué campos del saber, en torno a esta especie, suscitan más interés y por qué?

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la recogida de los datos bibliográficos se ha realizado una revisión sistemática de artículos y documentos científicos relacionados con las orquídeas del género *Vanilla*, recogidos principalmente en el portal SCOPUS <https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic>. También se adquirieron documentos del buscador Google Scholar <https://www.google.com/search?q=google+scholar&oq=google+scholar&aqs=chrome..69i57j69i60j0l4.2275j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>, y datos de la base de datos estadísticos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAOSTAT) <http://www.fao.org/statistics/es/>. La explotación de dichas fuentes documentales mediante el uso de palabras clave como criterios de búsqueda, dio lugar a la obtención de un listado previo de

publicaciones, el cual fue objeto de un primer proceso de análisis detallado, con el fin de suprimir aquellas publicaciones que no tuvieran relación con el tema de esta investigación.

La evaluación de la producción científica del género *Vanilla* a partir del año 2000, se realizó buscando en el portal SCOPUS los documentos en los que apareciera el concepto “*Vanilla*” en el título del artículo y/o en el resumen y/o en las palabras claves. Se refinaron los resultados analizando exclusivamente a el área temática de “Ciencias Agrícolas y Biológicas”, las búsquedas se limitaron al periodo comprendido entre los años 2000 y 2019, y se revisaron los trabajos para verificar que la búsqueda a través de SCOPUS se había realizado correctamente.

Dado que el origen del género desde un punto de vista evolutivo, biogeográfico y de dispersión, parece corresponder a América del norte y central, evaluamos la producción científica de las especies encontradas en esta área: *V. planifolia*, *V. pompona*, *V. odorata*, *V. mexicana*, *V. bicolor*, *V. barbellata*, *V. inodora*, *V. dilloniana*, *V. palmarum*, *V. claviculata*, *V. phaeantha*, *V. poitaei*, *V. bakeri* y *V. correllii*. Incorporamos a nuestra revisión *V. tahitensis*, un híbrido principalmente cultivado en Tahití, dado su interés comercial. Se buscaron en el portal SCOPUS los documentos que contienen en el título y/o resumen y/o palabras claves, el nombre de cada una de las especies seleccionadas, a partir del año 2000. Se verificó, mediante una revisión de los trabajos, que la búsqueda a través de SCOPUS se hubiera realizado sin errores informáticos.

Al ser *V. planifolia* la especie con más interés de estudio y la que mayor producción científica presenta, en el portal SCOPUS se buscaron, en el periodo 2000-2019, los documentos que incluían en su título y/o resumen y/o palabras clave “*Vanilla planifolia*” y se revisaron para clasificarlos en tres apartados (14 campos temáticos): “Investigación Básica” que a su vez se presenta en diferentes subapartados: “Histología”, “Diversidad genética”, “Filogenia”, “Genética molecular” y “Conservación”; “Producción Industrial” que se subdivide en “Metabolitos”, “Cultivo”, “Bioma”, “Procesos de producción”, “Aplicaciones comerciales”, “Cosecha y procesamiento”, “Control de calidad” y “Polinización”. Por último, un tercer bloque formado por “Historia y sociedad”. Esta clasificación se ha realizado para simplificar y discutir la revisión bibliográfica de *V. planifolia* y tratar de dilucidar hasta qué punto el interés que suscita esta especie desde el punto de vista económico, marca la tendencia en los objetivos de los trabajos de investigación.

RESULTADOS

Un total de 844 trabajos sobre el género *Vanilla* en el área de “Agricultura y Ciencias Biológicas” han sido publicados en el periodo 2000-2019. El interés por este género sigue una tendencia creciente (Figura 3). A principios del siglo la producción fue manteniéndose sin cambios significativos de tendencia, con un repunte a partir del año 2006 hasta 2010, el año con mayor producción (75 documentos). Este número decayó a 47 documentos, más de un 25%, en tan solo un año, para volver a continuar con el aumento hasta encontrar otro máximo en 2017 (71 publicaciones).

En el mismo periodo de tiempo, 2000-2019, se han publicado 276 trabajos de la especie *V. planifolia* (Figura 3), un 31% de las publicaciones disponibles de todo el género. Es decir, casi un tercio de las publicaciones relacionadas con todo el género, se centran en *V. planifolia*. La variación de la producción científica por años de esta especie es muy similar a la de todo el género *Vanilla*. En ambas hay una tendencia creciente, aunque mucho más acusada en el género.

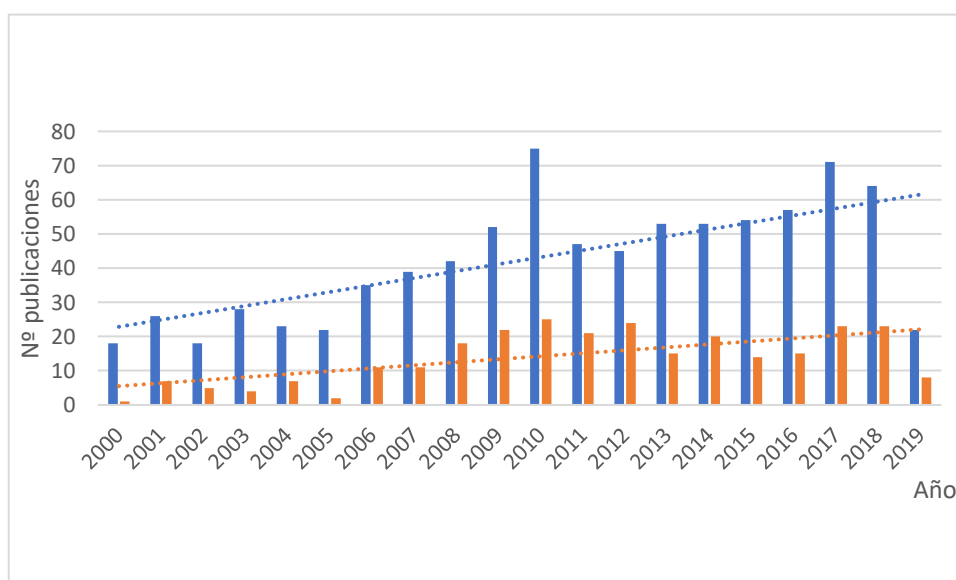


Figura 3. Producción científica del género *Vanilla*, en azul, y de la especie *V. planifolia*, en naranja, desde el año 2000. Las líneas discontinuas representan la tendencia en la producción científica.

En cuanto a la producción científica en función a las especies norte-centroamericanas, el número de documentos disponibles es de 357, de los cuales el 77,3 % corresponde a *V. planifolia*. Con una media de producción anual de 14,1 trabajos (excluyendo el año 2019), siendo el año 2010 el más productivo con 25 publicaciones. *V. tahitensis* representa el 7,3 % de las publicaciones, *V. pompona* el 4,8 % y *V. odorata* el 4,3 %. El resto de estas especies se sitúan por debajo de un 2% de publicaciones. Algunas como *V. bakeri* y *V. correlli*, no muestran publicaciones en el concepto

de título del artículo y/o en el resumen y/o en las palabras claves, pero sí aparecen en documentos todas estas especies, si se amplía a “búsqueda en el concepto de texto completo”.

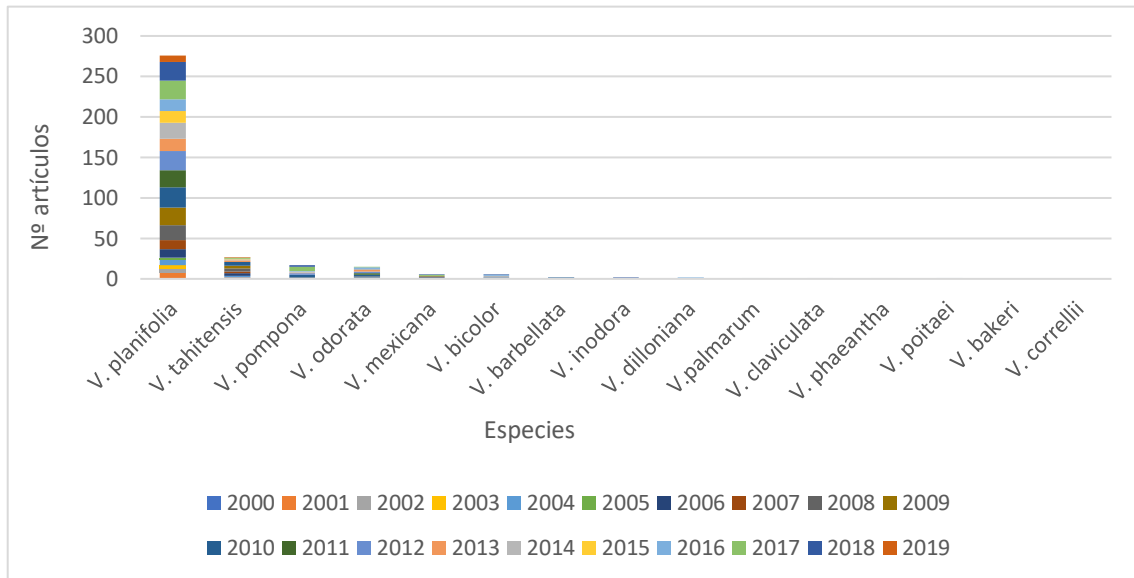


Figura 4. Producción científica de las especies del género *Vanilla* norte-centro americanas, incluyendo México y el Caribe, diferenciando la producción de cada año a partir del 2000.

En la figura 5, se observa la producción científica relacionada con *V. planifolia*, en función de los temas o campos del saber en los que se ha investigado con esta especie.

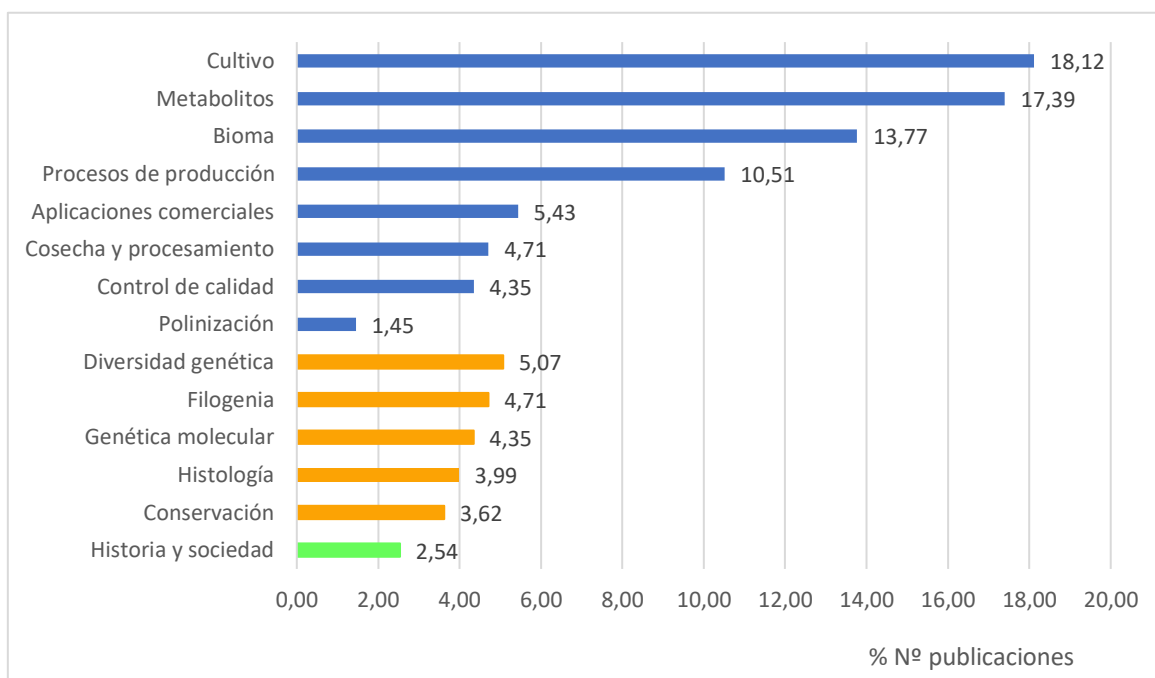


Figura 5. Producción científica clasificada en temas o campos del saber, de la especie *V. planifolia*, en el siglo XXI. En azul están representados los campos temáticos del apartado “Producción industrial”, en naranja los del apartado de “Investigación básica” y en verde los de “Historia y sociedad”.

Un total de 276 trabajos de *V. planifolia* fueron obtenidos de las bases de datos y distribuidos en los 14 campos temáticos (Figura 5). En el apartado de “Investigación Básica”, se localiza un 21,74% del total de trabajos publicados con cinco áreas temáticas. El número de publicaciones en estas áreas no muestra mucha diferencia entre ellas. El apartado “Diversidad genética” comprende 14 publicaciones que recoge temas como la biodiversidad de especies, su distribución geográfica, y características genéticas. El tema de “Filogenia” incluye trabajos relacionados con el parentesco entre las especies y poblaciones, su origen y desarrollo evolutivo, aparición de nuevas especies del género e híbridos. En total son 13 trabajos de los cuales un 23,08% tratan de especies híbridas y un 30,77% de la aparición de nuevas especies. Los trabajos sobre secuenciación, análisis genético y molecular se recogen en el apartado “Genética molecular” (12 referencias). Los trabajos histológicos publicados en este periodo fueron 10 y tratan temas como la composición, estructura, características y clasificación de los órganos y tejidos. Por último, El tema de “Conservación” agrupa los 10 trabajos que tratan todas las técnicas para conservar la diversidad genética de esta especie, tanto *in vitro*, como *in situ*.

El apartado denominado “Producción industrial” constituyó el 75,72% de la producción científica publicada y es, por tanto, el más representado. En el subapartado “Cultivo” se recogieron 50 publicaciones (18,12 % del total) que abarcan el estudio, tanto de los cultivos *in situ* como *in*

in vitro, en los que aparece la micropropagación, el cultivo de callos y tejidos, y la regeneración *in vitro*. El área de “Metabolitos” fue la segunda más representada (17,39 %). De ellos, más del 75% se centran en los metabolitos implicados en las características organolépticas de la vainilla y el resto se centran en procesos metabólicos generales y reacciones químicas. En el apartado de “Bioma” se encuentran 38 trabajos que se dividen en tres subapartados, el 68,42 % de las publicaciones trataron sobre patógenos, el 15,79% sobre los microorganismos endófitos y el otro 15,79% sobre rizófitos; mostrando las relaciones de estos microorganismos con la vainilla, su diversidad organoléptica y funciones. Veintinueve trabajos estudian los “Procesos de producción”; tanto la producción y extracción natural a partir de vainas de *Vanilla*, como la biosíntesis, síntesis *de novo*, bioconversión microbiana y extracción con microcápsula. En el apartado de “Aplicaciones comerciales” se incluyen 15 trabajos que estudian las aplicaciones de vainilla en medicina, industria farmacéutica, alimentaria y cosmética. En “Cosecha y procesamiento” se clasifica todo lo relacionado con la recolección, curado y matanza de las vainas hasta la obtención del sabor vainilla, con un total de 13 trabajos. Doce trabajos relacionados con evitar actividades fraudulentas para autenticar la vainilla natural frente a la sintética o la adulteración de productos de vainilla, se incorporan en el apartado de “Control de calidad”. Por último, se encuentran 4 publicaciones de “Polinización”, tema que incluye los trabajos referentes al proceso de polinización y fecundación de *V. planifolia*.

En el apartado de Historia y sociedad se incluyen 7 trabajos referentes a temas socioeconómicos, con influencia medio ambiental y de la historia del género *Vanilla* desde el punto de vista antrópico.

DISCUSIÓN

Los resultados del estudio mostraron que, de las 15 especies descritas en el norte-centro de América, la que mayor representación científica mostró, en términos de publicaciones, es *V. planifolia* (Figura 3 y 4). Estos resultados pueden explicarse puesto que es la especie de mayor interés económico y comercial. Alrededor del 95% de la producción mundial de vainilla procede de esta especie (Lubinsky et al., 2008 b). La segunda y la tercera especie con mayor interés científico es *V. tahitensis* y *V. pompona*, respectivamente, ambas con marcado interés comercial (Casas et al., 2014). Con una producción científica muy cercana a *V. pompona* se sitúa *V. odorata* (Figura 4). Esta especie no se ha estudiado por su interés comercial directo, dado que no produce vainilla a escala industrial. Su interés científico viene dado por ser uno de los progenitores del híbrido *V. tahitensis* (*V. odorata* x *V. planifolia*) (Lubisky et al., 2008 a). El resto de las especies vainilloides de esta área geográfica tiene un interés científico muy reducido (Figura 4),

posiblemente debido a su escaso valor comercial y a que no reflejan importancia en términos económicos (Azofeifa-Bolaños et al., 2014). Por tanto, los resultados parecen mostrar una correlación directa entre el interés económico de las especies norte-centro americanas y los proyectos de investigación que se desarrollan y que derivan en publicaciones científicas. Resulta llamativo que de las casi 200 especies de *Vanilla* (Rodolphe et al., 2011), solo una de ella, *V. planifolia*, recoja casi un tercio de todas las publicaciones (Figura 3). En lo que llevamos de siglo el interés por esta especie sigue creciendo, al igual que el interés por el género en su conjunto, a pesar de que en el siglo XIX la vainilla artificial fue sintetizada en los laboratorios y posteriormente comercializada (Khoiratty et al., 2018). La vainilla sintética es mucho más barata que la natural, y en su momento, resultó revolucionaria en los mercados, pero no ha llegado a cuajar en los consumidores. Esto se debe fundamentalmente a que se buscan productos libres de aditivos artificiales, además de que la calidad organoléptica del producto natural, que resulta de una mezcla de varios compuestos diferentes es mayor que la del producto artificial (Lopes et al., 2019). En términos de calidad, la vainilla natural tiene un aroma y un rendimiento de fragancia superiores a la vainilla sintética, porque la natural presenta múltiples compuestos menores que dan notas especiales al sabor (González et al., 2018). Además, algunos sabores sintéticos similares a la vainilla, como cumarina, se han asociado con el desarrollo de cáncer (Cameron, 2011). A principios de los años 80, empezó el aumento de la tendencia en los mercados internacionales de productos naturales, considerados seguros para la salud humana (De la Cruz et al., 2009), tendencia que como hemos podido comprobar en lo que va de siglo, se mantiene (Figura 4).

Así las cosas, el mercado mundial de vainilla exige una mayor disponibilidad del producto natural, cambios en la forma de producción, procesado, manejo de los alimentos y leyes de seguridad alimentaria. El elevado interés por el producto natural y la escasez en su producción hace que el precio del producto se dispare y cualquier herramienta que favorezca la productividad, ajustándose a las normativas de seguridad, son bienvenidas (De la Cruz et al., 2009). A priori, cabe pensar que todos los aspectos relacionados con los procesos de mejora en el **“Cultivo”** deberían ser objetivos prioritarios de estudio. Nuestra revisión confirma, en una primera aproximación bibliográfica esta hipótesis (Figura 5). El cultivo tradicional a través de esquejes es laborioso y comercialmente insostenible. Más eficaz es la propagación *in vitro*, la cual consiste en el cultivo en condiciones asépticas de diferentes tejidos, órganos o cualquier zona totipotente de la planta lo que va a producir plantas libres de enfermedades (Gantait et al., 2017). Se está avanzando considerablemente en los estudios biotecnológicos, como el establecimiento de cultivos de suspensión celular, la selección *in vitro* de células resistentes al estrés biótico o abiótico, la micropropagación masiva, el aislamiento y la fusión de protoplastos, la transferencia de genes y las investigaciones sobre vías celulares. (Ramírez-Mosqueda et al., 2017). Tras el cultivo, llega la **“cosecha y el procesamiento”**, otros aspectos dentro de la cadena de producción

objeto de mejora. Las frutas de *Vanilla* son cosechadas cuando están maduras, pero no es hasta después de la curación cuando presentan su característico aroma y sabor, el cual puede variar en función de la región de crecimiento, la genética, la edad o el procesamiento (Baqueiro-Peña et al., 2017). Durante el procesamiento de la vainilla, primero se realiza la matanza, eliminación de células vivas de las vainas. Y a continuación el curado, hidrólisis de gucovanillina mediante enzimas β -glucosidasas formando vainillina y glucosa y generando hasta 200 compuestos distintos (Cameron, 2011). El área temática de “**Metabolitos**” esta también altamente representada, dado que engloba los estudios relacionados con el metabolismo de las plantas y sus metabolitos. Solo el aroma de la vainilla está constituido por más de 200 sustancias químicas (Zeballos, 2017). El tipo y la cantidad de fitoquímicos varían en función de los tejidos vegetales y los sitios de recolecta de la planta. Uno de los aspectos que más ha preocupado a los científicos, son las interacciones de las plantas con microorganismos asociados (“**Bioma**”), de hecho, es la tercera categoría más representativa. Engloba los estudios referentes a patógenos, endófitos y rizófitos, los cuales tienen una fuerte influencia en el ciclo vital y funcional de *Vanilla*. Como los cultivos se reproducen mayoritariamente por propágulos vegetativos, su diversidad genética es baja y es altamente vulnerable a las infecciones por patógenos. (Gamboa- Gaitán, 2013). De hecho, el 68,42 % de las publicaciones están asociadas con patógenos que causan enfermedad. *Fusarium oxysporum*, es el principal y más devastador patógeno de *Vanilla* (Ramírez-Mosqueda et al., 2019) y hay más de diez virus cosmopolitas que invaden las plantas con efectos negativos en muchos casos (Gantait et al., 2017, Balaji et al., 2014, Wang et al., 2017, Palama et al., 2012, Madhubala et al., 2005). Esta área temática está tan representada porque, tal como sugiere Wang et al (2017), limitar la propagación de patógenos evita graves daños a la industria de la vainilla. Los trabajos relacionados con endófitos y rizófitos son más escasos y es recientemente que se les está prestando atención. Las plantas de vainilla que presentan endófitos (hongos o bacterias) van a producir más vainillina durante el curado tradicional, sin producir atributos sensoriales desagradables (Gu et al., 2015). Algunos de los metabolitos del sabor vainilla son sintetizados por estos endófitos interviniendo en la biotransformación de los metabolitos y contribuyendo a la complejidad del producto final (Khoiratty et al., 2015). Muchos endófitos y rizófitos actúan como promotores del crecimiento y protectores frente a patógenos con evidentes ventajas en la producción de vainas sanas (Khoiratty et al., 2018, White et al., 2014, Xiong et al., 2016). Los microorganismos rizosféricos son esenciales para la germinación y el desarrollo temprano de las semillas de las orquídeas (Gantait et al., 2017). Algunos rizófitos favorecen la disponibilidad de los nutrientes en el cultivo de vainilla y así promueven el crecimiento de la planta (Álvarez et al., 2012).

La producción de vainilla en 2017 fue de 8.144 toneladas (FAOSTAT), siendo Madagascar e Indonesia los principales productores (González et al., 2018). De ella, tal como hemos

mencionado, la más apreciada es la natural, que producen a pequeña escala, miles de agricultores en países tropicales, por lo que los trabajos relacionados con “**Procesos de producción**” son particularmente interesantes. Se ha tratado la producción de vainilla en tejidos vegetales sin mucho éxito y la alternativa de utilizar microorganismos (bacterias y hongos) está siendo explotada con resultados muy prometedores (Khoiratty et al., 2018). En los últimos años, además, las “**Aplicaciones comerciales**” se amplían. La industria alimentaria consume alrededor del 60% de la vainilla producida, la cosmética del 33% y la farmacéutica sobre un 7% (Gantait et al., 2017). Se utiliza en una amplia gama de productos como confitería, helados, conservante de alimentos, bebidas y perfumes (Gonzalez et al., 2018). Tiene una gran importancia en aplicaciones médicas por sus propiedades anticlastogénicas, antimutagénicas y anticancerígenas (Gantait et al., 2017). También se ha descubierto actividad analgésica de vainillina por receptores opioides (Rathnakar et al., 2012) y efectos afrodisiacos probados en ratas (Maskeri et al., 2012). Por lo que este es un incipiente e importante campo de trabajo científico. Asociado a la producción y usos comerciales se encuentra el “**Control de calidad**”. Cuanto mayor es el precio de la vainilla natural, mayor es el riesgo de que se produzcan fraudes comerciales (Guyader et al., 2019), como la venta de vainilla sintética, haciéndola pasar por natural con el falsificado de etiquetas o la mezcla y adulteración de muestras, con el propósito de vender la sintética al precio de la natural. Se investigan nuevas tecnologías y análisis para evitar estos fraudes y verificar la autenticidad de las muestras, como, por ejemplo, el análisis de relación de isótopos estables (Perini et al., 2019).

La “**Polinización**” y los procesos de fecundación de *Vanilla* presentan poca producción científica. La propagación vegetativa sigue siendo el modo de reproducción predominante (Bory et al., 2008). Las flores que crecen fuera de su área geográfica natural deben ser polinizadas a mano, porque su polinizador natural no se encontrará en esta área. Se transfiere el polen del estambre masculino al estigma femenino, el estambre se fusiona con el pistilo y el ovario inferior dónde se localizan los óvulos y se produce la germinación (Cameron, 2011). Hace tiempo que este sistema se ha fijado y no parece haber gran interés por mejorarlo.

El interés por la “**Investigación básica**” en este género es mucho menor, 27,74 %, (Figura 5) y eso que muchos de los trabajos que hemos denominado como “Investigación básica” tienen también una cierta carga de información utilizable en la mejora productiva. La “**Diversidad genética**” de las especies de *V. planifolia* es baja, sus cultivos se establecen a partir de esquejes y se polinizan manualmente. Presentan alta diferenciación debida a la dispersión limitada de semillas por abejas, deriva genética en poblaciones aisladas y exceso de homocigotos correspondiente a reproducción autógena (Rodolphe et al., 2011, Lubinsky et al., 2008 b). Estas quizás sean las causas fundamentales que han movilizadado la necesidad de conservar la especie. En términos “**Filogenéticos**” se sabe que el género *Vanilla* es basal dentro de la Familia, pero no

existe un patrón filogenético probable que explique la evolución del género (Cameron 2009, 2010, 2011, Minoò et al., 2008). La producción científica en este escenario evolutivo es baja (9,78 % considerando la suma de diversidad y filogenia). Faltan conocimientos en los procesos involucrados en la dinámica del genoma y sus posibles implicaciones en la diversificación del género. Las rutas evolutivas de rasgos importantes en el género, la capacidad de autopolinización y la acumulación de compuestos aromáticos en las frutas, son objetivos que deberían ser examinados (Rodolphe et al., 2011). Además, los estudios moleculares y citogenéticos deberían combinarse con morfológicos, rasgos de la historia y evaluaciones ecológicas para llevar a cabo una revisión completa de la taxonomía del género, esencial para crear pautas de “**Conservación**” para las especies en peligro de extinción (Rodolphe et al., 2011). Las razones fundamentales de esta extinción preocupante son la deforestación de su hábitat, cambio climático, explotación depredadora y patógenos pandémicos (Lopes et al., 2019). Un esfuerzo internacional y conjunto es ahora esencial para proteger y estudiar *V. planifolia* y especies relacionadas en su área de origen, donde se encuentra altamente amenazada, así como en áreas de introducción, donde se considera un recurso patrimonial con prácticas de cultivo tradicionales que se remontan al siglo XIX. (Bory et al., 2008).

Es importante poner en “**Valor social**” la producción de vainilla, la cual contribuye a la creación de empleo, si se cultivara con otras especies de importancia agrícola, promoviendo así el desarrollo sostenible de las comunidades rurales. El pago por la vainilla no curada a los pequeños agricultores de México está muy por debajo del precio que alcanza este producto en los consumidores. Estos agricultores se enfrentan a varias dificultades y si no se realizan intervenciones de capacitación efectivas, los pequeños agricultores no podrán acceder al comercio internacional (Borbolla-Pérez et al., 2017). Desde aquí, nos parece importante las buenas prácticas comerciales y un correcto marco legislativo útil que favorezca el desarrollo sostenible.

CONCLUSIONES

- Existe una clara relación entre el interés científico que despiertan las especies estudiadas del género *Vanilla* y su interés comercial y económico, al menos durante el espacio de tiempo estudiado.
- *V. planifolia* es la especie con un mayor número de publicaciones y su interés científico sigue una tendencia creciente, debido probablemente a que se trata de la especie que más vainilla produce.
- Las áreas temáticas que más se han abordado en proyectos de investigación y en publicaciones dentro de esta especie son aquellas estrechamente relacionadas con la producción industrial.

FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

Después de la revisión llevada a cabo, me parece que todavía existen muchos flecos en el conocimiento de esta especie por lo que a mi juicio, sería relevante para su futuro estudio los siguientes aspectos:

- Ampliar las investigaciones científicas sobre los extractos fragantes de *Vanilla*, con el fin de diseñar nuevos alimentos y fármacos con propiedades que puedan mejorar la salud y la calidad de vida.
- Describir nuevas especies alternativas de *Vanilla* a partir de las que extraer vainilla natural, como *V. Bahiana*, lo cual abarataría los costes sin detrimento de la calidad mejorando el acervo genético.
- Adquirir un mayor conocimiento sobre la información genética de este género, necesario para estudiar la biosíntesis microbiana de ácido ferúlico a vainillina, a través de microorganismos endófitos y no endófitos.
- Aclarar la filogenia de *Vanilla* y estudiar la dinámica del genoma y sus implicaciones en la diversidad del género para mejorar la técnica de conservación de especies de interés comercial, en especial de *V. planifolia*, así como su hábitat.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, C. L.; Marín, M.; Diez, M. C.; Osorio, N. W. (2012). Molecular identification of microorganisms associated to the rhizosphere of *Vanilla* and their potential use as biofertilizers. *Acta Horticulturae*, 964: 107-114
- Andrade-Andrade, G.; Delgado-Alvarado, A.; Herrera-Cabrera, B. E.; Arévalo-Galarza, L.; Caso-Barrera, L. (2018). Variation of phenolic compounds, flavonoids and tannins in *Vanilla planifolia* Jacks. Ex Andrews in the huasteca hidalguense, Mexico. *Agrociencia*, 52: 55-66
- Azofeifa-Bolaños, J. B.; Paniagua-Vásquez, A.; García-García, J. A. (2014). Importance and conservation challenges of *Vanilla* spp. (Orchidaceae) in Costa Rica. *Agronomía mesoamericana*, 25: 189-202
- Baqueiro-Peña, I.; Guerrero-Beltrán, J. Á. (2017). *Vanilla* (*Vanilla planifolia* Andr.), its residues and other industrial by-products for recovering high value flavor molecules: A review. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 6: 1-9

- Balaji, C. G.; Aravintharaj, R.; Nagendran, K.; Priyanka, R.; Karthikeyan, G. (2014). First report of *Vanilla distortion mosaic virus* (VDMV) in ornamental *Zinnia bicolor* in India. *Journal of Plant Pathology*, 96: S4.115
- Borbolla-Pérez, V.; Iglesias-Andreu, L. G.; Luna-Rodríguez, M.; Octavio-Aguilar, P. (2017). Perceptions regarding the challenges and constraints faced by smallholder farmers of *Vanilla* in Mexico. *Environment, Development and Sustainability*, 19: 2421-2441
- Bory, S.; Grisoni, M.; Duval, M-F.; Besse, P. (2008). Biodiversity and preservation of *Vanilla*: present state of knowledge. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 55: 551-571
- Cameron, K. M. (2009). On the value of nuclear and mitochondrial gene sequences for reconstructing the phylogeny of vanilloid orchids (Vanilloideae, Orchidaceae). *Annals of Botany*, 10: 377-385.
- Cameron, K. M. (2010). On the Value of Taxonomy, Phylogeny, and Systematics to Orchid Conservation: Implications for China's Yachang Orchid Reserve. *The Botanical Review*, 76: 165-173
- Cameron, K. M. (2011). *Vanilla orchids: natural history and cultivation*. Timber press, Portland
- Casas, L.; Castaño, B. (2014). Protocolo de aprovechamiento de la vainilla (*Vanilla* spp.) en el golfo de Tribugá (Nuquí, Chocó). En: Torres, M. C.; Casas, L. F. (Eds.) *Protocolos de aprovechamiento para flora silvestre no maderable. Metodología, estudios de caso y recomendaciones técnicas*: 68-87. Fondo Biocomercio - Fundación Natura, Bogotá
- Chattopadhyay, P.; Banerjee, G; Sen, S. K. (2018). Cleaner production of vanillin through biotransformation of ferulic acid esters from agroresidue by *Streptomyces sannanensis*. *Journal of Cleaner Production*, 182: 272-279
- De La Cruz, J.; Rodriguez, G. C.; García, H. S. (2009). *Vanilla: Post-harvest Operations*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Instituto tecnológico de Veracruz
- Durant, S.; Karran, P. (2003). Vanillins a novel family of DNA-PK inhibitors. *Nucleic Acids Research*, 31: 5501-5512
- Gamboa-Gaitán, M. (2013). Colombian *Vanilla* and its microbiota, I. *Acta Botanica Hungarica*, 55: 239-245
- Gantait, S.; Kundu, S. (2017). *In vitro* biotechnological approaches on *Vanilla planifolia* Andrews: advancements and opportunities. *Acta Physiologiae Plantarum*, 39: 196-215

- González, C. G.; Mustafa, N. R.; Wilson, E. G.; Verpoorte, R.; Choi, Y. H. (2018). Application of natural deep eutectic solvents for the “green” extraction of vanillin from *Vanilla* pods. *Flavour and Fragrance Journal*, 33: 91-96
- González-Chávez, M. C. A.; Torres-Cruz, T. J.; Sánchez, S. A.; Carrillo-González, R.; Carrillo-López, L. M.; Porrás-Alfaro, A. (2018). Microscopic characterization of orchid mycorrhizal fungi: *Scleroderma* as a putative novel orchid mycorrhizal fungus of *Vanilla* in different crop systems. *Mycorrhiza*, 28: 147-157
- Gu, F.; Chen, Y.; Fang, Y.; Wu, G.; Tan, L. (2015). Contribution of *Bacillus* isolates to the flavor profiles of vanilla beans assessed through aroma analysis and chemometrics. *Molecules*, 20: 18422-18436
- Guyader, F.; Thomas, F.; Jamin, E.; Grand, M.; Akoka, S.; Silvestre, V.; Remaud, G. S. (2019). Combination of ¹³ C and ² H SNIF-NMR isotopic fingerprints of vanillin to control its precursors. *Flavor and Fragrance Journal*, 34: 133-144
- Havkin-Frenkel, D.; Belanger, F. (2011). *Handbook of Vanilla Science and Technology*. Wiley-Blackwell, New Jersey
- Khoyratty, S.; Dupont, J.; Lacoste, S.; Palama, T.; Choi, Y.; Kim, H.; Payet, B.; Grisoni, M.; Fouillaud, M.; Verpoorte, R.; Kodja, H. (2015). Fungal endophytes of *Vanilla planifolia* across Réunion Island: Isolation, distribution and biotransformation. *BMC Plant Biology*, 15: 142
- Khoyratty, S.; Kodja, H.; Verpoorte, R. (2018). Vanilla flavor production methods: A review. *Industrial Crops & Products*, 125: 433-442.
- Kundu, A.; Mitra, A. (2013). Flavoring extracts of *Hemidesmus indicus* roots and *Vanilla planifolia* pods exhibit *in vitro* acetylcholinesterase Inhibitory Activities. *Plant Foods for Human Nutrition*, 68: 247-253
- Lopes, E. M.; Linhares, R. G.; de Oliveira, L.; Castro, R. N.; Souza, G. H. M. F.; Koblitz, M. G. B.; Cameron, L. C.; Macedo, A. F. (2019). *Vanilla bahiana*, a contribution from the Atlantic Forest biodiversity for the production of vanilla: A proteomic approach through high-definition nanoLC/MS. *Food Research International*, 120: 148-156.
- Lubinsky, P.; Cameron, K. M.; Molina, M. C.; Wong, M.; Lepers-Andrzejewski, S.; Gómez-Pompa, A.; Kim, S-C. (2008). Neotropical roots of a Polynesian spice: The hybrid origin of Tahitian *Vanilla*, *Vanilla tahitensis* (Orchidaceae). *American Journal of Botany*, 95: 1040-1047

- Lubinsky, P.; Bory, S.; Hernández-Hernández, S-C.; Gómez-Pompa, A. K. (2008). Origins and dispersal of cultivated *Vanilla* (*Vanilla planifolia* Jacks. [Orchidaceae]). *Economic Botany*, 62: 127-138
- Madhubala, R.; Bhadramurthy, V.; Bhat, A. I.; Hareesh, P. S.; Rethesh, S. T.; Bhai, R. S. (2005). Occurrence of *Cucumber mosaic virus* on *Vanilla* (*Vanilla planifolia* Andrews) in India. *Journal of Biosciences*, 30: 339-350
- Maskeri, R.; Ullal, S. D.; Belagali, Y.; Shoeb, A.; Bhagwat, V.; Ramy. (2012). Evaluation of aphrodisiac effect of vanillin in male *Wistar rats*. *Pharmacognosy Journal*, 4: 61-64
- Minoo, D.; Jayakumar, V. N.; Veena, S. S.; Vimala, J.; Basha, A.; Saji, K. V.; Nirmal Babu, K.; Peter, K. V. (2008). Genetic variations and interrelationships in *Vanilla planifolia* and few related species as expressed by RAPD polymorphism. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 55: 459-470
- Palama, T. L.; Grisoni, M.; Fock-Bastide, I.; Jade, K. O.; Bartet, L.; Choi, Y. H.; Verpoorte, R.; Kodja, H. (2012). Metabolome of *Vanilla planifolia* (Orchidaceae) and related species under *Cymbidium mosaic virus* (CymMV) infection. *Plant Physiology and Biochemistry*, 60: 25-34
- Perini, M.; Pianezze, S.; Strojnik, L.; Camin, F. (2019). C and H stable isotope ratio analysis using solid-phase microextraction and gas chromatography-isotope ratio mass spectrometry for vanillin authentication. *Journal of Chromatography A*, 1595: 168-173
- Porras, E. A. (2013) *Estudio de mercado para la comercialización nacional e internacional de vainilla natural (Vanilla tahitiensis)*. Universidad San Francisco de Quito
- Ramírez-Mosqueda, M. A.; Iglesias-Andreu, L. G. (2017). *Vanilla* (*Vanilla planifolia* Jacks.) cell suspension cultures: establishment, characterization, and applications. *3 Biotech*, 7: 242
- Ramírez-Mosqueda, M. A.; Iglesias-Andreu, L. G.; Teixeira da Silva, J. A.; Luna-Rodríguez, M.; Noa-Carrazana, J. C.; Bautista-Aguilar, J. R.; Leyva-Ovalle, O. R.; Murguía-González, J. (2019). *In vitro* selection of *Vanilla* plants resistant to *Fusarium oxysporum* f. sp. *Vanillae*. *Acta Physiologiae Plantarum*, 41: 40
- Rathnakar, U. P.; Srikanth, D.; Menezes, V. A.; Ashok, K.; Acharya, S. D.; Nishchal, B. S.; Shivaprakash, G.; Udupa, A. L. (2012). Evaluation of antinociceptive activity of Vanillin mediated through opioid receptors. *Drug Invention Today*, 4: 674-676
- Rodolphe, G.; Séverine, B.; Michel, G.; Pascale, B. (2011). *Biodiversity and Evolution in the Vanilla Genus*. IntechOpen, Sainte Clotilde

- Wang, Y. N.; Melzer, M. J.; Borth, W. B.; Green, J. C.; Hamim, I.; Hu, J. S. (2017) First report of *Bean yellow mosaic virus* in *Vanilla* in Hawaii. *Plant Disease*. 101: 1557
- White, J. F.; Torres, M. S.; Sullivan, R. F.; Jabbour, R. E.; Chen, Q.; Tadych, M.; Irizarry, I.; Bergen, M. S.; Havkin-Frenkel, D.; Belanger, F. C. (2014). Occurrence of *Bacillus amyloliquefaciens* as a systemic endophyte of *Vanilla* orchids. *Microscopy Research and Technique*, 77: 874-885
- Xiong, W.; Zhao, Q.; Xue, C.; Xun, W.; Zhao, J.; Wu, H.; Li, R.; Shen, Q. (2016). Comparison of fungal community in black pepper-vanilla and vanilla monoculture systems associated with vanilla *Fusarium* wilt disease. *Frontiers in Microbiology*, 7: 117
- Yang, H.; Barros-Rios, J.; Kourteva, G.; Rao, X.; Chen, F.; Shen, H.; Liu, C.; Podstolski, A.; Belanger, F.; Havkin-Frenkel, D.; Dixon, R. A. (2017). A re-evaluation of the final step of vanillin biosynthesis in the orchid *Vanilla planifolia*, *Phytochemistry*, 139: 33-46
- Zevallos, J. Á. (2017). *Análisis metabolómico de extractos de Vanilla sp. (Orchidaceae) mediante resonancia magnética nuclear*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima
-