



Scientia Agropecuaria

Web page: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>

Facultad de Ciencias
Agropecuarias


Universidad Nacional de
Trujillo



REVIEW

Vaccinium spp.: Karyotypic and phylogenetic characteristics, nutritional composition, edaphoclimatic conditions, biotic factors and beneficial microorganisms in the rhizosphere

Vaccinium spp.: Características cariotípicas y filogenéticas, composición nutricional, condiciones edafoclimáticas, factores bióticos y microorganismos benéficos en la rizosfera

María Raquel Meléndez-Jácome^{1*} ; Lorena Estefanía Flor-Romero¹ ; María Esther Sandoval-Pacheco¹ ; Wilson Arturo Vasquez-Castillo¹ ; Mauricio Andrés Racines-Oliva¹ 

¹ Universidad de las Américas, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas (FICA), AgroScience and Food Research Group, Ingeniería Agroindustrial y Alimentos. Av. de los Colimes esq, Quito 170125. Ecuador.

* Corresponding author: mauricio.racines@udla.edu.ec (M. A. Racines-Oliva).

Received: 1 October 2020. Accepted: 28 February 2021. Published: 10 March 2021.

Abstract

Genus *Vaccinium* groups plants like shrubs that grows in the highlands of the Andes Mountains. Its fruits are characterized by their antioxidant and nutritional properties. The objective of this paper review was to understand the effect of endophytic and associated microorganisms with the rhizosphere of *Vaccinium* spp. Wild *Vaccinium* species present low genetic variability, in comparison with cultivated species that present high variability. Therefore, wild species must be domesticated in order to achieve permanent production in various locations along the year. Domestication of this plant could be achieved by establishing physiological plant system, determining its edaphoclimatic requirements and analysis of interactions with the plant. One of the main problems of the *Vaccinium* genus is fungal diseases, such as *Botrytis* sp. and *Hemileia vastatrix*. However, other endophytic and rhizosphere microorganisms interact positively with *Vaccinium* plants: providing mineral nutrients, offering protection against diseases, and even improving soil structure. The diversity of microbiome associated with the plant rhizosphere and the genetic diversity of *Vaccinium floribundum* are relevant aspects that should be studied to establish genetic improvement programs and achieve the commercial cropping of the species.

Keywords: *Vaccinium*; *Vaccinium floribundum*; beneficial microorganisms; endophytes; rhizosphere.

Resumen

El género *Vaccinium* spp. crece de forma silvestre en los páramos de los Andes. Sus frutos son reconocidos por presentar propiedades antioxidantes y nutricionales. El objetivo de la investigación bibliográfica fue comprender la ecología del cultivo, la composición química del fruto y el efecto que poseen los microorganismos endófitos y aquellos asociados a la rizosfera en el crecimiento y desarrollo de *Vaccinium* sp. Las especies silvestres de *Vaccinium* han presentado baja variabilidad genética, a diferencia de la alta variabilidad de las especies cultivadas. Por ende, para cultivar las especies silvestres en diferentes épocas del año y lograr su producción de forma permanente y en varias localidades es necesario la domesticación de la misma. Esta domesticación, se puede realizar mediante estudios genéticos, fisiológicos, requerimientos edafoclimáticos y análisis de las interacciones de microorganismos con la planta, entre otros componentes. Una de las principales limitantes del género *Vaccinium* son las enfermedades provocadas por hongos, como *Botrytis* sp. y *Hemileia vastatrix*. No obstante, otros microorganismos endófitos y de la rizosfera de *Vaccinium* interactúan de forma positiva con la planta favoreciendo la absorción de nutrientes, ofreciendo protección contra enfermedades e incluso mejorando la estructura del suelo. La diversidad del microbioma asociado a la rizosfera de la planta, así como la diversidad genética de *Vaccinium floribundum* son aspectos importantes que deben ser estudiados para establecer un programa de mejoramiento genético de esta especie y seguir con su domesticación.

Palabras clave: *Vaccinium*; *Vaccinium floribundum*; microorganismos benéficos; endófito; rizosfera.

DOI: <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.013>

Cite this article:

Meléndez-Jácome, M. R., Flor-Romero, L. E., Sandoval-Pacheco, M. E., Vasquez-Castillo, W. A., Racines-Oliva, M. A. (2021). *Vaccinium* spp.: Características cariotípicas y filogenéticas, composición nutricional, condiciones edafoclimáticas, factores bióticos y microorganismos benéficos en la rizosfera. *Scientia Agropecuaria*, 12(1), 109-120.

1. Introducción

El género *Vaccinium* es un frutal perenne de la familia de las Ericáceas que comprenden 450 especies (Llerena et al., 2014; Hurkova et al., 2019). Las especies cultivadas de *Vaccinium* son originarias del hemisferio Norte (USDA, 2002; González et al., 2017), mientras que las especies silvestre de *Vaccinium* se encuentran en el neotrópico y distribuidas entra en los páramos de los Andes de América del Sur (Coba-Santamaría et al., 2012; Chamorro & Nates, 2015). Estas especies crecen y desarrollan entre los 1500 y 4700 m.s.n.m., en temperaturas que oscila entre 3 y 17 °C, suelos ácidos con un pH entre 4 y 5, y la presencia de microorganismos benéficos que permiten la buena adaptación de los cultivos (Camacho, 2013; Cobo et al., 2016; Ormazábal et al., 2020). En Ecuador, *V. floribundum* se encuentra entre los 2800 hasta los 4000 msnm (Racines-Oliva et al., 2016). Estas plantas son arbustos ramificados que pueden llegar a medir hasta 2,5 metros y se caracterizan por poseer hojas de nervadura pinnada, y flores pequeñas de hasta 1 cm, distribuidas en racimos axilares, con pedicelo de 2,5-3 mm de longitud; cáliz articulado de 3-4 mm de largo; corola urceolada de color blanco o rosado (Gutiérrez, 2014). El fruto de esta planta es una baya de 5 a 8 mm de diámetro, con una textura lisa y coloración azul (Coba-Santamaría et al., 2012).

Los frutos tienen 15 a 60 semillas de 0,84 mm de diámetro polar y 0,5 a 1,4 mm de diámetro ecuatorial (Chaparro & Ramírez, 1993; Chaparro & Becerra, 1999; Buitrago et al., 2015) posee un elevado contenido de azúcares, antioxidantes, minerales y vitaminas (Coba-Santamaría et al., 2012). El mercado de frutos de arándano y mortiño han experimentado un incremento en la demanda en los últimos 10 años. Este aumento se debe a que las bayas son consideradas productos naturales y con muchos beneficios para la salud humana (Romero, 2016). A nivel mundial el arándano es la cuarta fruta de importancia económica después del kiwi y el mango debido a sus propiedades antioxidantes y su resistencia a condiciones climáticas desfavorables (FAO, 2017; Salgado et al., 2018). Estados Unidos es el mayor productor y consumidor de arándano en el mundo, con una producción anual de más de 300 mil toneladas y un consumo per cápita de 1,10 lb (Highbush Blueberry Council, 2019; USDA, 2019).

El aumento en la producción y el consumo de frutos de *Vaccinium* ha intensificado el interés por desarrollar nuevos métodos de propagación y conservación (Romero, 2016; Meneses et al., 2018). No obstante, la falta de conocimiento sobre los factores bióticos y abióticos que inciden en el crecimiento y desarrollo de esta planta ha dificultado el proceso de domesticación de esta especie andina para ser cultivada. Por ende, el mortiño (*Vaccinium floribundum*) a pesar de su gran potencial, no se ha podido incrementar la producción, más bien en los últimos años se viene reduciendo y poniendo en peligro, debido a la ampliación de la frontera agrícola, ganadera y foresta (Díaz et al., 2005). Por tanto, el objetivo de esta revisión tiene el fin de conocer la ecología donde crece el mortiño y el efecto de los microorganismos endófitos y asociados a la rizosfera en el crecimiento y desarrollo de la planta de *Vaccinium* sp.

2. Características cariotípicas y filogenéticas del género *Vaccinium*

El genoma del género *Vaccinium* es complejo y presenta variabilidad en el número de cromosomas. La variabilidad en los cromosomas y de ADN son consecuencia del cruce de varias especies, y a su vez están asociado a las características morfológicas y fisiológicas de las plantas (Bian et al., 2014; Sakhanokho et al., 2018). Las especies de *Vaccinium* poseen diferentes números de cromosomas: *V. angustifolium* Aiton, *V. pallidum* Aiton y *V. corymbosum* L. poseen 48 cromosomas; *V. virgatum* Aiton, *V. constablaei* A. Gray tienen 72 cromosomas; *V. elliotii* Chapm., *V. myrtilloides* Michx., *V. tenellum* Aiton y *V. boreale* V. Hall cuentan con 24 cromosomas (Sakhanokho et al., 2018). Una muestra de las especies representativas del género se encuentra en la Figura 1.

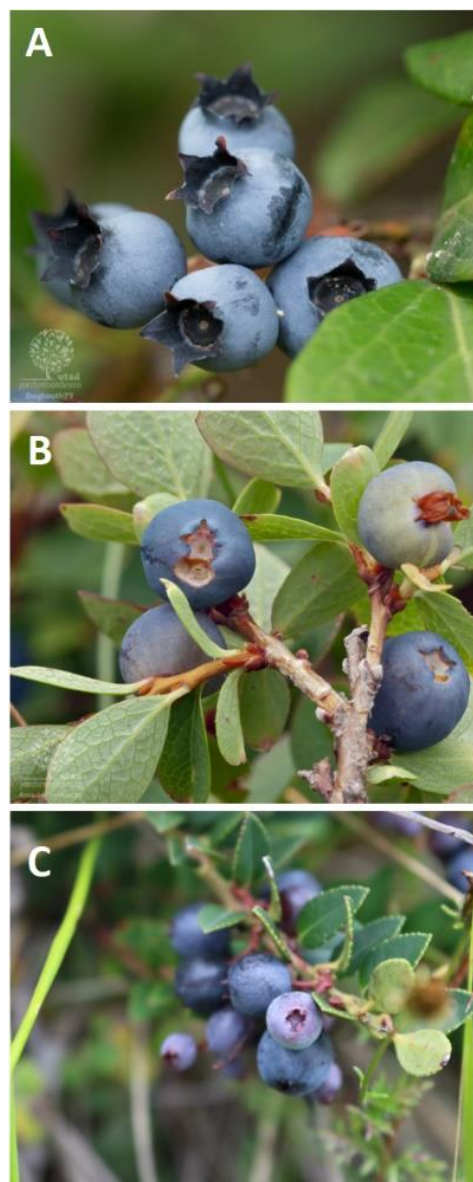


Figura 1. Principales especies del género *Vaccinium*. A: *Vaccinium corymbosum* (UTAD, 2021a), B) *Vaccinium myrtilloides* (UTAD, 2021b), C) *Vaccinium floribundum*.

El género *Vaccinium* se caracteriza por crecer de forma silvestre y reproducirse de manera vegetativa (Suárez et al., 2018). Como consecuencia, existe una baja variabilidad genética en especies silvestres como *V. floribundum*, *V. crenatum*, *V. consanguineum*, *V. poasanum* y *V. corymbodendrum* (Jorgensen & Ulloa, 1994). Sin embargo, en especies cultivadas dicha variabilidad es elevada y difícil de distinguir (Ostrolucká et al., 2004; Bian et al., 2014). El arándano alto (*Vaccinium corymbosum septentrionalis*), arándano ojo de conejo (*Vaccinium ashei*) y arándano alto del sur (*Vaccinium corymbosum meridionalis*) son las principales especies cultivadas en América del Sur (Pescie & López, 2007). Por esta razón, se utilizan marcadores moleculares (SSAP, EST-SSR y SSR), para su identificación y además es accesible y de bajo costo (Liu et al., 2014). Estas herramientas son utilizadas para determinar la variabilidad filogenética dentro del género *Vaccinium*, en especies como: *V. corymbosum*, *V. angustifolium* y *V. virgatum* (Debnath, 2014; Liu et al., 2014). En efecto, utilizando marcadores SSAP, se ha demostrado que existe una variación del genotipo (18,84%) en las especies de arándanos rabbiteye, highbush del norte y highbush del sur (Zong et al., 2018). El marcador EST-SSR también ha mostrado ser efectivo; en el caso de la identificación filogenética de *Vaccinium* (Liu et al., 2014), determinado una alta diversidad genética tanto en especies cultivadas (68,5%) y en no cultivadas (88,9%). La técnica SSR se ha utilizado para analizar la diversidad genética de *Vaccinium floribundum* Kunth, concluyendo que posee 6 alelos (Cobo et al., 2016), mientras que las especies de *V. corymbosum* tiene 22 alelos y *V. angustifolium* 17 alelos (Debnath, 2014). Estos estudios permitieron identificar la variabilidad genética de *Vaccinium* en la Sierra Norte del Ecuador y se estima que existe un 4%. Esto se determinó con un modelo de aislamiento geográfico que fragmentó el intercambio genético por la aparición de barreras montañosas. A su vez, se identificó que las plantas eran pequeñas y sus flores estériles, ya que presentaban escasos frutos; consecuencia de las condiciones climáticas adversas (Cobo et al., 2016).

En Perú se puede localizar materiales de *Vaccinium floribundum*, del cual se utiliza su germoplasma para el mejoramiento genético de diferentes géneros comerciales de *Vaccinium*. La propagación de la especie se logra mediante estacas, en las que se aplican diferentes concentraciones de fitohormonas: ácido indolbutírico y Kelpak® para mejorar la propagación y el enraizamiento (Mendoza et al., 2020). A su vez, en Colombia también se utiliza la propagación mediante estacas para *Vaccinium meridionale*, con resultados no satisfactorios a pesar de ser una especie con un gran número de semillas. Esto ha promovido la realización de estudios para la micropropagación (Rache & Pacheco, 2010).

3. Composición nutricional del fruto de *Vaccinium* spp.

El género *Vaccinium* posee frutos que tienen un valor calórico de 84 kcal/100 g FF (Coba-Santamaría et al., 2012). Éstos están compuestos principalmente de agua en un 80% a 90%, sus compuestos sólidos están presentes

hasta en un 20%, de los cuales el 80% corresponde a: proteínas (0,7%), carbohidratos (16,9% - 18,1%) y lípidos (1%) (Coba-Santamaría et al., 2012; Franco et al., 2016). Las vitaminas presentes en el fruto son: niacina (0,18 mg/100 g FF), tiamina (0,05 mg/100 g FF) y ácido ascórbico (14 g/100 g FF). En cambio, los minerales que posee son el hierro (0,64 mg/100 g FF) y calcio (17 g/100 g FF) (Coba-Santamaría et al., 2012; Zhang et al., 2019). El fruto es una gran fuente de ácidos fenólicos, flavonoides y antocianinas (Arteaga & Arteaga, 2016; Coronel et al., 2019). Estos compuestos han sido reportados como preventivos de enfermedades en los seres humanos, principalmente cáncer y diabetes (Aldaba-Márquez et al., 2016; Anticona et al., 2016; Rodríguez-Daza et al., 2020). De acuerdo con varios estudios (Nagulsamy et al., 2015; Franco et al., 2016; Spínola et al., 2018; Kim et al., 2019; Tombozara et al., 2020) el género *Vaccinium* produce frutos con beneficios para la salud humana, lo que ha provocado un incremento en su consumo (Franco et al., 2016; Hernández et al., 2017). En efecto, los frutos del género *Vaccinium* posee propiedades farmacológicas derivadas de su poder antioxidante, su actividad anticancerígena, antiviral, antibacteriana y antifúngica. Algunas especies de *Vaccinium*, como *V. oldhamii*, son conocidas por inhibir la α -amilasa, cuyo exceso puede provocar un trastorno del páncreas (Kim et al., 2019). A su vez, los compuestos antioxidantes presentes en el fruto ayudan a retardar la oxidación de los radicales libres en el cuerpo humano (Lujan et al., 2018; Tombozara et al., 2020). Adicionalmente, las especies de *Vaccinium cylindraceum* Sm. y *V. padifolium* contienen alta cantidad de polifenoles, que ayudan a prevenir la generación de glicación avanzada (AGE) y por ende el desarrollo de la diabetes. Especies como el *Vaccinium bracteatum* Thunb (VBTL) poseen compuestos fitoquímicos como los flavonoides, polisacáridos y glucósidos iridoides, que tienen propiedades antiinflamatorias y de regulación glucémica (Fan et al., 2020). De la misma manera, la gran cantidad de fenoles totales de *V. leschenaultii*, pueden ser tomados en cuenta para evidenciar el poder antiulceroso (Nagulsamy et al., 2015).

La especie *Vaccinium floribundum* posee una alta capacidad antioxidante, la cual se encuentra asociada a las antocianinas presentes como la cianidina y delphinidina (Reyes et al., 2019). Esta es una fuente importante de ácido gálico, de flavonoides (quercetina y micertina), ácido ascórbico ($45,94 \pm 6,74$ mg/100 g FF) y carotenoides como β -caroteno ($70,63 \pm 2,01$ μ g/100 g FF) y luteína ($866,61 \pm 7,52$ μ g/100 g FF) (Alarcón-Barrera et al., 2018). A su vez, esta especie posee una variación en la cantidad de fenoles de 100 a 5000 mg /100 g (Torrenegra et al., 2016). Esta variación está directamente relacionada con factores genéticos, climáticos y la composición del suelo. Estos factores son relevantes en la maduración del fruto y en la cantidad de compuestos bioactivos (Arteaga et al., 2014). Las características morfológicas de esta especie se muestran en la Figura 2.

Las especies silvestres tienen mayor cantidad de antioxidantes que las especies cultivadas y presentan una alta variabilidad genética. Además, existe limitada información sobre técnicas de propagación de plantas

convencional e *in vitro* y aclimatación de la planta (Jiménez & Abdelnour, 2018; Ormazábal et al., 2020), para esto se considera el sustrato, riego y factores ambientales (Ormazábal et al., 2020).



Figura 2. Estructuras del mortino *V. floribundum* Kunth en diferentes estadios fenológicos en páramos ecuatorianos. A: flor gamosépala cerrada, ovario ínfero, con pétalos visibles. B: Detalle de la flor previo antesis. C: Disposición de flores fecundadas y frutos en formación en ramas. D: Frutos tipo baya en formación. E) Frutos maduros con su coloración habitual y cobertura cerosa. F: Planta en su entorno natural. G: Entorno natural de mortiflo. H: Detalle de composición de fruto, A) 4-5 sépalos, B) mesocarpio, C) lóculo, D) epicarpio, E) semilla, F) pulpa, G) piel/purina.

4. Condiciones edafoclimáticas de *Vaccinium*

Las especies silvestres de *Vaccinium* se localizan en los páramos, donde las temperaturas fluctúan entre 3 y 14 °C, precipitaciones anuales entre 500 y 2000 mm (Camacho, 2013) y la humedad relativa puede estar entre 6% y 89% (Díaz et al., 2005; Racines-Oliva et al., 2016). En estas zonas se presenta un solo periodo de lluvia que corresponde al 40% de las precipitaciones de todo el año (Díaz et al., 2005; Ministerio del Medio Ambiente, 2012). Debido a las acciones provocadas por los seres humanos, gran parte de la superficie de los páramos se van perdiendo ya que se han expandido las actividades agrícolas, ganaderas y forestales (Giné & Galárraga, 2015). Como consecuencia, se ha producido la destrucción de la vegetación natural, erosión de suelos y el desecamiento de humedales (Hofstede et al., 2014). En los páramos ecuatorianos actividades humanas han ocasionado la destrucción del bosque natural en un 90% y cada año aumenta en un 2% (Hofstede et al., 1998; Díaz et al., 2005). La composición de los suelos de páramo varía según la altitud, temperatura y humedad relativa del aire. Estos factores modifican el contenido de materia orgánica, cenizas, agua y nutrientes del suelo (Podwojewski & Poulenard, 2000). Debido a las bajas temperaturas y baja

presión atmosférica, la materia orgánica experimenta una descomposición lenta y esto permite la liberación de nitrógeno presente en el suelo (Lambí et al., 2012). A su vez, el suelo posee un alto porcentaje de carbono que retiene agua y nutrientes; incidiendo en la densidad, porosidad y consistencia (Daza et al., 2014). El suelo del páramo en condiciones casi saturadas posee alrededor de 70% de agua, 20% de materia orgánica y 10% de aire (Lambí et al., 2012). Por el contrario, se han encontrado especies de *Vaccinium* en otras localidades a temperaturas más elevadas, las cuales se encuentran entre 14 y 22 °C (Pedraza et al., 2017), en Ecuador la temperatura donde se encuentra el mortino fluctúa entre 8 y 16 °C (Coba-Santamaría et al., 2012).

Tres especies del género *Vaccinium* se han registrado en Ecuador: 1) *Vaccinium distichum*, 2) *Vaccinium crenatum*, y 3) *Vaccinium floribundum*; de las cuales *V. floribundum* es la especie más común (Luteyn, 1996). Las especies *V. floribundum* y *V. crenatum* se pueden encontrar en un rango altitudinal entre 1500 y 4500 m.s.n.m. (Jorgensen & Ulloa, 1994). Estas especies crecen en sitios donde la precipitación anual varía entre 300 y 4000 mm (Rodríguez y Behling, 2012) y temperaturas del aire que oscila entre 8 y 16 °C (Coba-Santamaría et al., 2012). Otra especie de relativa importancia es *V. distichum* que se ha reportado en lugares con una altura entre los 2000 y 2500 m.s.n.m (Luteyn, 1996). Esta especie se encuentra en la vía Quito-Santo Domingo, Tandayapa-Quito y en la vía Quito-Nono-Mindo (Pedraza et al., 2017). A su vez, en Colombia se ha registrado la especie *Vaccinium meridionale* que se desarrolló a un rango altitudinal de 2000 a 3800 m.s.n.m. con precipitaciones anuales de 958 a 1350 mm, temperaturas entre 13 y 22 °C y suelos con pH de 4,4 y 5,4 (Maldonado et al., 2017).

Las especies cultivadas de *Vaccinium* (arándanos) se desarrollan en zonas climáticas con una temperatura media del aire entre 7 y 33 °C (Ormazábal et al., 2020) una precipitación anual entre 900 y 1300 mm y un régimen de un periodo lluvioso y un seco (Chamorro & Nates, 2015). Para el desarrollo de estas especies, el suelo debe tener un pH entre 4 y 5, de textura arenosa, arcillosa o franco-arenosa (Lambí et al., 2012; Muñoz-Vega et al., 2017; Ormazábal et al., 2020). El sustrato debe tener un contenido aproximado de 25% de agua, 50% materia orgánica y 25% de aire (Lambí et al., 2012). Las primeras especies de *Vaccinium* en ser cultivadas en América del Sur son el arándano alto, el arándano ojo de conejo y el arándano alto del sur (Pescie & Lopez, 2007; García et al., 2018). El factor con mayor influencia en el desarrollo de estas especies es la temperatura, que debe ser entre 10 y 21°C (Pescie & Lopez, 2007), ya que a estas temperaturas promueven la madurez y disminuye el desarrollo de enfermedades fúngicas que afectan el rendimiento de los frutos. Para una adecuada producción del fruto (baya) de *Vaccinium* es necesario implementar una fertilización orgánica, control del pH (4,5 a 5,5), realización de podas y sistema de riego; estas prácticas aumentan el rendimiento y desarrollo de las plantas cultivadas (Muñoz-Vega et al., 2017; Ormazábal et al., 2020). En el caso de las especies no cultivadas que crecen de forma silvestre en los páramos, éstas tienen las condiciones edafoclimáticas

necesarias para el desarrollo del fruto, ya que los páramos son húmedos, poseen alto contenido de materia orgánica y nutrientes (Muñoz-Vega et al., 2017). A su vez, la alta diversidad de vegetación crea microclimas, que permiten el crecimiento de las plantas y producción de frutos (Lambí et al., 2012).

5. Distribución geográfica de *Vaccinium* spp. domesticado y silvestre

Las especies silvestres de *Vaccinium* se distribuyen a lo largo de la Cordillera de los Andes, desde Venezuela hasta Bolivia, la altura fluctúa entre 1500 y 4700 m.s.n.m. (Jorgensen & Ulloa, 1994; Gavira et al., 2009; Teillier et al., 2019). En una altura que oscila entre 2600 y 4000 m.s.n.m., se ha encontrado *V. floribundum*, *V. corymbodendrum* y *V. meridionale* (Gavira et al., 2009; Cobo et al., 2016). Los páramos presentan neblina (Urgiles et al., 2018) y están constituidos por vegetación herbácea compuesta por gramíneas y arbustivas (Camacho, 2013; Giné & Galárraga, 2015). En Colombia *Vaccinium meridionale* se localiza en los departamentos de Antioquia, Boyacá y Cundinamarca (Pinilla & Nates, 2015). Esta baya se cosecha dos veces al año de abril a mayo y de septiembre a diciembre (Ávila et al., 2007). En Perú se han reportado 13 especies de *Vaccinium*: *V. crenatum*, *V. amazonicum*, *V. decipiens*, *V. corymbodendron*, *V. didymanthum*, *V. elvirae*, *V. mathewsii*, *V. pseudocaracasum*, *V. sphyrospermoides*, *V. ortizii*, *V. youngii*, *V. floribundum* y *V. dependens* en un rango altitudinal de 2000 a 4100 m.s.n.m. (Mejía et al., 2016; Mostacero et al., 2017). En Ecuador, *Vaccinium floribundum* se encuentra distribuido en zonas altas de la Sierra: desde la provincia del Carchi, hasta el Cañar. Otras especies como el *V. distichum* y *V. crenatum*, se han observado en las provincias de Loja y Azuay (Coba-Santamaría et al., 2012). En Ecuador *Vaccinium floribundum* tiene una limitada producción, por ende, en el mercado es difícil encontrarla (Claudio et al., 2012; Meneses et al., 2018). La demanda de este fruto es grande, pero solo se dispone de los volúmenes recolectados en las épocas de producción natural. Por ende, se recomienda la producción de microplantas para repoblar las zonas con esta especie o evaluar la posibilidad de cultivarlas fuera de sus zonas de producción (Brenes et al., 2015; Jiménez & Abdelnour, 2018), para esto es necesario su domesticación, las cuales están directamente relacionadas con el manejo agronómico, micropropagación de plantas, entre otras técnicas (Brenes et al., 2015; Meneses et al., 2018).

Sin embargo, las vitro plantas luego de ser trasladadas a condiciones de campo no logran sobrevivir, por lo que el éxito de estas técnicas aún no ha sido evidenciado (Torres et al., 2010). A su vez, es necesario plantear políticas para la conservación de la flora y fauna de los páramos permitiendo la sostenibilidad y conservación de la especie (Patzelt, 1996).

Las especies cultivadas de *Vaccinium* son nativas de Canadá y Estados Unidos específicamente (USDA, 2002; González et al., 2017), gracias a su domesticación y mejoramiento genético, estas especies poseen una buena adaptación y pueden ser cultivadas durante todo el año tanto en climas fríos como cálidos (Lambí et al., 2012; González et al., 2017). La primera planta en ser cultivada

fue el arándano alto (*Vaccinium corymbosum*) (Rivera et al., 2015). Esta planta representa el 80% de las especies cultivadas del género *Vaccinium* alrededor del mundo (Mostacero et al., 2015; González et al., 2017). El 20 % restante corresponde al arándano bajo (*V. angustifolium* Ait. y *V. myrtilloides* Michx), originario de la Costa Este de América del Norte, principalmente de Estados Unidos y México (Castillo et al., 2016; Romero, 2016).

Vaccinium corymbosum, *V. angustifolium* y *V. ashei* son las especies de mayor importancia comercial (Hung et al., 2016); con un incremento del 5% de la producción mundial anual y exportaciones durante los meses de octubre y noviembre, con más de 467 mil toneladas métricas (Pescie & Lopez, 2007; Ormazábal et al., 2020). *Vaccinium corymbosum* y *V. angustifolium* fueron distribuidas al Este de América del Norte (Nueva Escocia, Quebec y Ontario) y en los estados de Wisconsin, Georgia, Louisiana, Texas y Oklahoma (Romero, 2016; USDA, 2002). *Vaccinium ashei* es nativa del Sureste de América del Norte y cultivada principalmente en Alabama, Georgia y Florida (Castillo et al., 2016; García et al., 2018). Así, actualmente el 66% de la producción mundial de arándano le corresponde a Norte América. Los Estados Unidos produce 300 mil toneladas de arándano 2018 (USDA, 2019); y se ubica como el mayor productor del mundo, seguido de América del Sur con el 21% de la producción mundial y Europa produce el 11% restante (Brazelton, 2011).

6. Factores bióticos que inciden en *Vaccinium* spp.

Los cultivos del género *Vaccinium* se ven afectados por varias plagas afectando su desarrollo, provocando pérdidas hasta el 40% de la producción si no son controladas a tiempo (Bucio et al., 2016; Zepeda-Jazo, 2018). Los ácaros son la plaga más importante en este género, ya que provocan necrosis en las hojas y frutos (Santadino et al., 2015; Bucio et al., 2016). Por ejemplo, la presencia de *Drosophila suzukii* es del 59,5% en el género *Vaccinium* y llegan a estar presentes en promedio entre 1 y 8 larvas por fruto. Estos insectos ocasionan daños en el epicarpio del fruto y permiten el acceso de microorganismos que afectan la calidad (Santadino et al., 2015). Otra plaga que afecta considerablemente a los cultivos de *Vaccinium* son las larvas de *Sparganothis sulfureana* que han sido encontradas en Europa, Norte de África, Sudáfrica y EE.UU., y pueden tener una incidencia del 35,5%, se alimenta de las hojas y dificultan el crecimiento del fruto (Rodríguez et al., 2013; McMahan et al., 2017; McMahan & Guédot, 2018). Las larvas de *Cacoecimorpha pronubana* tienen una incidencia en un 6%, afecta el follaje de las plantas impidiendo su desarrollo (Calvo & Molina, 2003; García et al., 2018). A su vez, se han encontrado pulgones (*Myzus persicae*) que destruye los brotes foliares de las plantas de *Vaccinium*. Estos pulgones proliferan entre los meses de abril y mayo, época en que se da el crecimiento secundario de la planta. En cambio, *Aphis fabae* y *Aphis gosypii* (pulgón negro) se multiplican entre marzo y junio, durante la primera etapa de crecimiento de la planta (Calvo & Molina, 2011).

Para el control de plagas, es necesario la aplicación de insecticidas de origen sintético. Del mismo modo, se puede utilizar nemátodos entomopatógenos como

Heterorhabditis megidis y *Steinernema feltiae* para prevenir los daños ocasionados por pulgones y larvas de insectos, y evitar el deterioro de la planta (Calvo & Molina, 2011).

7. Microorganismos patógenos que afectan al género *Vaccinium*

La capacidad de adaptación de los hongos patogénicos del suelo varía según el grado de conexión establecido con las plantas hospederas de *Vaccinium* spp. (Rodríguez, 2001). Estos hongos producen daños en el crecimiento y rendimiento de la planta entre un 30 y 67% (Figuroa et al., 2010; Sullca et al., 2018). El proceso inicia al momento que el hongo logra romper las barreras defensivas de la planta (Camarena-Gutiérrez, 2001). La afectación de los microorganismos es generada por las esporas o hifas en condiciones óptimas de humedad y temperatura (Knogge, 1996; Kankanala et al., 2007; Figuroa et al., 2010). En consecuencia, los microorganismos producen daños en la planta ocasionando podredumbre en las raíces, afectando su fisiología y generando toxinas que perturban a los tejidos (Camarena-Gutiérrez, 2001; Muñoz, 2008). Existen dos tipos de hongos que afectan a las plantas: 1) biótrofos, que se reproducen y aumentan en el periodo de formación de la planta, y adquieren nutrientes, sin ocasionar la muerte del hospedero. En cambio, los necrótrofos se desarrollan en el tejido muerto de la planta o pueden causar la muerte de ésta, ya que no pueden absorber los nutrientes (Muñoz, 2008).

El género *Vaccinium* posee frutos climatéricos que maduran con rapidez y que son susceptibles a enfermedades causadas principalmente por hongos como *Neofusicoccum* y *Phomopsis* (Cruañes & Locaso, 2011; Fulcher et al., 2015). Una de las enfermedades más conocidas del género *Vaccinium* es la roya, generada por *Hemileia vastatrix*, que se presenta en la primavera con una incidencia que puede llegar hasta el 84,39%; se caracteriza por generar la caída de las hojas y antracnosis en el tallo. La presencia de *Neofusicoccum* en tallos de plantas de *Vaccinium* afectadas por roya es de 41% (Mondragón-Flores et al., 2012). A su vez, la antracnosis se presenta hasta un 6,6% en el tallo y es causada por *Phomopsis*. Otro tipo de enfermedad es el cáncer de las yemas, que ha sido asociado a *Fusicoccum* y puede dañar hasta un 94,4% (Weingartner & Klos, 1975) y el *Gloeosporium minus* en un 98% (Milholland, 1973). Las especies de *Vaccinium corymbosum* y *Vaccinium angustifolium* son afectadas por *Botrytis cinerea* Pers.: Fr. y *Botrytis* spp. (Rivera et al., 2015; Chen et al., 2019; Abbey et al., 2020), son patógenos que infectan los tejidos vegetativos y florales de estas especies, y provocan pérdidas de más del 20% del rendimiento de las plantas. Los principales microorganismos presentes a lo largo de la poscosecha de *Vaccinium* son: *Cladosporium herbarum* (2,45%), *Botrytis cinerea* (0,9%), *Penicillium* spp. (0,7%) y *Alternaria alternata* (0,4%). Estos hongos tuvieron menor incidencia en plantas cuando fueron colocadas en cuarto frío (Figuroa et al., 2010).

A su vez, se ha detectado *Phytophthora cinnamomi* y *P. citrophthora* en el arándano (Fulcher et al., 2015), ocasiona la pudrición de la raíz y reduce su desarrollo entre 36,5 y 53,4%; afectando el tamaño del tallo (Larach et al., 2009).

Las especies de *Vaccinium corymbosum* son atacadas por *Agrobacterium tumefaciens*, que induce a la formación de tumores en la zona de la corona y raíces de la planta, disminuyendo el crecimiento de ésta (Abrahamovich et al., 2014). Adicionalmente, se ha detectado la presencia de hongos del género *Fusarium* (26,39%) y *Sclerotinia sclerotiorum* (6,99%) en las raíces de *Vaccinium corymbosum* (Nadziakiewicz et al., 2018).

Para prevenir enfermedades, uno de los tratamientos más eficaces consiste en manejar la calidad nutricional del cultivo y evitar la propagación de enfermedades (Undurraga & Vargas, 2013). Las enfermedades pueden ser controladas empleando fungicidas sintéticos (fludioxonil en 2 ppm, azoxystrobin 5 ppm, cyprodinil 10 ppm y pyraclostrobin 4 ppm) y orgánicos, con un control adecuado de temperaturas y la fumigación del suelo (Figuroa et al., 2010; Juárez et al., 2010). Otro tipo de tratamiento para control de patógenos de suelo consiste en la desinfección por la aplicación de vapor a temperaturas relativamente altas por un tiempo determinado para la inactivación de los mismos (Juárez et al., 2010).

8. Efecto de los factores edáficos en *Vaccinium* y microorganismos benéficos en la rizosfera

Los agregados del suelo son unidades estructurales estables de partículas del suelo enlazadas, resultado de varios procesos físicos, químicos y biológicos. Se clasifican por el tamaño en macro agregados (mayor a 250 µm) y micro agregados que son menores a 205 µm (Jiménez et al., 2019). Los agregados son importantes para la conservación de la porosidad del suelo y la provisión de su estabilidad frente a problemas de erosión (Morell et al., 2009). Los microorganismos degradan y transforman la materia orgánica proporcionando carbono, nitrógeno y energía para los sustratos (Nan et al., 2020) y tienen un rol importante en la formación y estabilización de los agregados del suelo. Su contribución principal a la agregación del sustrato se genera por medio de hifas en las partículas del suelo (Hernández et al., 2010). Las hifas de los hongos exudan polisacáridos que forman una malla que une a las partículas del suelo para obtener macro agregados (González et al., 2004). Asimismo, estos proporcionan protección contra la sequedad y humedad extrema, reducción o carencia de nutrientes, y mejoran la retención del suelo (Lozano et al., 2015).

Los microorganismos tienen diversas funciones en los suelos y en las plantas, las cuales depende de factores bióticos, como la composición del suelo, interacción y la competencia entre microorganismos (Cano, 2011). La competencia, es la conducta desigual de dos o varios organismos frente a una misma necesidad de un recurso, en la que la utilización de éste reduzca el espacio disponible para el resto (Infante et al., 2009). La competencia entre hongos puede ser por espacio y recursos nutricionales (Cano, 2011). Los hongos poseen la habilidad de interferir unos con otros, esta interferencia puede ser física, de contacto hifal directo o detención del crecimiento por producción de compuestos o lisis de la hifa (Rayner & Todd, 1980; Dix & Webster, 1995). Las interferencias físicas establecen barreras hifales en las zonas de contacto, y pueden

ocasionar el sobrecrecimiento de colonias o la formación de enrollamientos (Rayner & Todd, 1980). La interferencia química provoca que los hongos patógenos de las plantas necesiten de varios nutrientes para llevar a cabo el ciclo de germinación e infección. Entre los factores nutricionales más comunes que involucran las interferencias químicas están el carbono, el hierro y el nitrógeno (Baker & Griffin, 1995). Se han encontrado microorganismos patógenos como *Phomopsis* en *Vaccinium corymbosum*, los cuales permanecen por un largo periodo de tiempo en estado de latencia durante el desarrollo de la planta. Estos pueden actuar como necrotrofos, alimentándose de los nutrientes de planta o como saprofitos, nutriéndose de la materia orgánica, e interfiriendo el desarrollo y rendimiento de la planta, debido a los daños generados en el cultivo (Hernández et al., 2015). A su vez, se ha reportado *Colletotrichum* y *Coleophoma* como asociados al fruto de *Vaccinium macrocarpon* (Li et al., 2016) y ascomicetos en especies de *Vaccinium angustifolium* como *Nemania diffusa*, *Allantophomopsis lycopodina*, y *Strasseria geniculata*, ubicados principalmente en los tallos (Li et al., 2016; Ibrahim et al., 2020).

9. Microorganismos benéficos, asociados a la rizosfera del mortifio

Los microorganismos benéficos tienen diversas funciones en las plantas, que varían según los factores bióticos y abióticos presentes (Cano, 2011). Entre estas funciones se pueden mencionar, el control de enfermedades y plagas, incrementar la disponibilidad de nutrientes, disminuir la aplicación de pesticidas, y aumentar el rendimiento del cultivo (Dávila et al., 2013; Alvarez et al., 2018; Ortiz et al., 2018). Los microorganismos benéficos se encuentran en una constante interacción con otros organismos, lo que genera un ecosistema con un ambiente equilibrado y con una amplia biodiversidad (Piepenbring et al., 2016). La importancia de los microorganismos en la agricultura ha aumentado, ya que están directamente relacionados con la salud de las personas y la formación de la planta (Tokala et al., 2002).

Existen dos clases de microorganismos que favorecen el desarrollo de los cultivos: las rizobacterias y los hongos. Las rizobacterias generan simbiosis en las raíces de las plantas, tales como el *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azorhizobium* (Moreno et al., 2018); y hongos ectomicorrícicos presentes en los árboles, que ayudan a tolerar la salinidad del suelo, favorecen la obtención de agua y promueven la síntesis de enzimas antioxidantes (Aguilar et al., 2009).

Los microorganismos de la rizosfera mejoran la estructura del suelo, ya que incrementan la disponibilidad de nutrientes como el fósforo y nitrógeno, minerales que están asociados con el crecimiento, desarrollo vegetal (Pedraza et al., 2010). De igual manera, estos microorganismos aumentan la protección contra factores abióticos como la salinidad y el exceso de metales pesados, que limitan el desarrollo de las actividades fisiológicas y bioquímicas de la planta (Prieto et al., 2010). En la rizosfera se generan procesos de intercambio catiónico, absorción de nutrientes y producción de exudados por parte de la raíz (Reyes, 2011; Marrero et al.,

2015). La rizosfera se subdivide en tres zonas básicas, la endorizosfera: donde se encuentra el tejido radicular; el rizoplasma que se refiere a la zona donde está la superficie de la raíz y que se adhieren los microorganismos del suelo, y el ectorizosfera que consiste en el suelo inmediato a la raíz (Prashar et al., 2013). La amplitud de la rizosfera varía dependiendo del tipo de suelo, la especie y la edad de la planta (Calvo et al., 2008). En el caso de plantas del género *Vaccinium*, cuando estas se desarrollan, liberan exudados por las raíces que hacen que la rizosfera sea rica en nutrientes (Prashar et al., 2013) y posea una alta cantidad de microorganismos que forman parte de procesos críticos de la fisiología y la morfogénesis de la planta. Estos nutrientes mejoran el crecimiento del cultivo y brindan protección contra microorganismos patógenos, ya que benefician la estructura del suelo y la tolerancia a las toxinas (Jiang et al., 2017). La información acerca del microbioma de la rizosfera del género *Vaccinium* es muy limitada. La rizosfera de especies de *Vaccinium* (*V. corymbosum*, *V. darrowii* Camp, *V. virgatum* Aiton) se conforma de una diversidad de microorganismos procariotas y eucariotas, incluyendo rizobacterias benéficas y hongos (Li et al., 2020). En efecto, como se observa en la Tabla 1, se han encontrado varios tipos de *Rhizobiales* y *Pseudomonadaceae* en el microbioma de *Vaccinium ashei* y *Vaccinium corymbosum* L (Jiang et al., 2017; Chen et al., 2019).

Por otra parte, los microorganismos endófitos, están presentes en el interior de los tejidos vegetales (raíces, tallos y hojas) sin generar daños a la planta (Ortiz et al., 2018). Estos son capaces de relacionarse eficientemente con sus hospedadores, dándoles mayor resistencia a condiciones de estrés ambiental. A la vez, permiten un correcto desarrollo de la planta (método directo), protegiéndola contra enfermedades causadas por fitopatógenos (método indirecto) como lo indica Santoyo et al. (2016). Actualmente se están empleando microorganismos endófitos para el control biológico de enfermedades, ya que es una medida sostenible y económica (Flores, 2017). Los microorganismos endófitos presentes en el género *Vaccinium*, permiten que la planta sea capaz de generar metabolitos bioactivos, aumentar su capacidad de resistencia ante fitopatógenos e incrementar su desarrollo (Sánchez et al., 2013; Santoyo et al., 2016). Los microorganismos endófitos benéficos encontrados con mayor frecuencia en el género *Vaccinium* son *Pantoea*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Stenotrophomonas*, *Microbacterium* y *Micrococcus*. Mediante el análisis de la diversidad genética en el ADN en la especie de *Vaccinium corymbosum*, se identificó que las bacterias encontradas en mayor cantidad son *Pantoea agglomerans* (17,4%), *Pseudomonas protegens* (10,8%), *Streptomyces griseocarneus* (9,7%) y *Burkholderia contaminans* (8,7%), localizadas principalmente en las raíces de la planta y en menor cantidad en las hojas y tallo (Ortiz et al., 2018) como se presenta en la Tabla 1.

Se han encontrado hongos formadores de micorrizas, que contribuyen a la alimentación de las plantas y aumentan la resistencia a condiciones climáticas adversas; asegurando así la calidad del fruto y productividad de la

planta (Jaizme & Rodríguez, 2008; Amballa y Bhumi, 2016). Las micorrizas son una agrupación simbiótica conformada por las raíces de las plantas y las hifas de los hongos (Vega & Muñoz, 1994; Márquez et al., 2009). Las hifas de estos hongos permiten poner a disponibilidad de la planta los minerales presentes en el suelo como: nitrógeno, calcio y potasio, a su vez, disminuye las sustancias orgánicas localizadas en la raíz, incrementando la capacidad de tolerar el estrés hídrico y salino (Márquez et al., 2009). Estos microorganismos son reconocidos por estimular la obtención y disponibilidad de nutrientes (Aguilar & Barea, 2015). Para ello es importante que la colonización interna esté correctamente definida desde la raíz de la planta hasta el suelo (Barea et al., 2016). El género *Vaccinium* forma simbiosis con micorrizas ericoides, que permiten a la planta colonizar suelos con pocos nutrientes y beneficia el crecimiento de las raíces (Vega & Muñoz, 1994). Estas micorrizas pueden formarse en el exterior o interior de las plantas (Kennedy & de Luna, 2005), dependiendo de características estructurales, taxonomía de los hongos y la especie (Andrade, 2010). Los tipos de micorrizas que se pueden encontrar en *Vaccinium* son; ectomicorrizas, endomicorrizas (orquidoides, ericoides, arbusculares) y ectendomicorrizas (monotropoides y arbutoides) (Aguilera et al., 2007). Las ectomicorrizas se forman en el exterior de la raíz de la planta, por la interacción de hifas de un hongo, penetrando la corteza radicular, sin ir más allá de los espacios intercelulares (Andrade, 2010; Sánchez & Furrzola, 2018). Las endomicorrizas se caracterizan por presentar hifas que se introducen por medio de la raíz al interior de las células, pero no forman estructuras visibles en el exterior de las raíces (Aguilera et al., 2007; Sánchez, 2007). Las ectendomicorrizas, al igual que las ectomicorrizas, se desarrollan al exterior de la raíz y penetran el interior de las células corticales (Sánchez,

2007; Honrubia, 2009). A su vez, las células epidérmicas y vegetales presentes en la planta tienen grupos fúngicos como *Phomopsis* sp, *Lachnum* sp. y *Sordariomycetes* sp. (Yang et al., 2018). Adicionalmente, en *Vaccinium confertum* se han inoculado *Gaultheria* sp. dando como resultado una disminución en la colonización de micorrizas del 15%. Por ende, genera un desarrollo del tallo de 22,8 cm de longitud y en las hojas 17,6 cm. Esto permite observar que aumenta el rendimiento de la planta al ser inoculada (Carrillo et al., 2015; Bautista et al., 2017). Otras comunidades fúngicas presentes en *Vaccinium* son *Rhizoscyphus ericae* y *Phialocephala fortinii* en las raíces *Vaccinium membranaceum*. *Rhizoscyphus ericae* y *Phialocephala fortinii*, que incrementan la absorción de nitrógeno y fósforo y llegan a las hojas (Gorzela et al., 2012; Heredia et al., 2014). Estas asociaciones son esenciales para el desarrollo vegetal en el proceso de fructificación y floración (Balta et al., 2015; Corrales et al., 2016). En efecto, los arándanos "ojo de conejo" contienen menos cantidad de micorrizas que los arándanos altos, teniendo una variación del 60,6%, los principales factores que influyen en este contenido son los nutrientes y tipos de hongos presentes en la planta (Vega & Muñoz, 1994). Los rhizobios por otra parte, son bacterias conocidas por estimular el crecimiento vegetal y se encuentran en las raíces de las plantas (Santillana et al., 2012). Se caracterizan por ser fijadoras de nitrógeno y generar el desarrollo de nódulos (González et al., 2012). Se considera que alrededor del 80% del nitrógeno del planeta se debe a la acción de las bacterias *Rhizobium* (Calero et al., 2019). Los nódulos son estructuras radicales formadas de asociaciones simbióticas entre planta y las bacterias (Calvo, 2011; Hernández et al., 2012) que influyen directamente en el desarrollo, reproducción y fotosíntesis de las plantas (Nápoles et al., 2016).

Tabla 1

Efecto biológico de microorganismos benéficos sobre diferentes especies de *Vaccinium*

Microorganismos	Especie vegetal	Tipos de relación con el hospedero / Efectos biológicos
<i>Rhizobacterium</i> (Cyanobacteria, Actinobacteria, Acidobacteria, and Gammaproteobacteria)	<i>V. corymbosum</i> , <i>V. darrowii</i> Camp, <i>V. virgatum</i> Aiton.	Ectosimbiontes, promueven absorción de nutrientes y producción de exudados por la raíz (Li et al., 2020).
Rhizobiales, Pseudomonadaceae	<i>Vaccinium ashei</i>	Ectosimbiontes, promueven absorción de nutrientes y producción de exudados por la raíz (Jiang et al., 2017).
Proteobacteria, Acidobacteria, Actinobacteria,	<i>Vaccinium corymbosum</i> L.	Ectosimbiontes, promueven absorción de nutrientes y producción de exudados por la raíz (Chen et al., 2019)
Pantoea, Bacillus, Pseudomonas, Burkholderia, Stenotrophomonas, Microbacterium y Micrococcus	<i>Vaccinium</i> spp.	Endosimbiosis, bacterias promotoras del crecimiento vegetal (Ortiz et al., 2018)
Pantoea agglomerans, Pseudomonas protegens, Streptomyces griseocarneus y Burkholderia contaminata	<i>Vaccinium corymbosum</i>	Endosimbiosis microorganismos promotores del crecimiento vegetal mediante fitohormonas (Ortiz et al., 2018).
Micorrizas orquidoides, ericoides, arbusculares	<i>Vaccinium</i> spp.	Endomicorrizas que incrementan la absorción de nutrientes del suelo, mejoran la retención del agua e inducen la protección de la planta (Aguilera et al., 2007).
Micorrizas monotropoides y arbutoides	<i>Vaccinium</i> spp.	Ectendomicorrizas que incrementan la absorción de nutrientes del suelo, mejoran la retención del agua e inducen la protección de la planta (Aguilera et al., 2007).
<i>Gaultheria</i> sp.	<i>Vaccinium corymbosum</i> L <i>Vaccinium confertum</i>	Inoculante, endomicorrizas que promueve el desarrollo foliar (Carrillo et al., 2015; Bautista et al., 2017).
<i>Rhizoscyphus ericae</i> y <i>Phialocephala fortinii</i>	<i>Vaccinium membranaceum</i>	Micorrizas que incrementan la absorción de nitrógeno y fósforo (Gorzela et al., 2012; Heredia et al., 2014).

La formación del nódulo en la raíz depende de un proceso de desarrollo del nódulo y sus tejidos, y el proceso de infección de la raíz (Desbrosses y Stougaard, 2011). El proceso de infección está dado por la interacción de *Rhizobium* y factores de nodulación o factores Nod (Brink et al., 2017). Los factores Nod son moléculas de señalización simbiótica que le otorgan especificidad al huésped para la infección (Gough, 2003); inician la división celular en la raíz hasta que se forma el nódulo y actúan en la fijación del nitrógeno (Brink et al., 2017). El proceso de formación inicia con la adhesión de *Rhizobium* en los pelos radicales de la planta y luego se excretan los factores Nod, que desencadenan a la formación de un nódulo primordio (Limpens & Bisseling, 2014). Posteriormente, se forman estructuras tubulares denominadas hilos de infección, donde se forman y liberan bacterias en las células de los nódulos de las plantas (Kidaj et al., 2012). La interacción entre huésped-*Rhizobium* se genera por medio de la secreción de flavonoides de la planta que son reconocidos por las bacterias y luego sintetizados como factores Nod (Nápoles et al., 2016).

10. Conclusiones

Conocer la ecología donde se desarrolla el género *Vaccinium*, la variabilidad genética los factores bióticos y abióticos y su interacción con la planta, es fundamental para la domesticación del género y en particular del mortiño que es una especie silvestre en peligro de extinción debido a la acción del hombre principalmente. Esto permite cambiar la estructura genotípica a través de un programa de mejoramiento, para usar la variabilidad genética, preservar el ambiente, incrementar la producción y poner a disposición del consumidor fruta de calidad. El estudio de los microorganismos del suelo y su relación con el crecimiento y desarrollo de la planta son una necesidad para potenciar la domesticación y uso de estas especies en los Andes. Existen evidencias de que los microorganismos benéficos presentes en el suelo favorecen la absorción de los nutrientes, previenen enfermedades, mejoran la estructura del suelo y la retención de agua. Es importante identificar y analizar las relaciones de mutualismo y simbiosis que tienen estos microorganismos con el género *Vaccinium*. El estudio de los microorganismos endófitos y asociados a la rizosfera permitiría explorar el potencial de las especies silvestres para ser cultivadas y aumentar la producción de fruta que posee buenas características nutricionales. Este cultivo en el caso de los países Andinos contribuirá al desarrollo de las comunidades rurales andinas, pues permite la valoración de la diversidad de los recursos endémicos, mantiene las tradiciones culturales (uso del fruto en alimentos específicos por el día de los muertos) dando paso a nuevas alternativas productivas y comerciales. Estudios recientes para la producción de vitro plantas de *Vaccinium* demuestran que éstas son principalmente afectadas por la luz, la temperatura y hormonas. Sin embargo, se debe desarrollar tecnologías para la aclimatación de las plantas in vitro de *Vaccinium* de los Andes; evaluar la adaptación a otras condiciones ambientales (clima y suelo), lo cual promoverá nuevas líneas de investigación.

ORCID

- M. R. Meléndez-Jácome  <https://orcid.org/0000-0001-5171-2225>
 L. E. Flor-Romero  <https://orcid.org/0000-0002-9978-3484>
 M. E. Sandoval-Pacheco  <https://orcid.org/0000-0002-1077-9252>
 W. A. Vasquez-Castillo  <https://orcid.org/0000-0002-2163-4243>
 M. A. Racines-Oliva  <https://orcid.org/0000-0003-4335-4311>

Referencias bibliográficas

- Abbey, J. A., Percival, D., Asiedu, S. K., Prithiviraj, B., & Schindler, A. (2020). Management of *Botrytis* blossom blight in wild blueberries by biological control agents under field conditions. *Crop Protection*, 131, 105078.
- Abrahamovich, E., López, A. C., & Alippi, A. M. (2014). Diversidad de cepas de *Agrobacterium rubi* aisladas de arándanos. *Revista Argentina de Microbiología*, 46(3), 237-241.
- Aguilar, A., & Barea, J. M. (2015). Nutrient Cycling in the Mycorrhizosphere. *Journal of soil science and plant nutrition*, 15(2), 372-396.
- Aguilar, S., Pérez, J., Ferrera, R., Gonzalez, D. (2009). Hongos Ectomicorrízicos y la Tolerancia a la Salinidad en Plantas. *Revista chilena de historia natural*, 82(1), 163-168.
- Aguilera, L., Olalde, V., Arriaga, R., & Contreras R. (2007). Micorrizas arbusculares. *Ciencia Ergo Sum*, 14(3), 300-306.
- Alarcón-Barrera, K. S., Armijos-Montesinos, D. S., García-Tenesaca, M., Iturralde, G., & Alvarez-Suarez, J. M. (2018). Wild Andean blackberry (*Rubus glaucus* Benth) and Andean blueberry (*Vaccinium floribundum* Kunth) from the Highlands of Ecuador: Nutritional composition and protective effect on human dermal fibroblasts against cytotoxic oxidative damage. *Journal of Berry Research*, 8, 223-236.
- Aldaba-Márquez, J., Concha-Herrera, V., Enciso-Muñoz, V., Carranza-Concha, J. (2016). Funcionalidad del arándano azul (*Vaccinium corymbosum* L.). *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 7(1), 423-428.
- Alvarez, M., Tuata, F.; Quispe, E., & Meza, V. (2018). Incidencia de la Inoculación de Microorganismos Benéficos en el Cultivo de Fresa (*Fragaria* sp.). *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 33-42.
- Amballa, H., & Bhumi, N. R. (2016). *Significance of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Rhizosphere Microflora in Plant Growth and Nutrition*. En D. Choudhary, A. Varma, & N. Tuteja (Eds.) *En: Plant-Microbe Interaction: An Approach to Sustainable Agriculture*. Springer. Singapore. Pp. 417-452.
- Andrade, A. (2010). Micorrizas. *Ciencia*, 84-90.
- Anticona, M., Frígola, A. M., & Esteve, M. J. (2016). Determinación de polifenoles totales en arándanos y productos derivados. *UCV-Scientia*, 8, 13-14.
- Arteaga, A., & Arteaga, H. (2016). Optimización de la capacidad antioxidante, contenido de antocianinas y capacidad de rehidratación en polvo de arándano (*Vaccinium corymbosum*) microencapsulado con mezclas de hidrocoloides. *Scientia Agropecuaria*, 7, 191-200.
- Arteaga, M., Andrade, M. J., & Moreno, C. (2014). Relación del Desarrollo del Color con el Contenido de Antocianinas y Clorofila en Diferentes Grados de Madurez de Mortiño (*Vaccinium floribundum*). *Enfoque UTE*, 5(2), 14-28.
- Ávila, H. G., Cuspoca, J. A., Fischer, G., Ligarreto, G. A., & Quicazán, M. C. (2007). Caracterización fisicoquímica y organoléptica del fruto de Agrad (*Vaccinium meridionale* Swartz) almacenado a 2 °C. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 4180-4181.
- Baker, R., & Griffin, J. (1995). *Molecular strategies for biological control of fungal plant pathogens*. En R. Reuveni (Ed.), *Novel approaches to integrated pest management*. CRC Press. Pp. 369-381.
- Balta, R., Rodríguez, Á., Guerrero, R., Cachique, D., & Loli, O. (2015). Absorción y concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en suelos ácidos, San Martín, Perú. *Folia Amazónica*, 24(2), 123-130.
- Barea, J. M., Pozo, M. J., & Aguilar, C. (2016). Significado y Aplicación de las Micorrizas en Agricultura. *Agricultura*, 746-751.
- Bautista, J. M., Posadas, L., Urbina, J., Larsen, J., & Segura, S. (2017). Colonización por Micorrizas en la Producción de Plántulas en Vivero de Arándano (*Vaccinium* spp.) cv Biloxi. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(3), 695-703.
- Bian, Y., Ballington, J., Brouwer, C., Reid, R., & Brown, A. (2014). Patterns of simple sequence repeats in cultivated blueberries (*Vaccinium* section *Cyanococcus* spp.) and their use in revealing genetic diversity and population structure. *Molecular Breeding*, 34, 675-689.
- Brazelton, C. (2011). *World Blueberry Acreage & Production*. Highbrush Blueberry Council. USA. 51 pp.
- Brenes, A., Castillo, R., & Gómez, L. (2015). Micropropagación de cuatro cultivares de arándano (*Vaccinium* spp.) a partir de segmentos foliares de dos procedencias. *Agronomía Costarricense*, 39(1), 7-23.
- Brink, C., Postma, A., & Jacobs, K. (2017). Rhizobial diversity and function in rooibos (*Aspalathus linearis*) and honeybush (*Cyclopia* spp.) plants: A review. *South African Journal of Botany*, 110, 80-86.

- Bucio, G., Ayala, J. de J., Vargas, M., Lara, M. B., & Negrete, O. (2016). Acarofauna asociada al cultivo del arándano (*Vaccinium corymbosum* L. var. biloxi) en Ziracuaretiro Michoacán. *Entomología mexicana*, 3, 120–124.
- Buitrago, C., Rincón, M., Balaguera, H., & Ligarreto, G. (2015). Tipificación de Diferentes Estados de Madurez del Fruto de Agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 68(1), 7521–7531.
- Calero, A., Pérez, Y., Quintero, E., Olivera, D., & Peña, K. (2019). Efecto de la Aplicación Asociada entre *Rhizobium leguminosarum* y Microorganismos Eficientes Sobre la Producción del Frijol Común. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(2), 295–308.
- Calvo, D.M., & Molina, J. (2011). Insectos Asociados al Cultivo del Arándano en Andalucía Occidental. *Vida Rural*, 66–70.
- Calvo, D., & Molina, J. M. (2003). Incidencia de *Cacoecimorpha pronubana* (Hübner, [1799]) (Lep., Tortricidae) Sobre Variedades de Arándano Americano (*Vaccinium* spp., Ericaceae) Con Bajos Requerimientos de Horas Frío en Andalucía Occidental. *Bol. San. Veg. Plagas*, 29, 553–561.
- Calvo, P., Reyundo, L., & Zúñiga, D. (2008). Estudio de las Poblaciones Microbianas de la Rizósfera del Cultivo de Papa (*Solanum tuberosum*) en Zonas Altoandinas. *Ecología Aplicada*, 7, (1, 2), 141–148.
- Calvo, S. (2011). Bacterias Simbióticas Fijadoras de Nitrógeno. *CT*, 3, 173–186.
- Camacho, M. (2013). Los Páramos Ecuatorianos: Caracterización y Consideraciones para su conservación y aprovechamiento sostenible. *Anales de la Universidad Central del Ecuador* 1, (372), 78–92.
- Camarena-Gutiérrez, G. (2001). Señales entre Hongos Patógenos y Plantas Hospedadoras Resistentes. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 7(1), 15–19.
- Cano, M. A. (2011). Interacción de Microorganismos Benéficos en Plantas: Micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 14(2), 15–31.
- Carrillo, R., Guerrero, J., Rodríguez, M., & Meriño, C. (2015). Colonization of Blueberry (*Vaccinium corymbosum*) Plantlets by Ericoid Mycorrhizae Under Nursery Conditions. *Ciencia e investigación agraria*, 42(3), 365–374.
- Castillo, A., Avitia, E., Valdez, L., Pineda, J., & Aguilar, S. (2016). Dinámica nutrimental en hoja y fruto de arándano tipo Ojo de Conejo (*Vaccinium ashei* Reade). *Tecnociencia Chihuahua*, 10(2), 64–71.
- Chamorro, F., & Nates, G. (2015). Biología Floral y Reproductiva de *Vaccinium meridionale* (Ericaceae) en los Andes Orientales de Colombia. *Biología Tropical*, 63(4), 1197–1212.
- Chaparro, M., & Becerra, N. (1999). Anatomía del fruto de *Vaccinium floribundum* (Ericaceae). *Acta biológica Colombiana*, 4(1), 47–60.
- Chaparro, M., & Ramírez, F. (1993). Notas sobre la morfología, anatomía y germinación del agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz). *Agronomía Colombiana*, 10(2), 151–159.
- Chen, S., Zhu, Y., Shao, T., Long, X., & Zhou, Z. (2019). Relationship between rhizosphere soil properties and disease severity in highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum*). *Applied Soil Ecology*, 137, 187–194.
- Claudio, R., Nijera, J., & Santacruz, S. (2012). Evaluación de la actividad antioxidante de *Vaccinium floribundum* sometido a tratamiento térmico. *Vitae*, 19, 352–353.
- Coba-Santamaría, P., Coronel, D., Verdugo, K., Paredes, M. F., & Huachi, L. (2012). Estudio Etnobotánico del Mortiño (*Vaccinium floribundum*) como Alimento Ancestral y Potencial Alimento Funcional. *La Granja, Revista de Ciencias de la Vida*, 16(2), 5–7.
- Cobo, M. M., Gutiérrez, B., Torres, A. F., & Torres, M. L. (2016). Preliminary analysis of the genetic diversity and population structure of mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth). *Biochemical Systematics and Ecology*, 64, 14–21.
- Coronel, L., Pérez, J. B., & León, N. (2019). Influencia de diferentes agentes encapsulantes en la retención de vitamina C en el zumo de arándano (*Vaccinium corymbosum*) atomizado. *Agroindustrial Science*, 9(1), 47–52.
- Corrales, M., Rada, F., & Jaimez, R. (2016). Efecto del nitrógeno en los parámetros fotosintéticos y de producción del cultivo de la gerbera (*Gerbera jamesonii* H. Bolus ex Hook. f.). *Acta Agronómica*, 65(3), 255–260.
- Cruañes, M. del C., & Locaso, D. E. (2011). Quitosano: antimicrobiano biodegradable en postcosecha de arándanos (*Vaccinium myrtillus* L.). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 12(1), 57–63.
- Dávila, M. D., Gallegos, G., Hernández, F. D., Ochoa, Y. M., & Flores, A. (2013). Actinomicetos Antagónicos Contra Hongos Fitopatógenos de Importancia Agrícola. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(8), 1187–1196.
- Daza, M. C., Hernández, F., & Triana, A. (2014). Efecto del Uso del Suelo en la Capacidad de Almacenamiento Hídrico en el Páramo de Sumapaz - Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 67(1), 7189–7200.
- Debnath, S. C. (2014). Structured diversity using EST-PCR and EST-SSR markers in a set of wild blueberry clones and cultivars. *Biochemical Systematics and Ecology*, 54, 337–347.
- Desbrosses, G. J., & Stougaard, J. (2011). Root Nodulation: A Paradigm for How Plant-Microbe Symbiosis Influences Host Developmental Pathways. *Cell Host & Microbe*, 10(4), 348–358.
- Díaz, M. A., Navarrete, J. D., & Suárez, T. (2005). Páramos: Hidrosistemas Sensibles. *Revista de Ingeniería*, 22, 64–75.
- Dix, N. J., & Webster, J. (1995). *Fungi of Soil and Rhizosphere*. En: Fungal Ecology (N. J. Dix (ed.); 1ª ed.). Springer, Netherlands. Pp. 172–202.
- Fan, M., Lian, W., Li, T., Rao, Z., & Wang, L. (2020). Characterization of promising natural blue pigment from *Vaccinium bracteatum* thunb. leaves: Insights of the stability and the inhibition of α -amylase. *Food Chemistry*, 126962.
- FAO. (2017). *Identificación de Cultivos de Importancia Económica Impactados por la Zoopolinización*. FAO, Roma, Italia.
- Figuerola, D., Guerrero, J., & Bensch, E. (2010). Efecto de Momento de Cosecha y Permanencia en Huerto Sobre la Incidencia de Hongos de Poscosecha en Arándano Alto (*Vaccinium Corymbosum* L.). *IDESIA*, 28(2), 9–19.
- Flores, J. A. (2017). Antagonismo In Vitro de Hongos Endófitos para su uso en el Biocontrol de Enfermedades Forestales. *FARMEN – Estelí*, 23, 58–71.
- Franco, Y., Rojano, B., Alzate, A. F., Restrepo, C. E., & Maldonado Celis, M.E. (2016). Efecto del Tiempo de Almacenamiento Sobre Propiedades Físicoquímicas y Antioxidantes de Productos Derivados del Fruto Agraz. *Vitae*, 23, 184–193.
- Fulcher, A., Gauthier, N. W., Klingeman, W. E., Hale, F., White, S. A. (2015). Blueberry Culture and Pest, Disease, and Abiotic Disorder Management during Nursery Production in the Southeastern U.S.: A Review. *Journal of Environmental Horticulture*, 33(1), 33–47.
- García, J. C., García, G., & Ciordia, M. (2018). *El cultivo del arándano en el norte de España*. Gobierno de Serida, Asturias, España. 194 pp.
- Gavira, C., Ochoa, C., Sánchez, N., Medina, C., & Rojano, P. (2009). Actividad antioxidante e inhibición de la peroxidación lipídica de extractos de frutos de mortiño (*Vaccinium meridionale* SW). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 8, (6): 519–528.
- Giné, D., & Galárraga, R. (2015). El páramo andino: características territoriales y estado ambiental. Aportes interdisciplinarios para su conocimiento. *Estudios Geográficos*, 369–393.
- González, A., Riquelme, J., France, A., Uribe, H., & Becerra, C. (2017). *Manual de manejo agronómico del arándano*. INIA, Santiago, Chile. 98 pp.
- González, M., Gutiérrez, M., & Wright, S. (2004). Hongos Micorrízicos Arbusculares en la Agregación del Suelo y su Estabilidad. *Tierra Latinoamericana*, 22(4), 507–514.
- González, L., Núñez, B., & Díaz, R. (2012). Efecto de la Aplicación de Rhizobium y Mycorrhiza en el Crecimiento del Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Variedad CC-25-9 Negro. *Centro Agrícola*, 39(4), 17–20.
- Gorzela, M. A., Hambleton, S., & Massicotte, H. B. (2012). Community structure of ericoid mycorrhizas and root-associated fungi of *Vaccinium membranaceum* across an elevation gradient in the Canadian Rocky Mountains. *Fungal Ecology*, 5(1), 36–45.
- Gough, C. (2003). *Rhizobium Symbiosis: Insight into Nod Factor Receptors*. *Current Biology*, 13(24), R973–R975.
- Gutiérrez, M. E. (2014). *Vaccinium floribundum*. Catálogo virtual de flora de Alta Montaña. Disponible en: <https://catalogofloraalta montana.eia.edu.co/species/36>
- Heredia, C., Alarcón, A., Hernández-Cuevas, L., Ferrera-Cerrato, R., & Almaraz, J. J. (2014). Diversidad, Ecología e Importancia Potencial de los Hongos Endófitos Septados Oscuros en México. *Botanical Sciences*, 92(1), 321–333.
- Hernández, A., Bojórquez, J., Morell, F., Cabrera, A., & Nájera, O. (2010). *Fundamentos de la estructura de suelos*. Univ. Autónoma de Nayarit. Nayarit, México. 80 pp.
- Hernández, F. E., Pioli, R. N., Peruzzo, A. M., et al. (2015). Caracterización Morfológica y Molecular de una Colección de Aislamientos de *Phomopsis longicolla* (teleomorfo desconocido: Diaporthales) de la Región Templada y Subtropical de Argentina. *Revista de Biología Tropical*, 63(3), 871–884.
- Hernández, I., Bautista, P. B., & Arellanes, N. (2017). Evaluación de la calidad de fruta de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) VAR. BILOXI, en dos regiones de Oaxaca. *Unica*, 6, 258.
- Hernández, J., Cubillos, J., & Milian, P. (2012). Aislamiento de Cepas de *Rhizobium* spp., Asociados a dos Leguminosas Forrajeras en el Centro Biotecnológico del Caribe. *Revista Colombiana de Microbiología Tropical*, 59, 51–62.
- Highbush Blueberry Council. (2019). *Retail Channel Blueberry Performance - amended*. CP- Category partners y Buelberries U.S. Highbush Blueberry Council, Estados Unidos de América, 3 de Julio, 2019.
- Hofstede, R., Calles, J., López, V., Polanco, R., & Cerra, M. (2014). *Los Páramos Andinos ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo*. UICN. Quito, Ecuador. 154 pp.
- Hofstede, R., Lips, J., & Jongsma, W. (1998). *Deforestación y regeneración del bosque andino*. En Geografía, ecología y forestación de la sierra alta del Ecuador: revisión de literatura, Ediciones Abya-Yala, Quito, Ecuador. 242 pp.
- Honrubia, M. (2009). Las micorrizas: una relación planta-hongo que dura más de 400 millones de años. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 66, 133–144.
- Hung, C. D., Hong, C.-H., Kim, S.-K., Lee, K.-H., & Lee, H.-I. (2016). In vitro proliferation and ex vitro rooting of microshoots of commercially important rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei* Reade) using spectral lights. *Scientia Horticulturae*, 211, 248–254.
- Hurkova, K., Uttl, L., Rubert, J., Navratilova, K., & Hajslova, J. (2019). Cranberries

- versus lingonberries: A challenging authentication of similar *Vaccinium* fruit. *Food Chemistry*, 284, 162-170.
- Ibrahim, A., Tanney, J. B., Fei, F., Seifert, K. A., & Sumarah, M. W. (2020). Metabolomic-guided discovery of cyclic nonribosomal peptides from *Xylaria ellisii* sp. nov., a leaf and stem endophyte of *Vaccinium angustifolium*. *Scientific Reports*, 10(1), 4599.
- Infante, D., Martínez, B., González, N., & Reyes Duque, Y. (2009). Mecanismos de acción de *Trichoderma* frente a hongos fitopatógenos. *Revista de Protección Vegetal*, 24, 14-21.
- Jaizme, M. del C., & Rodríguez, A. S. (2008). Integración de Microorganismo Benéficos (Hongos Micorrízicos y Bacterias Rizosféricas en Agrosistemas de las Islas Canarias. *UM*, 33-34.
- Jardim Botánico UTAD. (2021a). *Vaccinium corymbosum*. Retrieved from: https://jb.utad.pt/especie/Vaccinium_corymbosum
- Jardim Botánico UTAD. (2021b). *Vaccinium corymbosum*. Retrieved from: https://jb.utad.pt/especie/Vaccinium_myrtillus
- Jiang, Y., Li, S., Li, R., Zhang, J., & Li, W. (2017). Plant cultivars imprint the rhizosphere bacterial community composition and association networks. *Soil Biology and Biochemistry*, 109, 145-155.
- Jiménez, A., Gutiérrez, M. del C., Gutiérrez, E., Alarcón, A., & Montaña, N. (2019). El papel de los hongos en la conservación de Andosols: estudio de caso en Tlaxcala, México. *Tierra Latinoamericana*, 37(2), 93-103.
- Jiménez, V., & Abdelnour, A. (2018). Protocolo de micropropagación de arándano nativo de Costa Rica (*Vaccinium consanguineum*). *Tecnología en Marcha*, 31(1), 144-159.
- Jorgensen, P. M., & Ulloa, C. (1994). Seed plants of the high Andes of Ecuador—A checklist. *AAU Rep*, 34, 1-443.
- Juárez, G., Sosa, M., & López, A. (2010). Hongos Fitopatógenos de Alta Importancia Económica: descripción y métodos de control. *TSIA*, 4(2), 14-23.
- Kankanala, P., Czymmek, K., & Valent, B. (2007). Roles for Rice Membrane Dynamics and Plasmodesmata during Biotrophic Invasion by the Blast Fungus. *The Cell Plant*, 19, 706-724.
- Kennedy, A. C., & de Luna, L. Z. (2005). *RHIZOSPHERE*. En D. Hillel (Ed.) *Encyclopedia of Soils in the Environment*. Elsevier. Pp. 399-406.
- Kidaj, D., Wielbo, J., & Skorupska, A. (2012). Nod factors stimulate seed germination and promote growth and nodulation of pea and vetch under competitive conditions. *Microbiological Research*, 167(3), 144-150.
- Kim, H. N., Baek, J. K., Park, S., Kim, J. D., & Jeong, J. B. (2019). Anti-inflammatory effect of *Vaccinium olidhamii* stems through inhibition of NF- κ B and MAPK/ATF2 signaling activation in LPS-stimulated RAW264.7 cells. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 19(1), 291-297.
- Knogge, W. (1996). Fungal Infection of Plants. *The Cell Plant*, 8, 1711-1722.
- Lambí, L. D., Soto, A., Céleri, R., Bievre, B., & Borja, P. (2012). Ecología, Hidrología y Suelos de Páramos. <https://biblio.flacoandes.edu.ec/libros/digital/56480.pdf>
- Larach, A., Besoain, X., & Salgado, E. (2009). Crown and root rot of highbush blueberry caused by *Phytophthora cinnamomi* and *P. citrophthora* and cultivar susceptibility. *Ciencia e Investigación Agraria*, 36(3), 433-442.
- Li, J., Mavrodi, O. V., Hou, J., Blackmon, C., & Mavrodi, D. V. (2020). Comparative Analysis of Rhizosphere Microbiomes of Southern Highbush Blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.), Darrow's Blueberry (*V. darrowii* Camp), and Rabbiteye Blueberry (*V. virgatum* Aiton). *Frontiers in Microbiology*, 11(370), 1-14.
- Li, Z.-J., Shen, X.-Y., & Hou, C.-L. (2016). Fungal endophytes of South China blueberry (*Vaccinium dunalianum* var. *urophyllum*). *Applied Microbiology*, 63(6), 482-487.
- Limpens, E., & Bisseling, T. (2014). CYCLOPS: A New Vision on Rhizobium-Induced Nodule Organogenesis. *Cell Host & Microbe*, 15(2), 127-129.
- Liu, Y., Liu, S., Liu, D., Wei, Y., & Liu, W. (2014). Exploiting EST databases for the development and characterization of EST-SSR markers in blueberry (*Vaccinium*) and their cross-species transferability in *Vaccinium* spp. *Scientia Horticulturae*, 176, 319-329.
- Llerena, W., Samaniego, I., Ramos, M., & Brito, B. (2014). Caracterización Físicoquímica y Funcional de Seis Frutas Tropicales y Andinas Ecuatorianas. *Alimentos, Ciencia e Ingeniería*, 22(2), 13-22.
- Lozano, J., Armbricht, I., & Montoya, J. (2015). Hongos formadores de micorrizas arbusculares y su efecto sobre la estructura de los suelos en fincas con manejos agroecológicos e intensivos. *Acta Agronómica*, 64(4), 289-296.
- Lujan, M. E., Ayala, C. I., Castillo, E. F., Pinedo, C., & Durand, C. (2018). Desarrollo de un gel de fruto de *Vaccinium corymbosum* L. (Ericaceae) con actividad regeneradora de tejido dérmico. *Arnaldoa*, 25(2), 529-538.
- Luteyn, J. (1996). *Tropicos*. 147. *Ericaceae* 54. University of Göteborg: Disponible en: <http://legacy.tropicos.org/ReferencePage.aspx?referenceid=1004725&tab=namereferences>
- Maldonado, M. E., Franco Tobón, Y. N., Agudelo, C., Arango, S. S., & Rojano, B. (2017). *Andean Berry (Vaccinium meridionale Swartz)*. En E. M. Yahia (Ed.), *Fruit and Vegetable Phytochemicals* John Wiley & Sons. Pp. 869-882.
- Márquez, E., López, C., Ramírez, A., Chávez, E., & García, J. (2009). Identificación y Colonización Natural de Hongos Micorrízicos Arbusculares en Nopal. *Terra Latinoamericana*, 27(4), 355-361.
- Marrero, M. A., Agaras, B., Wall, L. G., & Valverde, C. (2015). Enriquecimiento diferencial de *Pseudomonas* spp. en el rizoplaneo de distintas especies cultivadas. *Revista Argentina de Microbiología*, 47(2), 132-137.
- McMahan, E., & Guédot, C. (2018). Development of Sparganothis sulfureana (Lepidoptera: Tortricidae) on Cranberry Cultivars. *Insects*, 9(1), 4.
- McMahan, E., Steffan, S., & Guédot, C. (2017). Population Densities of Lepidopteran Pests in Selected Cranberry Cultivars in Wisconsin. *Journal of Economic Entomology*, 110(3), 1113-1119.
- Mejía, F., De La Cruz, J., Mostacero, J., López, E., & Goza, A. (2016). Registro del género *Vaccinium* en el norte del Perú. *INDES Revista De Investigación Para El Desarrollo Sustentable*, 2(1), 53-61.
- Mendoza, W. F., López, S. E., Mostacero, J., Gil, A. E., & De La Cruz, A. J. (2020). Determinación de las concentraciones adecuadas de 2,4 diclorofenoxiacético y Kelpac en el enraizamiento de estacas de *Vaccinium floribundum* Kunth "pushgay". *Manglar*, 17, 21-22.
- Meneses, L., Dueñas, F., Recto, L., & Morillo, E. (2018). *Establecimiento in vitro de Mortiño (Vaccinium floribundum Kunth) y Avances en su Micropropagación*. En Primer Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología Agropecuaria "Fomentando la Seguridad y Soberanía Alimentaria", Quito, Ecuador, 13-15 Jun, 2018.
- Milholland, R. D. (1973). Blueberry Stem Canker and Dieback Caused by *Gloeosporium minus*. *APS*, 727-729.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2012). *Programa para el Manejo Sostenible y Restauración de Ecosistemas de la Alta Montaña colombiana*. Ministerio del Ambiente de Colombia. Bogotá, Colombia. 73 pp.
- Mondragón-Flores, A., López Medina, J., Salvador Ochoa, A., & Gutiérrez Contreras, M. (2012). Hongos Asociados a la Parte Aérea del Arándano en Los Reyes, Michoacán, México. *Revista mexicana de fitopatología*, 30(2), 141-144.
- Morell, F., Hernández, A., Borges, Y., & Marentes, F. L. (2009). La Actividad de los Hongos Micorrízicos Arbusculares en la Estructura del Suelo. *Cultivos Tropicales*, 30(4), 25-31.
- Moreno, A., García, V., Reyes, J. L., Vásquez, J., & Cano, P. (2018). Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal: Una Alternativa de Biofertilización para la Agricultura Sustentable. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 10(1), 68-83.
- Mostacero, J., Rázuri, T., & Gil, A. (2017). Fitogeografía y morfología de los *Vaccinium* (Ericaceae) "arándanos nativos" del Perú. *INDES Revista De Investigación Para El Desarrollo Sustentable*, 3(1), 43-52.
- Mostacero, J., Rázuri, T., & Gil, A. (2015). Fitogeografía y Morfaología de los *Vaccinium* (Ericaceae) "arándanos nativos" del Perú. *INDES Revista De Investigación Para El Desarrollo Sustentable*, 1, 43-52.
- Muñoz-Vega, P., Serri, H., López, M. D., Faundez, M., & Palma, P. (2017). Efecto de Diferentes Intensidades de Poda Sobre el Rendimiento y Calidad de la Fruta de Arándano *Vaccinium corymbosum* L.) cv. BRIGITTA. *Chilean J. Agric. Anim. Sci*, 33(3), 285-294.
- Muñoz, A. (2008). *Caracterización de Distintos Péptidos Antimicrobianos con Actividad Frente a Hongos Fitopatógenos de Interés Agroalimentario*. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. 253 pp.
- Nadziakiewicz, M., Kurzawińska, H., Mazur, S., & Tekielska, D. (2018). *Alternaria alternata* – the main causal agent of disease symptoms in juniper, rose, yew and highbush blueberry in nurseries in southern Poland. *Folia Horticulturae*, 30(1), 15-25.
- Nagulsamy, P., Ponnusamy, R., & Thangaraj, P. (2015). Evaluation of antioxidant, anti-inflammatory, and antiulcer properties of *Vaccinium leschenaultii* Wight: A therapeutic supplement. *Journal of Food and Drug Analysis*, 23(3), 376-386.
- Nan, J., Chao, L., Ma, X., Xu, D., & Bao, Y. (2020). Microbial diversity in the rhizosphere soils of three *Stipa* species from the eastern Inner Mongolian grasslands. *Global Ecology and Conservation*, e00992, 2-15.
- Nápoles, M., Cabrera, J., Onderwaterll, R., Wattiez, R., & Núñez, M. (2016). Señales Producidas por *Rhizobium leguminosarum* en la Interacción con Frijol Común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cultivos Tropicales*, 37(2), 37-44.
- Ormazábal, Y., Mena, C., Cantillana, J., & Lobos, G. (2020). Caracterización de Predios Productores de Arándanos (*Vaccinium corymbosum*), Según Nivel Tecnológico. El caso de la Región del Maule-Chile. *Información tecnológica*, 31(1), 41-52.
- Ortiz, M. A., Hernández, J. E., Valenzuela, B., Villalobos, S., & Santoyo, G. (2018). Diversidad de bacterias endófitas cultivables asociadas plantas de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Biloxi con actividades promotoras del crecimiento vegetal. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 32(2), 141-143.
- Ostrolucká, M. G., Libiaková, G., Ondrušková, E., & Gajdošová, A. (2004). In vitro Propagation of *Vaccinium* Species. *Acta Universitatis Latviensis, Biology*, 676, 207-212.
- Patzelt, E. (1996). *Flora del Ecuador*. Banco Central del Ecuador. Imprefpcc. Quito, Ecuador. 334 pp.
- Pedraza, P., Valencia, R., Montúfar, R., Santana, J. & Tye, A. (2017). *Ericaceae. Libro Rojo de Plantas Endémicas del Ecuador*. Publicaciones del Herbario QCA. Disponible en: <https://bioweb.bio/floraweb/librorojo/ListaEspeciesPorFamilia/500173>

- Pedraza, R., Teixeira, K., Fernández, A., García, I., & Bonilla, R. (2010). Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos. Revisión. *Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11(2), 155-164.
- Pescie, M. A., & Lopez, C. G. (2007). Inducción floral en Arándano Alto del Sur (*Vaccinium cory*). *RIA*, 36, 97-98.
- Piepenbring, M., López, F., & Cáceres, O. (2016). Colaboradores Escondidos –La Importancia de los Hongos en los Ecosistemas. *Puente Biológico*, 59, 8, 57-9.
- Pinilla, M. S., & Nates, G. (2015). Visitantes florales y polinizadores en poblaciones silvestres de agraz (*Vaccinium meridionale*) del bosque andino colombiano. *Revista Colombiana de Entomología*, 41, 112-113.
- Podwojewski, P., & Poulenard, J. (2000). *Los Suelos de los Páramos del Ecuador*. Abya Yala. Quito, Ecuador. 75 pp.
- Prashar, P., Kapoor, N., & Sachdeva, S. (2013). Rhizosphere: Its structure, bacterial diversity and significance. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 13, 63-77.
- Prieto, J., Gonzáles, C., Román, A., et al. (2010). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29-44.
- Rache, L. Y., & Pacheco, J. C. (2010). Propagación in vitro de plantas adultas de *Vaccinium meridionale* (Ericaceae). *Acta Botanica Brasílica*, 24(4), 1086-1095.
- Racines-Oliva, M., Hidalgo-Verdezoto, R., & Vasquez-Castillo, W. (2016). Mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth.) domestication: Andean fruit with high food industry potential. *Agronomía Colombiana Suplemento*, (1), S51-S53.
- Rayner, A. D. M., & Todd, N. K. (1980). *Population and Community Structure and Dynamics of Fungi in Decaying Wood (Vol 7)*. Advances in Botanical Research. Woolhouse (ed.) Academic Press. Pp. 333-420.
- Reyes, I. (2011). La micorriza arbuscular (MA) centro de la rizosfera: comunidad microbiológica dinámica del suelo. *ContactoS*, 17-23.
- Reyes, I. Y., Villacres, C. E., Santacruz, S. G., Castro, M. R., & Armas, A. C. (2019). Efecto antibacteriano y antioxidante de frutos rojos ecuatorianos sobre streptococcus mutans: estudio in vitro. *Odontología Vita*, 131, 23-30.
- Rivera, M. J., Rodríguez-Saona, C., Jennings, D. E., & Koppenhöfer, A. M. (2015). Assessing the impact of cultivation and plant domestication of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum*) on soil properties and associated plant-parasitic nematode communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 88, 25-28.
- Rodríguez-Daza, M.-C., Daoust, L., Boutkrabt, L., Pilon, G., & Desjardins, Y. (2020). Wild blueberry proanthocyanidins shape distinct gut microbiota profile and influence glucose homeostasis and intestinal phenotypes in high-fat high-sucrose fed mice. *Scientific Reports*, 10(1), 2217.
- Rodríguez, C., Polashock, J., & Malo, E. (2013). Jasmonate-mediated induced volatiles in the American cranberry, *Vaccinium macrocarpon*: from gene expression to organismal interactions. *Frontiers*, 15, 1-17.
- Rodríguez, F., & Behling, H. (2012). Late Quaternary vegetation, climate and fire dynamics, and evidence of early to mid-Holocene *Polylepis* forests in the Jimbura region of the southernmost Ecuadorian Andes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 350-352, 247-257.
- Rodríguez, M., Wyss, A., & Hormazábal, N. (2015). Evaluación de bolsa atmósfera modificada y concentraciones de anhídrido sulfuroso aplicadas sobre frutos de arándano alto (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Emerald. *Scientia Agropecuaria*, 6(4), 259-270.
- Rodríguez, P. (2001). Biodiversidad de los Hongos Fitopatógenos del Suelo de México. *Acta Zoológica Mexicana* (nueva serie), 53-78.
- Romero, C. (2016). *El Arándano en el Perú y el Mundo*. Ministerio de Agricultura y Riego. Lima, Perú. 43 pp.
- Sakhanokho, H. F., Rinehart, T. A., Stringer, S. J., Islam-Faridi, M., & Pounders, C. T. (2018). Variation in nuclear DNA content and chromosome numbers in blueberry. *Scientia Horticulturae*, 23, 108-113.
- Salgado, C., Sánchez, P., Volke, V. H., & Colinas M. T. B. (2018). Respuesta Agronómica de Arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) al Estrés Osmótico. *Agrociencia*, 52(2), 231-239.
- Sánchez, J., & Furrázola, E. (2018). *Ecotecnologías para la Restauración Ecológica: Los Tratamientos de Semillas y las Micorrizas*. Editorial Académica. CITMA, Igt. Cuba. 122 pp.
- Sánchez, M. (2007). *Las Endomicorrizas: Expresión Bioedáfica de Importancia en el Trópico*. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia, 352 pp.
- Sánchez, R. E., Sánchez, B. L., Monserrat, Y. K., Benítez, A., & Macías M. L. (2013). Hongos Endófitos: Fuente Potencial de Metabolitos Secundarios Bioactivos con Utilidad en la Agricultura y Medicina. TIP. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 16(2), 132-146.
- Santadino, M., Riquelme, M., Ansa, M., Bruno, M., & Lunazzi, E. (2015). Primer registro de *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) asociado al cultivo de arándanos (*Vaccinium* spp.) de Argentina. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 74(3-4), 183-185.
- Santillana, N., Zúñiga, D., & Arellano, C. (2012). Capacidad Promotora del Crecimiento en Cebada (*Hordeum vulgare*) y Potencial Antagónico de *Rhizobium leguminosarum* y *Rhizobium etli*. *Agrociencia Uruguay*, 16(2), 11-17.
- Santoyo, G., Moreno, G., Orozco, M. C., & Glick, B. R. (2016). Plant Growth-Promoting Bacterial Endophytes. *Microbiological Research*, 183, 93-95.
- Spinola, V., Pinto, J., & Castilho, P. C. (2018). Hypoglycemic, Anti-glycation and Antioxidant In Vitro Properties of Two *Vaccinium* Species From Macaronesia: A Relation to Their Phenolic Composition. *Journal of Functional Foods*, 40, 595-605.
- Suárez, C. I., Calderón, M., & Mancipe, C. (2018). Propagación sexual y tolerancia a la desecación del agraz (*Vaccinium meridionale* Sw) de tres fuentes semilleras localizadas en Ráquira, San Miguel de Sema (Boyacá) y Gachetá (Cundinamarca). *Revista De La Academia Colombiana De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales*, 42(163), 207-215.
- Sullca, C., Molina, C., Rodríguez, C., & Fernández, T. (2018). Detección de enfermedades y plagas en las hojas de arándanos utilizando técnicas de visión artificial. *UIGV*, 15, 1-33.
- Teillier, S., Amarilla, L. D., & Anton, A. M. (2019). Contribución a la Flora Vasculare de la República Argentina: Familia Ericaceae. *Darwiniana*, 69, 7(1), 68-92.
- Tokala, R. K., Strap, J. L., Jung, C. M., Crawford, D. L., & Morra, M. J. (2002). Novel Plant-Microbe Rhizosphere Interaction Involving *Streptomyces lydicus* WYEC108 and the Pea Plant (*Pisum sativum*). *Applied and Environmental Microbiology*, 68, 2161-2171.
- Tombozara, N., Donnoc, D., Razafindrakotoa, Z., Randriamampionna, D., & Beccaro, G. L. (2020). The first assessment on antioxidant and antidiabetic activities of leaves and stems of *Vaccinium secundiflorum* Hook. (Ericaceae), an endemic plant of Madagascar. *South African Journal of Botany*, 130, 422-429.
- Torrenegra, M. E., Villalobos, O. L., Castellar, E. A., León, G., & Caro, M. S. (2016). Evaluación de la Actividad Antioxidante de las Pulpas de *Rubus glaucus* B, *Vaccinium floribundum* K y *Beta vulgaris* L. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 21(4), 1-8.
- Torres, M., Trujillo, D., & Arahana, V. (2010). Cultivo in vitro del mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth). *Avances en ciencias e ingenierías*, 2, 9-15.
- Undurraga, P., & Vargas, S. (2013). *Manual de Arándano*. Trama Impresores S.A. Chillán, Chile. 120 pp.
- Urgiles, N., Cofre, D., Loján, P., Maita, J., & Aguirre, N. (2018). Diversidad de plantas, estructura de la comunidad y biomasa aérea en un páramo del sur del Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 8(1), 44-56.
- USDA. (2002). *Hibush Blueberry*. USDA, NRCS. Estados Unidos de América. 3 pp.
- USDA. (2019). *USDA Stat Blueberry*. Statistics by Subject. Disponible en: https://quickstats.nass.usda.gov/results/CBDCDF536-13A5-3D67-94CA-D068D478FBD4?pivot=short_desc
- Vega, A., & Muñoz, C. (1994). Presencia de Micorrizas en Ericaceas en Chile. *Agricultura Técnica*, 54, 333-338.
- Weingartner, D. P., & Klos, E. J. (1975). Etiology and Symptomatology of Canker and Dieback Diseases of Highbush Blueberries Caused by *Godronia (Fusicoccum) cassandrae* and *Diaporthe (Phomopsis) vaccinii*. *Phytopathology*, 65(2), 105-106.
- Yang, H., Zhao, X., Liu, C., Bai, L., & Li, L. (2018). Diversity and Characteristics of Colonization of Root-Associated Fungi of *Vaccinium uliginosum*. *Scientific Reports*, 8, 15283.
- Zepeda-Jazo, I. (2018). Manejo Sustentable de Plagas Agrícolas en México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 15(1), 99-108.
- Zhang, L., Wu, G., Wang, W., Yue, J., & Gao, X. (2019). Anthocyanin profile, color and antioxidant activity of blueberry (*Vaccinium ashei*) juice as affected by thermal pretreatment. *International Journal of Food Properties*, 22, 1035.
- Zong, Y., Haiting, K., Chena, X., Zhou, M., & Guoa, W. (2018). Phylogenetic Relationship and Genetic Background of Blueberry (*Vaccinium* spp.) Based on Retrotransposon-Based SSAP Molecular Marker. *Scientia Horticulturae*, 247, 116-122.