

**EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO VEGETATIVO DE *Vanilla planifolia* Jacks  
EN UN BOSQUE PLUVIAL TROPICAL DEL CHOCÓ BIOGEOGRÁFICO  
COLOMBIANO**

**HEIDY YUBESLY MARÍN MOSQUERA**

**Universidad Tecnológica del Chocó Diego Luis Córdoba**

**Facultad de Ciencias Naturales**

**Maestría en Ciencias Biológicas**

**CHOCÓ, QUIBDÓ**

**2021**

**EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO VEGETATIVO DE *Vanilla planifolia* Jacks  
EN UN BOSQUE PLUVIAL TROPICAL DEL CHOCÓ BIOGEOGRÁFICO  
COLOMBIANO**

**HEIDY YUBESLY MARÍN MOSQUERA**  
Trabajo de grado para optar al título de  
Magister en Ciencias Biológicas

**HARLEY QUINTO MOSQUERA, PhD.**  
Director

**EVA DOLORES LEDEZMA RENTERIA, MSc.**  
Asesora

**Universidad Tecnológica del Chocó Diego Luis Córdoba**

**Facultad de Ciencias Naturales**

**Maestría en Ciencias Biológicas**

**CHOCÓ, QUIBDÓ**

**2021**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

**Director de tesis**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**NOTA DE DEDICATORIA**

*Dedico este triunfo a mi padre celestial "Dios"*

*"¡Aleluya! ¡Alabado sea el Señor! Den gracias al Señor, porque él es bueno; su gran amor perdura para siempre."*

*Salmos 106:1*

*A mi hijo Fabio Hams Valois Marín*

*A mi madre Mercedes Mosquera Blandón*

*A mi padre Fabio Marín Mosquera "Q.E.P.D"*

*A mi compañero de vida Weymar Bechara Hinestroza*

## **AGRADECIMIENTOS**

Expreso mis más sinceros agradecimientos a Dios, por permitir alcanzar mis objetivos.

A mi hijo Fabio Hams Valois Marín, a mis padres Mercedes Mosquera Blandón y Fabio Marín Mosquera “QEPD”, y a mi compañero de vida Weymar Bechara Hinestroza, por el apoyo incondicional para la realización de estos estudios.

A mi director de tesis Harley Quinto Mosquera y a mi asesora Eva Ledezma Rentería, por la excelente calidad profesional y humana y por sus invaluable apoyo y acertada dirección y asesoría durante mis estudios y realización del trabajo de grado.

A el profesor Leider Palacios, a mi compañero de estudio Leison Palacios Gamboa, a las estudiantes Angie Paola Rentería Lloreda y Ludy Martínez Córdoba, que apoyaron las actividades de campo de esta investigación.

A la Universidad Tecnológica del Chocó “Diego Luis Córdoba”, a la Facultad de Ciencias Naturales, y en especial a los docentes de la Maestría en Ciencias Biológicas, por compartir sus conocimientos, de igual manera a la Estación Meteorológica Campbell Scientific CR300 de la Universidad Tecnológica del Chocó, por el apoyo en la toma de datos climatológicos.

A el Consejo Comunitario de CASIMIRO (Quibdó, Chocó), por apoyar las salidas de campo y permitir entrar a la Parcela de Investigación en Biodiversidad de la Universidad Tecnológica del Chocó.

*A todos estos, mil gracias.*

## TABLA DE CONTENIDO

Resumen .....	9
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	14
<b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	17
<b>2.1. Formulación del problema</b> .....	17
<b>2.2. Pregunta de investigación.</b> .....	19
<b>2.3. Hipotesis</b> .....	19
<b>2.4. Justificación.</b> .....	19
<b>3.OBJETIVOS.</b> .....	21
<b>3.1. Objetivo general</b> .....	21
<b>3.2. Objetivos específicos</b> .....	21
<b>4.MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE</b> .....	21
<b>4.1. Antecedentes</b> .....	21
<b>5. METODOLOGÍA.</b> .....	26
<b>5.1. Descripción del area de estudio</b> .....	26
<b>5.2. Descripción de la especie.</b> .....	28
<b>5.3. Factores ambientales</b> .....	29
<b>5.4. Metodo</b> .....	30
<b>5.4.1. Diseño de muestreo y recolección de datos.</b> .....	30
<b>5.5. Medición de factores biológicos</b> .....	32
<b>5.6. Medición de factores ambientales.</b> .....	33
<b>5.7. Analisis de datos</b> .....	33
<b>6. RESULTADOS</b> .....	34
<b>6.1. Determinación tasa de crecimiento de atributos vegetativos de <i>Vanilla planifolia</i> Jacks</b> .....	34
<b>6.2. Relación de la tasa de crecimiento de <i>Vanilla planifolia</i> Jacks en función de factores ambientales</b> .....	36
<b>6.2.1. Efecto de la radiación solar</b> .....	40
<b>6.2.2. Efecto de la temperatura</b> .....	41
<b>6.2.3. Efecto de la precipitación</b> .....	42

6.2.4. Efecto de la humedad relativa .....	43
6.2.5. <i>Vanilla planifolia</i> Jacks y el hospedero.....	44
7.DISCUSIÓN. ....	45
7.2. Relación de la tasa de crecimiento de <i>Vanilla planifolia</i> Jacks en función de factores ambientales .....	45
7.2.1. Efecto de la radiación solar.....	45
7.2.2. Efecto de la temperatura .....	46
7.2.3. Efecto de la precipitación .....	47
7.2.4. Efecto de la humedad relativa .....	48
7.2.5. <i>Vanilla planifolia</i> Jacks y el hospedero.....	49
8.CONCLUSIONES.....	52
9. RECOMENDACIONES .....	53
10. BIBLIOGRAFIA .....	54
11. ANEXOS .....	69

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localización área de estudio .....	27
<b>Figura 2.</b> Partes de la vainilla planifolia Jacks .....	28
<b>Figura 3.</b> Esquema diseño experimental aleatorio simple .....	31
<b>Figura 4.</b> Rotulado de individuos y toma de datos.....	31
<b>Figura 5.</b> Crecimiento vegetativo de <i>Vanilla planifolia</i> Jacks en un bosque pluvial trópical del Chocó biogeográfico colombiano.....	35
<b>Figura 6.</b> Comportamiento de los factores ambientales durante el crecimiento vegetativo de <i>vanilla planifolia</i> Jacks en un bosque pluvial tropical del Chocó biogeografico colombiano .....	37
<b>Figura 7.</b> Cambios en las tasas de crecimiento vegetativo de <i>vanilla planifolia</i> Jacks en un bosque pluvial tropical del Chocó biogeografico colombiano .....	38
<b>Figura 8.</b> Efecto de la radiación solar en el crecimiento de <i>Vanilla planifolia</i> Jacks en un boque pluvial trópical del Chocó biogeográfico colombiano .....	40
<b>Figura 9.</b> Efecto de la temperatura en el crecimiento de <i>Vanilla planifolia</i> Jacks en un boque pluvial trópical del Chocó biogeográfico colombiano.....	41
<b>Figura 10.</b> Efecto de la precipitación en el crecimiento de <i>Vanilla planifolia</i> Jacks en un boque pluvial trópical del Chocó biogeográfico colombiano .....	42
<b>Figura 11.</b> Efecto de la humedad relativa en el crecimiento de <i>Vanilla planifolia</i> Jacks en un boque pluvial trópical del Chocó biogeográfico colombiano .....	43



## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tasa de crecimiento relativo de atributos vegetativos de <i>Vanilla planifolia</i> Jacks en un bosque en pluvial trópic del Chocó biogeográfico colombiano ....	35
<b>Tabla 2.</b> Variables ambientales registradas durante el crecimiento de <i>Vanilla planifolia</i> Jacks en un bosque pluvial trópic del Chocó biogeográfico colombiano .....	36
<b>Tabla 3.</b> Modelos de regresión múltiple de las variables de crecimiento vegetativo de <i>Vanilla planifolia</i> Jacks y las variables ambientales en un bosque pluvial trópic del Chocó biogeográfico colombiano. ....	39
<b>Tabla 4.</b> Especies y familias botánicas hospederas de <i>Vanilla planifolia</i> Jacks en un bosque pluvial trópic del Chocó biogeográfico colombiano.....	44

## RESUMEN

El género *Vanilla* (Orchidaceae) comprende unas 107 especies de orquídeas con hábito de crecimiento hemiepífito, nativa de América tropical (desde México hasta Ecuador), pero se encuentran distribuidas de manera pantropical. Estas plantas crecen de manera natural en poblaciones hiperdispersas, con preferencia en bordes de bosque. La especie más importante económicamente y más importante a nivel mundial es *V. planifolia* (vainilla), pues es la única fuente de vainilla natural proviene de sus frutos que tienen gran importancia comercial en la industria, por lo cual alcanza precios altos en los mercados internacionales. A pesar de que su producción puede constituir una alternativa económica y ecológicamente deseable, en la actualidad no existe una gran base informativa acerca del desarrollo de un sistema productivo de vainilla en Colombia, en consecuencia, existe un vacío de información acerca del estudio de esta especie, pues son pocas las investigaciones que abordan la incidencia de factores ambientales y biológicos sobre el crecimiento de esta planta en su hábitat natural, lo que permitirá un nuevo conocimiento, sobre algunos aspectos importantes de su ecofisiología, a fin de tener información base que servirá para pensar posteriormente en repoblar o cultivarlas y dar luces para pensar posteriormente en adaptarlas y desarrollar técnicas de cultivos y propagación adecuada basadas en sus particularidades de crecimiento para la región y así bioprospectar el aprovechamiento de esta planta que por sus cualidades puede convertirse en una alternativa económica, social y ecológica para las comunidades rurales.

En esta investigación se evalúa el desarrollo vegetativo de la especie *Vanilla planifolia* Jacks y su relación con la radiación solar, la temperatura, la precipitación, la humedad relativa y el hospedero donde crece, en un bosque pluvial tropical del Chocó biogeográfico colombiano, para lo cual se escogieron 15 individuos silvestres, a los que se le tomaron medición mensual de las hojas, entrenudos o tallos y raíces (ancho, largo y diámetro) y adicionalmente se obtuvieron los datos diarios de los factores ambientales: radiación solar, temperatura, precipitación y humedad relativa, además se identificó el forófito en el que se encontraban las vainillas.

La *Vanilla planifolia* en función de la radiación solar, presentó una relación positiva en el crecimiento del ancho y largo de la hoja, pero no muy explicativa con el largo del entrenudo; y finalmente negativa con el crecimiento del largo de la raíz. Se observó que con la temperatura se relacionó positivamente con el incremento longitudinal de la hoja y de la raíz, pero fue poco explicativa con el ancho de la hoja y negativa con el largo de entrenudos. Con relación a la precipitación fue negativo en el ancho y largo de las hojas, largo de los entrenudos, mientras que, con la raíz hubo una relación débil. Referente a el efecto de la humedad hubo una relación positiva con el ancho y largo de la hoja y largo de entrenudos, sin embargo, fue débil con el crecimiento de la raíz. Es importante decir que el crecimiento en el grosor de la hoja y diámetro del tallo no tuvieron relación con respecto a los factores ambientales. Las variables ambientales, radiación solar, temperatura, precipitación y humedad relativa presentan una influencia significativa solamente sobre el crecimiento vegetativo del ancho de la hoja, mientras que la radiación solar presentó una influencia marginalmente significativa sobre el crecimiento longitudinal de la raíz. En cuanto a los hospederos o forófitos se evidenció que no tuvieron preferencias pues cada individuo de vainilla estuvo hospedado en especies diferentes, sin embargo, se evidenció que estuvieron más albergadas en especies de la familia Arecaceae.

**Palabras claves:** *Vanilla planifolia*, crecimiento, radiación solar, temperatura, precipitación, humedad relativa y hospedero.

## ABSTRACT

The genus *Vanilla* (Orchidaceae) comprises some 107 species of orchids with a hemiepiphytic growth habit, native to tropical America (from Mexico to Ecuador), but they are distributed in a pantropical way. These plants grow naturally in hyper-dispersed populations, preferably on forest edges. The most economically important and most important species worldwide is *V. planifolia* (vanilla), as it is the only source of natural vainilla that comes from its fruits that are of great commercial importance in the industry, for which it reaches high prices in international markets. Despite the fact that its production can constitute an economically and ecologically desirable alternative, at present there is no great information base about the development of a production system of vainilla in Colombia, consequently, there is a lack of information about the study of this species, since the investigations that address the incidence of environmental and biological factors on the growth of this plant in its natural habitat are minimal, which will allow a new knowledge, on some important aspects of its ecophysiology, in order to have basic information that will serve to think later about repopulating or cultivating them and giving light to later think about adapting them and developing cultivation techniques and adequate propagation based on their particularities of growth for the region and thus bioprospect the use of this plant that due to its qualities can become an economic alternative, social and ecological for communities r Urals.

This research evaluates the vegetative development of the *Vanilla planifolia* species and its relationship with solar radiation, temperature, precipitation, relative humidity and the host, where it grows in a tropical rain forest of the Colombian biogeographic Chocó, for which it is 15 wild individuals of *Vanilla planifolia* Jacks were chosen, from which monthly measurements of the leaves, internodes or stems and roots (width, length and diameter) were taken and additionally daily data on environmental factors were obtained: solar radiation, temperature, precipitation and relative humidity, in addition the phorophyte in which the vanillas were found was identified.

*Vanilla planifolia*, in function of solar radiation, presented a positive relationship in the growth of the width and length of the leaf, but not very explanatory with the length of the internode; and finally negative with the growth of the root length. It was observed that temperature was positively related to the longitudinal increase of the leaf and the root, but it was not very explanatory with the width of the leaf and negative with the length of the internodes. Regarding precipitation, it was negative in the width and length of the leaves, length of the internodes, while, with the root, there was a weak relationship. Regarding the effect of humidity, there was a positive relationship with the width and length of the leaf and length of the internodes, however, it was weak with the growth of the root. It is important to say that growth in leaf thickness and stem diameter were not related to environmental factors. The environmental variables, solar radiation, temperature, precipitation and relative humidity present a significant influence only on the vegetative growth of the width of the leaf, while the solar radiation presented a marginally significant influence on the longitudinal growth of the root. Regarding the hosts or phorophytes, it was evidenced that they had no preferences since each individual of vanilla was hosted in different species, however, it was evidenced that they were more harbored in species of the *Arecaceae* family.

**Key words:** *Vanilla planifolia*, growth, solar radiation, temperature, precipitation, relative humidity and host

## 1.INTRODUCCIÓN

El género *Vanilla* (Orchidaceae) comprende unas 107 especies de orquídeas hemiepífitas distribuidas en el pantrópico, que crecen de manera natural en poblaciones hiperdispersas, con preferencia en bordes de bosque (Lubinsky *et al.*, 2006, Householder, 2007; Soto -Arenas y Cribb, 2010; Soto-Arenas y Dressler, 2010), bajo disponibilidad limitada de agua, luz y nutrientes (Cervantes *et al.*, 2005). Como otras especies de orquídeas epífitas de los bosques tropicales, las del género *Vanilla* presentan adaptaciones morfológicas y fisiológicas especializadas para crecer bajo diferentes condiciones limitantes de agua, luz y nutrientes (Arditti, 1982; Cervantes *et al.*, 2005).

La vainilla presenta características únicas dentro de la familia Orchidaceae al exhibir atributos poco comunes, especialmente por sus hábitos de crecimiento (Cameron, 2011a). Esta planta es una hemiepífita suculenta que comienza su crecimiento como una planta terrestre, desarrollando un sistema radicular superficial en el suelo del bosque, pero con el tiempo llega a ser epífita, creciendo adherida a través de raíces aéreas a los troncos de los árboles; estas raíces no solo funcionan como órganos de absorción de agua y minerales, sino también como medio de anclaje (Damiron, 2004; Fouché y Jouve, 1999; Hernández y Lubinsky, 2011).

Desde el punto de vista ecofisiológico, la vainilla es una planta con un ritmo fotosintético CAM (Metabolismo Acido de Crassulaceae), por ser una planta con metabolismo CAM, por sus siglas en inglés; (Zhang *et al.* 1993, Gehrig *et al.*, 1998; Silvera *et al.*, 2005; Silvera *et al.*, 2009), presenta pérdida mínima de agua por unidad de carbono fijado durante la fotosíntesis (Fu y Hew, 1982; Lüttge, 2004; Stancato *et al.*, 2002). Según diversos autores, (Nobel, 1991; Salisbury y Ross, 1991; Winter y Smith, 1996; Lambers *et al.*, 1998; Nimmo, 2003; Lüttge, 2002; Andrade *et al.*, 2007). El papel de la radiación en la fotosíntesis de las plantas CAM está relacionado con los procesos que ocurren durante las cuatro fases en las que se ha dividido este metabolismo (Osmond, 1978), pues la radiación puede modular su magnitud y duración (Cushman, 2001). Además, exhibe alta capacidad

fotoprotectora (Griffiths y Maxwell 1999), por lo cual limita la fotorespiración (Ting, 1985; Lüttge, 2004).

Dentro del género *Vanilla*, la *Vanilla planifolia* (vainilla) es una de las especies más importantes a nivel mundial por ser una de las más costosas por unidad de masa (Ranadive, 2005). La única fuente de vainilla natural proviene de los frutos curados de dos orquídeas propagadas clonalmente y polinizadas a mano: *Vanilla planifolia* y *Vanilla tahitensis*. Cerca del 95% de toda la producción vainillera a nivel mundial se deriva de la especie más cultivada *V. planifolia* (Brownell, 2006), es la más conocida en el mundo y es la referencia cuando se habla de vainilla (Reyes *et al.*, 2008).

Los frutos de la especie *Vanilla planifolia* tienen gran importancia comercial en la industria, por lo cual alcanza precios altos en los mercados internacionales, pues contiene compuestos aromáticos aprovechables, por la industria culinaria, cosmética, medicinal, perfumería, entre otras, siendo uno de los materiales saborizantes y aromatizantes más ampliamente usado en el mundo (Ranadive, 2005).

Es imprescindible en repostería y en la elaboración para productos gourmet, además está ligada a la industria productora de chocolates (Augstburger *et al.*, 2000), a la industria de derivados lácteos, pues cerca del 70% del helado producido en el mundo es de sabor a vainilla, también es utilizada en la industria tabacalera (USAID-RAP, 1995), en el mercado de los saborizantes a gran escala la vainilla es un ingrediente de la formulación de la Coca-Cola cuya fabricación utiliza 200 ton/año de vainilla (Tomkins, 2002) y mayores compradores, además se utiliza en preparados farmacéuticos, perfumes, jabones, y cremas corporales (Brownll, 2003).

Colombia no se encuentra en los registros de la FAO como país productor de *V. planifolia*, sin embargo se ha apuntado a desarrollar proyectos que buscan una cadena productiva de la vainilla, para la producción de materia prima de plantas tropicales y posterior valor agregado, con el fin de atender demandas de mercados

nacionales e internacionales, para lo cual se han hecho estudios agroecológicos en diferentes regiones mostrando que las condiciones son aptas para la producción de este cultivo en el país, pero no se ha tenido resultados positivos de adaptabilidad, a pesar de que en dichas regiones donde se han realizado las pruebas, existen vainillas en estado silvestre donde resulta la fruta sin ningún manejo (Tobar-Espinosa, 2008).

Aunque la vainilla es un cultivo nuevo sobre el cual se han generado muchas expectativas por los precios que pueden alcanzar los frutos curados y los productos que se extraen de ellos (Havkin-Frenkel *et al.*, 2011), todavía hay mucha incertidumbre sobre su manejo y sus requerimientos ecofisiológicos (Hernández-Hernández y Lubinsky, 2011; Diez, 2014), no se conocen sus requerimientos nutricionales y se ha desarrollado poca investigación científica que profundice sobre aspectos básicos de su ecofisiología en estado silvestre.

La existencia en el Chocó de germoplasmas silvestres de una de las dos especies más importantes del mundo (*Vanilla planifolia* Jacks), debido a su impacto económico, ecológico y social, constituye un recurso genético valioso que puede ser de gran utilidad para el mejoramiento de los cultivos, conservación de germoplasma (reducir la pérdida de diversidad genética) y solucionar problemas de genotipos existentes de aquellas plantas propagadas principalmente de forma vegetativa y de las cuales no es tan fácil la obtención de semillas sexuales, lo cual podría conducir al aumento de la productividad de los cultivos. Por esto, el reto de los investigadores y productores de vainilla en Colombia es desarrollar las técnicas de cultivo adecuadas para una planta con una historia de vida compleja y fascinante. (Diez, 2014).

En esta investigación se presenta una evaluación sobre como los factores ambientales como radiación solar, precipitación, temperatura, humedad relativa, y hospedero influyen en el crecimiento vegetativo de individuos naturales de *Vanilla planifolia* Jacks en un bosque del municipio de Quibdó-Chocó.



## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 2.1. Formulación del Problema

La vainilla es una especie que reúne algunas características, como: ser una orquídea productiva con una gran importancia en el mercado mundial de especias (Bory *et al.*, 2008) y además tener un potencial significativo para ser expandido, no obstante, a lo anterior, aún existen preguntas científicas que podrían formularse para aclarar aspectos básicos sobre su ecología. En la misma línea, de que las condiciones para su adecuado establecimiento como cultivo no parecen estar completamente definidas; además, las respuestas de la planta pueden diferir de acuerdo con el escenario donde la especie se haya implementado, (Arango y Moreno 2011), es todavía una planta poco domesticada (Diez, 2014), a pesar de que su producción puede constituir una alternativa económica, y ecológicamente deseable y social (Ranadive, 2003; Damirón, 2004; Bythow, 2008) convierten a esta especie en una alternativa de agricultura sustentable.

En primer lugar, económico, al ser la segunda especia más cara del mundo después del azafrán (Anilkumar, 2004; Giridhar y Ravishankar, 2004; Havkin-Frenkel y Belanger, 2007; Mino *et al.*, 2007; Hailemichael *et al.*, 2012; Osorio, 2012), gobierna el mercado de los saborizantes de alimentos y su demanda casi sobrepasa el doble de la oferta (Anilkumar, 2004; Soto, 1999).

En segundo lugar, ecológico, dado que sus parientes silvestres reflejan el estado de salud de los bosques, además, la posibilidad de ser establecida en estos y en zonas de reserva forestal, contribuyen a la conservación y valorización de los bosques y otros recursos naturales (Osorio, 2012). Y, en tercer lugar, desde el punto de vista social, el cultivo de la vainilla no requiere de grandes extensiones de terreno para obtener altos ingresos económicos empleando mano de obra familiar (Ramírez *et al.*, 1999) de escasos recursos (Osorio, 2012). Además, el beneficiado y comercialización de los frutos cosechados se puede realizar en las comunidades dando valor agregado a la cadena de producción, disminuyendo el papel de los intermediarios agrícolas e incrementando los beneficios directos para los pequeños productores (Cruz, 2004). De esta forma, la viabilidad de desarrollo del cultivo por

parte de familias pequeñas y económicamente vulnerables convierten a esta especie en una alternativa de agricultura sustentable.

Para la vainilla en Colombia no se ha publicado información de carácter científico que de claridad acerca de las condiciones ambientales ideales para el desarrollo de su cultivo, (Gómez, 2012). Es así, que para la región del Chocó se desconoce el desarrollo de la vainilla en condiciones silvestres, especie con un gran potencial agroecológico y productivo para la región, lo que contribuirá al conocimiento, sobre algunos aspectos importantes de su ecofisiología, a fin de tener información base que servirá para desarrollar técnicas de cultivos y propagación adecuada basadas en sus particularidades de crecimiento para la zona y así bioprospectar el aprovechamiento de esta planta que por sus cualidades puede convertirse en una especie comercializable a nivel local, nacional e internacional y mejorar la calidad de vida de las comunidades rurales.

La vainilla es una de las especies aromáticas reconocidas y más cotizadas actualmente por su perfil aromático y alta concentración de vainillina, haciéndola una especie de gran interés. A la fecha se desconoce en gran medida su biología reproductiva, requerimientos nutricionales, condiciones agroclimáticas y hábitat, entre otros, (Díaz-Bautista, *et al.*, 2018), y es todavía una especie poco domesticada y ha sido un desafío reproducir sus condiciones ambientales en las que crecen poblaciones naturales (Diez, 2014), de ahí surge el interés por conocer sus condiciones fisiológicas en poblaciones silvestres. Teniendo en cuenta lo anterior, se planteó como objetivo de esta investigación, evaluar el desarrollo vegetativo de la especie *Vanilla planifolia* Jacks y su relación con la radiación solar, la temperatura, la precipitación, la humedad relativa y el hospedero donde crece, en un bosque pluvial tropical del Chocó biogeográfico colombiano, permitiendo entender las condiciones ambientales donde crecen de manera natural.

## 2.2. Pregunta de Investigación

¿Cuál es el efecto de factores ambientales como radiación solar, temperatura, precipitación y humedad relativa, sobre el desarrollo vegetativo de *Vanilla planifolia* Jacks en un bosque pluvial tropical del Chocó biogeográfico colombiano?

## 2.3. Hipótesis de Investigación

H1: El desarrollo vegetativo de *Vanilla planifolia* Jacks se relaciona de manera significativa con los factores ambientales como radiación solar, temperatura, precipitación y humedad relativa en un bosque pluvial tropical del Chocó biogeográfico colombiano.

## 2.4. Justificación

La producción de vainilla en Colombia ha comenzado a posicionarse como una actividad promisoriosa y novedosa. Para su cultivo, el país cuenta con las características agroclimáticas, socioeconómicas y tecnológicas ideales, que le permitirían convertirse en pocos años en un país productor mundial de esta especie (Gómez *et al.*, 2011). Sin embargo, en Colombia no existe una trayectoria histórica en el cultivo y manejo de esta planta que le permita asegurar la supervivencia de esta actividad. Aunque se observan experiencias exitosas en países como Indonesia, Madagascar, China, México y Tonga, donde existen cultivos extensivos y son quienes dominan el mercado internacional (FAO, 2011), Colombia debe ajustar la tecnología observada en estos países e implementarla bajo sus propias condiciones, si desea participar en el mercado internacional, (Diez, 2014).

*Vanilla planifolia* Jacks, es cultivada comercialmente por sus frutos (cápsulas) de los cuales se extrae la sustancia aromatizante y saborizante llamada vainillina (George y Ravishankar, 1997; Geetha y Shetty, 2000; Giridhar y Ravishankar, 2004; Pak *et al.*, 2004; Kalimuthu *et al.*, 2006; Havkin-Frenkel y Belanger, 2007; Janarthanam y Seshadri, 2008; Chandran y Puthur, 2009; González-Arno *et al.*,

2009; Tan *et al.*, 2010; Hailemichael *et al.*, 2012). De los más de 250 compuestos diferentes aislados de los frutos de *V. planifolia*, la vainillina es el componente principal de las cápsulas fermentadas y es el sabor más ampliamente distribuido en el mundo (Pak *et al.*, 2004; Havkin- Frenkel y Belanger, 2007).

La demanda de vainillina ha venido incrementándose recientemente, dado que se usa en la industria alimenticia, principalmente como saborizante en la elaboración de pasteles, postres y helados (Bythrow 2005, Anónimo 2009). Adicionalmente, este compuesto tiene potencial como preservativo de alimentos, agente microbicida y en la industria química como intermediario en la síntesis de herbicidas y drogas (Burri *et al.* 1989, Hocking 1997, Fitzgerald *et al.* 2003). Además, algunos estudios han mostrado que la vainillina no es el único compuesto interesante de esta planta, ya que también se sabe que produce muchas otras sustancias como ésteres volátiles (Werkhoff & Günter 1997), glicósidos (Dignum *et al.* 2004) y compuestos relacionados a la vainillina como el ácido vanílico, el p-hidroxi-benzaldehído y el ácido p-hidroxi-benzoico. Un reciente estudio en Perú muestra que las vainillas silvestres pueden ser fuente de varios compuestos aromáticos de interés, (Maruenda *et al.* 2013), es así que es necesario estudiar las vainillas silvestres colombianas pues es viable prever que serán tan promisorias como las de otras regiones tropicales, (Gamboa, 2014). Con todos estos atributos y potencialidades de la vainillina es apenas coherente que se justifique este estudio que va dirigido a conocer aspectos del desarrollo de *Vanilla planifolia* en condiciones naturales, lo que podría contribuir o generar un desarrollo, local, nacional y porque no internacional por su alto valor en el mercado, además de ayudar en el orden social y ambiental.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. Objetivo General

Evaluar el desarrollo vegetativo de la especie *Vanilla planifolia* y su relación con la radiación solar, la temperatura, la precipitación, la humedad relativa y el hospedero, donde crece, en un bosque pluvial tropical del Chocó biogeográfico colombiano.

#### 3.2. Objetivos Específicos.

- ✓ Determinar la tasa de crecimiento vegetativo de *Vanilla planifolia* en condiciones silvestres.
- ✓ Evaluar el efecto de la radiación solar, la temperatura, la precipitación y la humedad relativa sobre el crecimiento vegetativo de *Vanilla planifolia* en condiciones silvestres.
- ✓ Identificar los hospederos donde crece la especie *Vanilla planifolia*

### 4. MARCO TEORICO Y ESTADO DEL ARTE

#### 4.1. Antecedentes

La vainilla natural es un producto de alta demanda en el mercado global, derivado de la orquídea hemiepífita *Vanilla planifolia*. Esta especie, es nativa de América tropical, desde México hasta Ecuador (Soto-Arenas, 1999; Lubinsky *et al.*, 2008). Se cultiva en la región pantropical, sin embargo, no es así para Colombia, a pesar de que su producción podría constituir una alternativa económica y ecológicamente deseable (Ranadive, 2003; Damirón, 2004 y Bythow, 2008).

Existen estudios sobre esta especie, pero poco indican de sus requerimientos ecofisiológicos, especialmente para Colombia es poca la información sobre este aspecto, (Gómez, 2012 y Diez, 2014), y más aún en condiciones silvestres, en consecuencia, algunos autores han dedicado décadas a el estudio de algunos aspectos de la especie, entre los cuales se destaca:

Frank y Eduardo, (2003), comentan que la vainilla no toma nutrientes del tutor, solo fija en él las raíces adventicias para sostenerse (Damiron, 2004). En general, la sombra que recibe la vainilla se debe de mantener alrededor de un 30 a 50% de iluminación relativa (Damiron, 2004; Hernández, 2009), la sombra excesiva hace que la liana sea muy delgada y susceptible al ataque de patógenos (Fouché y Jouve, 1999). Lo que concuerda con McGregor (2005), quien argumenta que para que la vainilla crezca adecuadamente requiere de árboles tutores que le de soporte y sombra.

Puthur (2005), afirma que el éxito de las vainilleras, depende, entre otros factores, del manejo adecuado de la luz, pues el factor ambiental que más influye en las fotosíntesis de las plantas y por lo tanto tiene efecto sobre el crecimiento y supervivencia y en últimas, la capacidad de aclimatación a diferentes hábitats. La vainilla sometida a cantidades de luz muy bajas, menores a las requeridas, que disminuyen la temperatura y aumentan la humedad relativa, suelen reducir las tasas fotosintéticas y el crecimiento (Luttge,2004).

Barrera *et al.*, (2009), afirman que *Vanilla planifolia* en malla sombra (al 50% de luminosidad), y bajo naranjo, los factores más importantes que determinan el buen desarrollo de las vainas de vainilla, en el sistema de producción bajo naranjo son: la nutrición (21%), la humedad atmosférica (19%) y la polinización (16%). Mientras que para el sistema de producción en malla sombra son: la nutrición (20%), la temperatura (15%) y humedad (14%).

Hernández y Lubinsky (2010), aseveran que el cultivo suele constar de árboles tutores y arboles acompañantes cuya combinación busca establecer un dosel protector y generar un microclima apropiado para la planta (Olivares-Soto, 2010), el cual es altamente sensible a las características del dosel (densidad de ocupación y arquitectura de los árboles, entre otros) y sus cambios (Chen, *et al*; 1999). Tales características afectan básicamente la exposición solar y a los vientos, los que a su vez producen fluctuaciones en la temperatura y humedad del aire (Colley, *et al.*, 2000). La interacción de las plantas con su entorno afecta sus respuestas dinámicas

(crecimiento y mortalidad) y funcionales (fotosíntesis) y, en últimas determina su tasa de ganancia de biomasa (Lambers, 1998; Berlyn y Cho, 2000; Zotz y Andrade, 2002; Hogan y Machadon, 2006; Valladares, 2006).

Padilla (2010), alega que *Vanilla planifolia* presenta rangos fotosintéticos correspondientes a una planta CAM y que tanto hojas jóvenes como viejas son fotosintéticamente activas, por lo que se recomienda que el tutoreado sea horizontal y no vertical, eso ayudará a la eficiencia fotosintética de la planta, lográndose con ello una mayor productividad, además que las raíces aéreas como las que tienen contacto con el suelo tienen funciones de asimilación de nutrientes importantes para el desarrollo de *V. planifolia*.

Por otro lado, Arango y Moreno (2011), comentan que, durante la fase vegetativa inicial, el desarrollo de la vainilla no se ve afectada por el tipo de árbol tutor y/o la densidad de siembra; no obstante, hallaron diferencias significativas entre zonas, siendo el eje cafetero (con mayor altitud, 1450 msnm) el sitio donde se presentó casi un estado de supresión de crecimiento, mientras que en la sabana del Caribe (menos de 200 msnm) las plantas presentaron el mejor desarrollo. Por lo que la temperatura parece influenciar notablemente el crecimiento de esta especie. Además, crece mejor a una iluminación relativa entre 30 y 50%, en lugares con temperaturas 20°C y 30°C y puede tolerar temperaturas hasta de 33°C.

Gómez (2012), afirma que la especie de árbol tutor y la densidad de siembra, son determinantes para el crecimiento de *V. planifolia*, debido a que dichas combinaciones generan microclimas que influyeron en los resultados fisiológicos y de dinámica (crecimiento y mortalidad)

Por otro lado, Osorio (2012), dice que hay una abundante y diversa población microbiana asociada al sustrato y raíces de vainilla, y que el tipo de sustrato y la fertilización no tienen un efecto significativo sobre el crecimiento de las plantas, pero sí de la interacción entre sustrato y fertilización. El crecimiento de vainilla fue significativamente mayor cuando el sustrato contenía vermicompost, fibra de coco y fertilización de 140 g por planta por año; así mismo, cuando el sustrato contenía hojarasca, vermicompost y fertilización.

Diez (2014), explica que las plantas de vainillas alcanzan mayor longitud, área foliar y biomasa total cuando crecen en rangos de radiación intermedia 17 y 31% IR, (53.6 y 50,1 m mol m<sup>2</sup> , respectivamente), de igual manera afirma que la alta radiación del 67% IR, (23,5 m mol m<sup>2</sup> ), altera el funcionamiento de las plantas de vainilla, inhibiendo su fotosíntesis y crecimiento, y que los ambientes altamente sombreados no afectan considerablemente la fotosíntesis CAM de la vainilla, aunque a largo plazo esta especie presenta mayor respuesta fotosintética y ganancia de biomasa que bajo niveles intermedios de radiación, mostrando una aclimatación relativa durante su crecimiento inicial.

Jiménez y Meléndez (2018), expone que poco se sabe de los organismos que sostienen el crecimiento de estas enredaderas, los tutores, los cuales puede ser vivos o no. Los tutores a menudo son árboles de diferentes familias que le proporciona principalmente soporte, aunque también sombra y materia orgánica para el buen desarrollo de esta orquídea, en ese sentido el tutor debe cumplir con ciertas características, por ejemplo, la adaptación a la región, que sea de rápido crecimiento, que no cambie la corteza, que tenga una ramificación de forma regular y sobre todo que proporcione una sombra (Damirón, 1994).

Lima *et al.*(2018). manifiesta que existe una variación significativa en el contenido de compuestos aromáticos y calidad en los frutos de vainilla beneficiadas procedentes de 14 sitios de la Huasteca Potosina, que posiblemente a través de los años se haya desarrollado un grado de polimorfismo químico en el aroma por adaptaciones al ambiente, proceso de selección humana y condiciones de cultivo (fertilización, riego, etc.), así como en el índice de cosecha utilizado relacionado con el contenido de materia seca.

Es así, que también existen otros autores de trabajos que aseveran que esta especie crece adecuadamente entre los 20-30°C; aunque puede resistir hasta los 32° C (Ananadaraj *et al.*, 2005; Gómez *et al.*, 2011; Ranadive, 2005). Por debajo de los 20° C se inhibe el crecimiento de la planta y la intensidad de floración (Ranadive, 2005); en contraste, por encima de los 32°C genera amarillamiento en diferentes



órganos vegetativos y desencadena la caída temprana de los frutos (Ananadaraj *et al.*, 2005; Hernández y Lubinsky, 2011). Sin embargo, Montoya (1963), comenta que el intervalo de temperatura donde la vainilla puede desarrollarse adecuadamente debe comprender un mínimo de 5 a 7°C, siempre y cuando no correspondan a periodos muy prolongados; la temperatura de 21-27°C es la óptima y la máxima no debe exceder los 32°C.

En las zonas subtropicales donde se cultiva la vainilla, se han recomendado diferentes valores de iluminación para lograr el buen crecimiento y desarrollo de la planta. Es necesario establecer si los niveles de iluminación relativa recomendados en esos lugares son aceptables a condiciones ambientales de nuestro país, en México entre 30 y 80% (Hernandez-Hernandez, 2011), Costa Rica entre 50 y 60% (Varela, 2011), en Islas Reunión, Comoros y Madagascar 60% (Kahane *et al.*, 2008) en la India entre 30 y 50% (Anilkumar, 1994; Sarma *et al.*, 2011), en Australia entre 50 y 60% (Exley, 2011), en Indonesia entre 30 y 50% (Zaubin, *et al.*, 2011) y en las Islas del Pacífico del Sur (Bianchessi, 2004), entre otros, los valores inferiores de estos rangos de iluminación generalmente se consideran apropiados para el crecimiento vegetativo y los superiores para estimular la floración (Fouché y Jouve, 1999; Punthur, 2005). Sin embargo, estas recomendaciones raramente se basan en investigaciones publicadas o resultados que sustenten el mayor crecimiento o desarrollo de las plantas en estos ambientes. (Diez, 2014).

Para el Chocó se han reportado algunas investigaciones acerca de la familia Orchidaceae, específicamente sobre el género *Vanilla* y la especie de *Vanilla planifolia*. En ese sentido, Cuesta, *et al.* (2015), Estudiaron los visitantes florales y polinizadores de las especies *V. cribbiana*, *V. planifolia* y *V. trigonocarpa* en el municipio de Nuquí-Chocó, Cuero *et al.*, (2015), investigaron el sistema reproductivo y la morfología floral de *V. cribbiana*, *V. planifolia* y *V. trigonocarpa* en Nuquí y Martínez, *et al.*, (2015), estudiaron la biología floral y fenología reproductiva de *V. trigonocarpa*, en el municipio de Quibdó.

Estos antecedentes ponen en evidencia que existe una falta de consenso en cuanto a los requerimientos ecofisiológicos para el buen desarrollo de la especie, además da cuenta de que la temática no ha sido abordada para nuestra región.

## 5.METODOLOGÍA

### 5.1. Descripción área de estudio

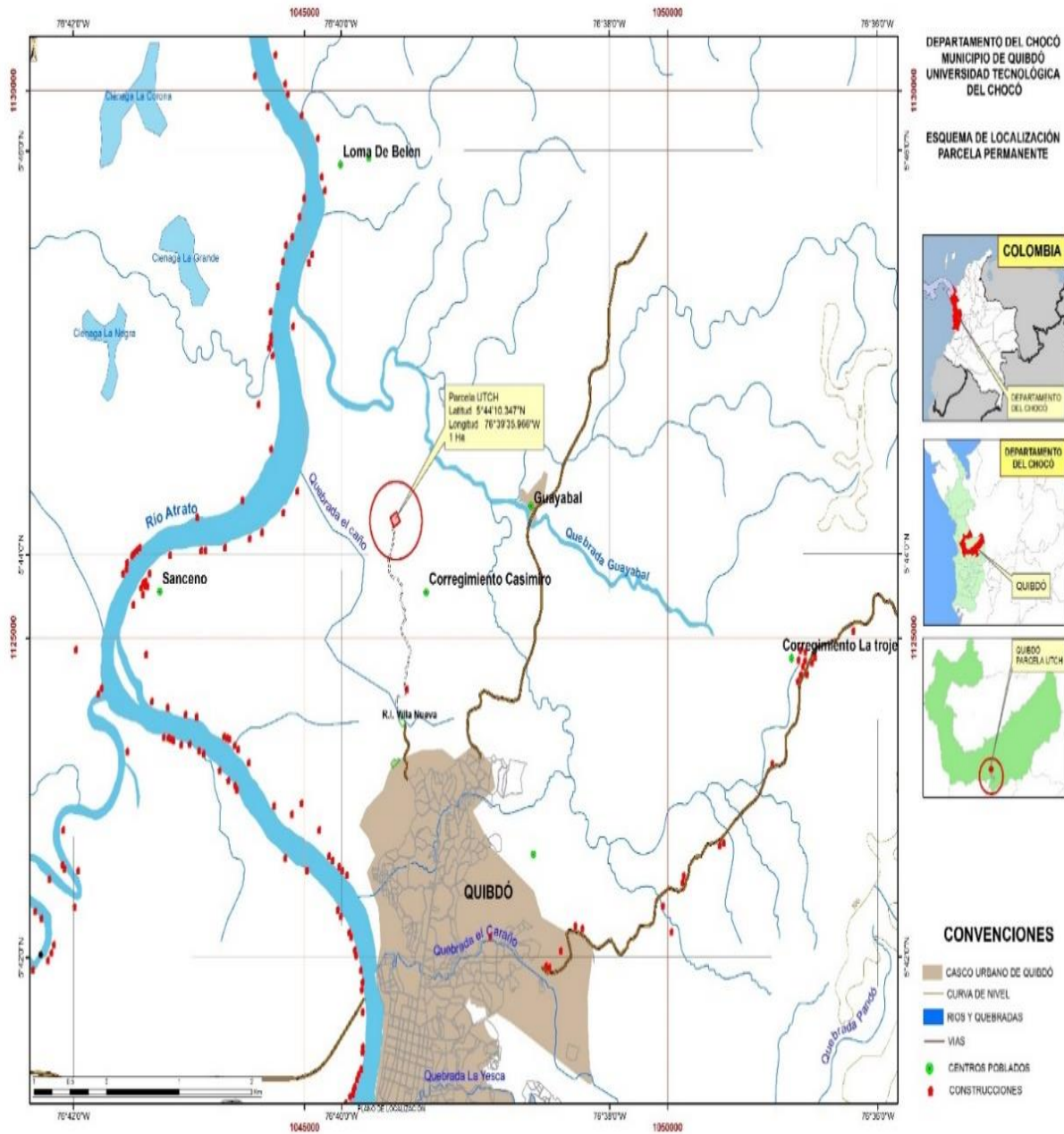
La selva pluvial central se localiza en el valle del río Atrato, en los alrededores del Municipio de Quibdó, capital del departamento del Chocó, entre los 5° 41'32" de latitud norte, y 76° 39' 29" de longitud oeste, presenta un área aproximada de 11.000 km<sup>2</sup>, con una altitud entre los 100 y 500 msnm y temperatura promedio de 28°C (Forero y Gentry, 1989). Corresponde a una zona de vida bp-T, con una pluviosidad superior a los 8000 mm.

La presente investigación se desarrolló en la Parcela Permanente de Investigación en Biodiversidad, establecida por el Grupo de Investigación en Biodiversidad de la Universidad Tecnológica del Chocó Diego Luis Córdoba, representada por una extensión de una hectárea (100 m x 100 m) ubicada en el municipio de Quibdó-Chocó, en las coordenadas geográficas de referencia 5°44'14.15" N y 76°39'59.09" O, área del título colectivo del Consejo Comunitario de Casimiro (**Figura 1**). La parcela acoge una gran variedad de especies vegetales dispuesta especialmente en multiestratos; sobresalen las especies arbóreas, tales como *Mabea chocoensis*, *Pouteria sp.*, *Oenocarpus bataua*, *Eschweilera pittieri*, *Croton jorgei*, *Wettinia quinaria*, *Mabea occidentalis*, *Calophyllum auratum*, *Eschweilera sclerophylla*, *Calophyllum auratum*, *Eschweilera sclerophylla*, *Protium apiculatum*, *Brosimum utile*, entre otros. (García *et al.*, 2004).

Asimismo, con familias botánicas dominantes como, Sapotaceae, Lecythidaceae, Arecaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae, Lecythidaceae, Clusiaceae, Moráceae, Malastomatáceae y Chrysobalanaceae, entre otras., las cuales representan un alto registro en diámetros y alturas, llegando con sus copas frondosas a formar el dosel que caracteriza a esta selva y, regulan la aparición y desarrollo de otros grupos

vegetales; especialmente los individuos de hábitos rastreros y trepadores que se encuentran en el soto bosque (García *et al.*, 2004).

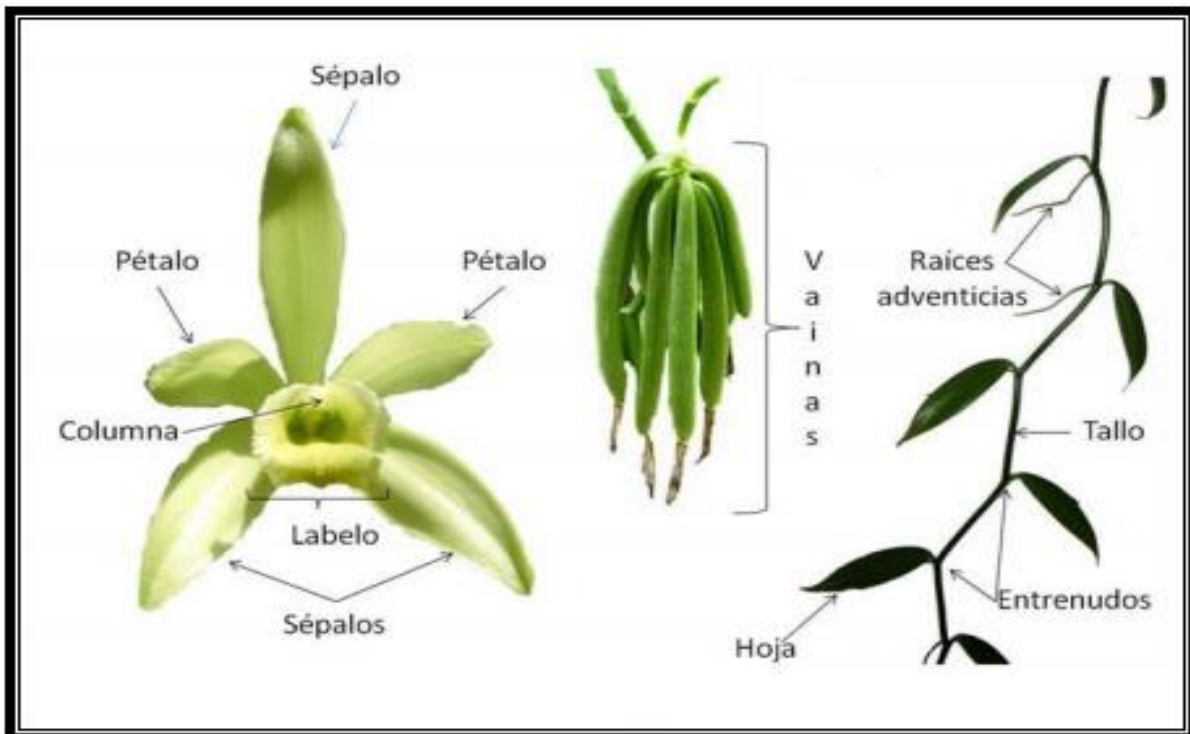
## Localización



**Figura 1.** Parcela Permanente de Investigación en Biodiversidad de la Universidad Tecnológica del Chocó. **Fuente:** SIG-CODECHOCÓ.

## 5.2. Descripción de la especie

*Vanilla planifolia* es una orquídea terrestre trepadora nativa de Centro y Sudamérica. Tiene hojas carnosas, alternas, dispuestas en zigzag a través del tallo, acompañadas de una raíz adventicia en el lado opuesto de la hoja. de tallo suculento, cilíndrico, simple o ramificado, de color verde brillante, las flores se presentan en inflorescencias o racimos de tonalidades de blanco amarillento a crema, y sus frutos son capsulares de color verde y al madurar son amarillentos que llegan a medir hasta 29 cm de largo y sus semillas son muy pequeñas (Diego y Moreno, 2011), posee dos tipos de raíces: 1) terrestres, que brotan de los nudos bajo tierra y se desarrollan principalmente, en la parte más superficial y rica en materia orgánica del suelo y 2) aéreas, que se originan en los nudos superiores y sirven de soporte a las plantas sobre el tutor, crecen adheridas al tronco y no se ramifican (Figura 2) (Fouché y Jouve, 1999; Hernández y Lubinsky, 2011a; Straver, 1999).



**Figura 2.** Partes de la *V. planifolia*. **Fuente:** Padilla Vega (2010).

**5.3. Factores ambientales: Radiación Solar, Precipitación, Temperatura, y Humedad relativa.** Estas variables fueron medidas debido a la importancia que tienen para el crecimiento de las plantas.

La **radiación solar**, en particular es el factor ambiental que más influye en el proceso de la fotosíntesis de las plantas y por lo tanto tiene efecto sobre el crecimiento, la supervivencia y en últimas, la capacidad de aclimatación a diferentes hábitats (Puthur, 2005).

La **precipitación** tiene influencia, porque el volumen de lluvia y su distribución a través del año ejercen efectos notables en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Por su parte, la **temperatura**, que es uno de los factores ambientales más importante que influye en los procesos fisiológicos y bioquímicos en el crecimiento y desarrollo de las plantas, las cuales están expuestas a las variaciones térmicas del medio físico y éstas tienen gran influencia en los diferentes procesos fisiológicos, bioquímicos y metabólicos conducentes a su crecimiento y desarrollo (García–Pacheco y López–Castañeda, 2002).

La **humedad relativa**, es un factor ambiental importante para el proceso de fotosíntesis en las plantas. El aire húmedo contribuye directamente a los problemas, como enfermedades de las raíces y las hojas y si la humedad es demasiado baja, con frecuencia el crecimiento de las plantas se verá comprometido.

**Hospederos:** Para este estudio se tuvo en cuenta el tipo de hospedero, variable independiente. El establecimiento de esta planta en su hábitat natural requiere de la asociación con un árbol tutor, el cual cumple dos funciones fundamentales: Uno, dar soporte a la planta y, Dos, proporcionar sombra. En este sentido se identificaron los hospederos y/o tutores con el fin de determinar sus preferencias. La superficie que tengan sus troncos suelen ser factores importantes para el arribo de las epífitas (Yeaton y Gladstone, 1982; Migens y Ackerman, 1993).

**Crecimiento:** El crecimiento de los diferentes órganos de las plantas, se define como un proceso fisiológico complejo, que depende directamente de la fotosíntesis, la respiración, la división celular, la elongación, la diferenciación, entre otros, y que además está influenciada por factores como temperatura, intensidad de luz, densidad de población, calidad de la semilla, disponibilidad de agua y de nutrientes, (Mohr, 1995).

Es así que, el análisis matemático de crecimiento usa medidas directas tales como masa seca total de la planta, área foliar total y tiempo; y medidas derivadas como son la tasa de crecimiento relativo (TCR), la tasa de crecimiento del cultivo (TCC), la tasa de asimilación neta (TAN), duración del área foliar (DAF), relación del área foliar (RAF), y el índice del área foliar (IAF) que pueden ser obtenidas a partir de las medidas directas, (Barreras *et al.*, 2010).

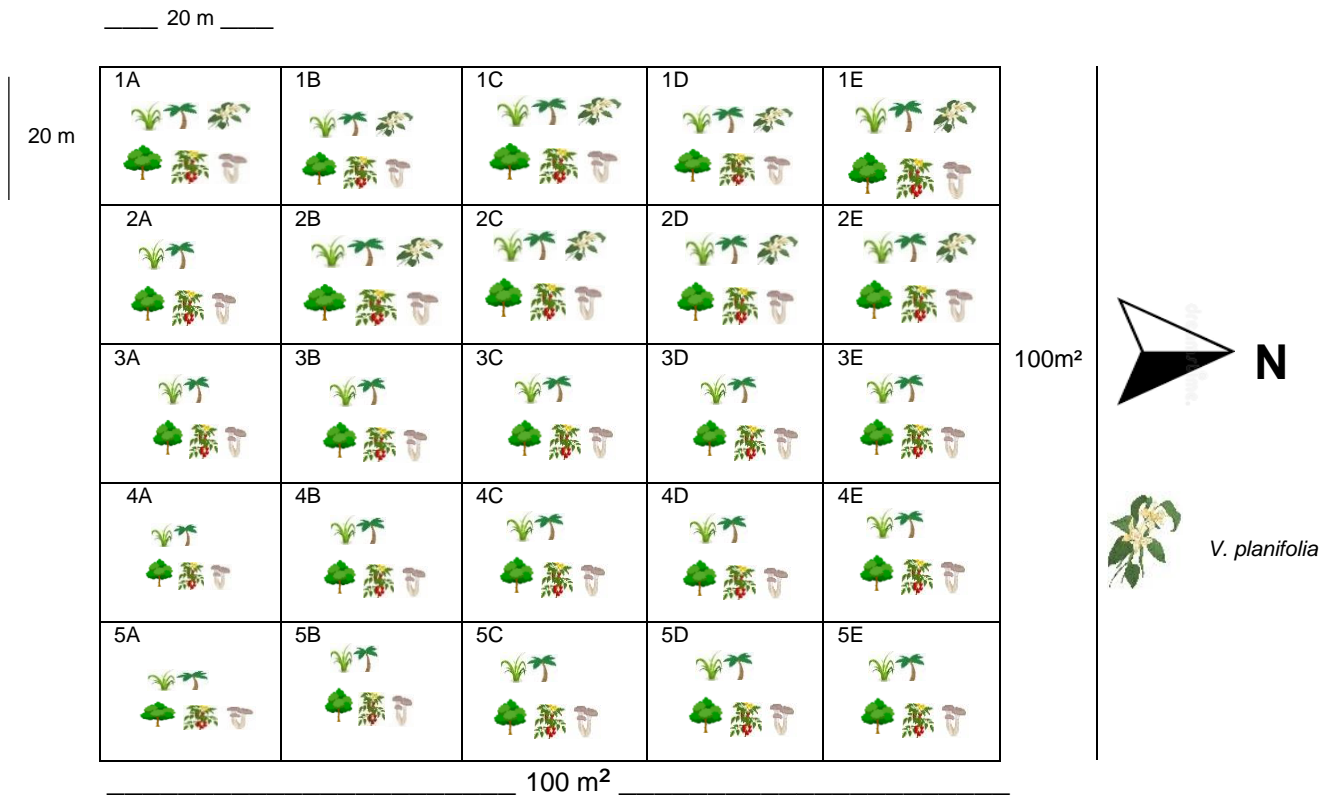
## **5.4. Método**

### **5.4.1. Diseño de muestreo y recolección de datos.**

Se escogieron 15 individuos silvestres de *Vanilla planifolia*, de manera aleatoria (**Figura 3**), en un área aproximada a 100 m<sup>2</sup> al interior del bosque, identificando el forófito donde los individuos se encontraban desarrollando. Los individuos fueron marcados con unas placas de color rojo y asignándole un número para su reconocimiento. A cada uno de los individuos se le realizó mediciones mensuales durante ocho meses (marzo a octubre /2019), de su crecimiento longitudinal en tallos, hojas y raíces y grosor y diámetro de hojas y tallos respectivamente, con un calibrador (mm).

Adicionalmente se obtuvieron datos, sobre radiación solar (w/m<sup>2</sup>), temperatura (°C), precipitación (mm) y humedad relativa (%), Los datos fueron obtenidos de la Estación meteorológica Campbell Scientific CR300 de la Universidad Tecnológica del Chocó, donde se extrajo los datos diarios durante el periodo de investigación y se promediaron mensualmente, las cuales reflejan de manera global la variación, (**Figura 4**).





**Figura 3.** Esquema diseño experimental aleatorio simple



**Figura 4.** a. Rotulado de individuos de *Vanilla planifolia*. b. toma de datos.

## 5.5. Medición de factores biológicos

- **Crecimiento en hojas (cm):** Se seleccionaron y marcaron cinco hojas por cada individuo, a las cuales se le midió el ancho, largo y grosor a cada una de las hojas seleccionadas. Esta medición se realizó con un calibrador en (mm) y se calculó el crecimiento promedio en hojas por individuo. (Diez, 2014; Castillo, 2013; Gómez, 2012)

$$\text{Crecimiento} = \frac{\text{Tamaño final de la hoja} - \text{Tamaño inicial de la hoja}}{\text{Tiempo de medición}}$$

Tasa de crecimiento relativo

$$\text{RGR} = \frac{\ln(\text{tamaño final de la hoja}) - \ln(\text{tamaño inicial de la hoja})}{\text{Tiempo (en años)}}$$

- **Crecimiento en tallo (cm):** Se seleccionaron y marcaron cinco entrenudos por cada individuo, estos asociados a las hojas seleccionadas, donde se midió el diámetro y largo a cada uno de los entrenudos seleccionados. Esta medición se realizó con un calibrador en (mm) y se calculó el crecimiento promedio del tallo por individuo. (Diez, 2014; Castillo, 2013; Gómez, 2012).

$$\text{Crecimiento} = \frac{\text{Tamaño final del tallo} - \text{Tamaño inicial del tallo}}{\text{Tiempo de medición}}$$

Tasa de crecimiento relativo

$$\text{RGR} = \frac{\ln(\text{tamaño final del tallo}) - \ln(\text{tamaño inicial del tallo})}{\text{Tiempo (en años)}}$$

- **Crecimiento en raíces (cm):** Se seleccionaron cinco raíces aéreas por cada individuo, raíces asociadas a los cinco hojas y cinco entrenudos seleccionados, a las que se le midió el diámetro y largo a cada. Esta medición se realizó con un calibrador en (mm) y se calculó el crecimiento promedio de las raíces por individuo. (Diez, 2014; Castillo, 2013; Gómez, 2012).



$$\text{Crecimiento} = \frac{\text{Tamaño final de la raíz} - \text{Tamaño inicial de la raíz}}{\text{Tiempo de medición}}$$

Tasa de crecimiento relativo

$$\text{RGR} = \frac{\ln(\text{tamaño final de la raíz}) - \ln(\text{tamaño inicial de la raíz})}{\text{Tiempo (en años)}}$$

## 5.6. Medición de factores ambientales.

Los datos se obtuvieron de la Estación Meteorológica Campbell Scientific CR300 de la Universidad Tecnológica del Chocó. Las variables ambientales medidas fueron radiación solar ( $\text{w/m}^2$ ), temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), precipitación (mm) y humedad relativa (%), donde se extrajo los datos diarios durante el periodo de investigación y se promediaron mensualmente, las cuales reflejan de manera global la variación.

## 5.7. Análisis de datos

Se caracterizó el crecimiento vegetativo de los individuos de *V. planifolia* bajo condiciones naturales, determinando las medidas de tendencia central (promedio y mediana) y la normalidad de los datos, mediante Kurtosis y Shapiro Wilk. Posteriormente las variables ambientales fueron transformadas para tener mayor normalidad en los datos. Los valores de radiación solar y precipitación se dividieron entre 1000; mientras que, la temperatura se dividió entre 20; y la humedad relativa se dividió entre 80; con ello todos los datos quedaron en la escala de unidad, similar a la escala en la que están los datos de crecimiento vegetativo.

Se realizó un análisis de componentes principales para evaluar las correlaciones lineales entre todas las variables de crecimiento y las medioambientales.

Además, se realizaron regresiones lineales y múltiples para evaluar la relación entre el crecimiento (de hojas, tallos y raíces) y los factores ambientales y biológicos, por separados y de manera conjunta respectivamente. De igual manera, se evaluó la correlación que puede existir entre el crecimiento (en hojas, tallos y raíces) y los factores ambientales y biológicos de forma numérica con el coeficiente de correlación de Pearson; y mediante regresiones lineales, como también se identificó el tipo de hospedero. Todos estos análisis se realizaron con el programa estadístico PAST versión 3.07 (Hammer *et al.*, 2001).

## **6.RESULTADOS**

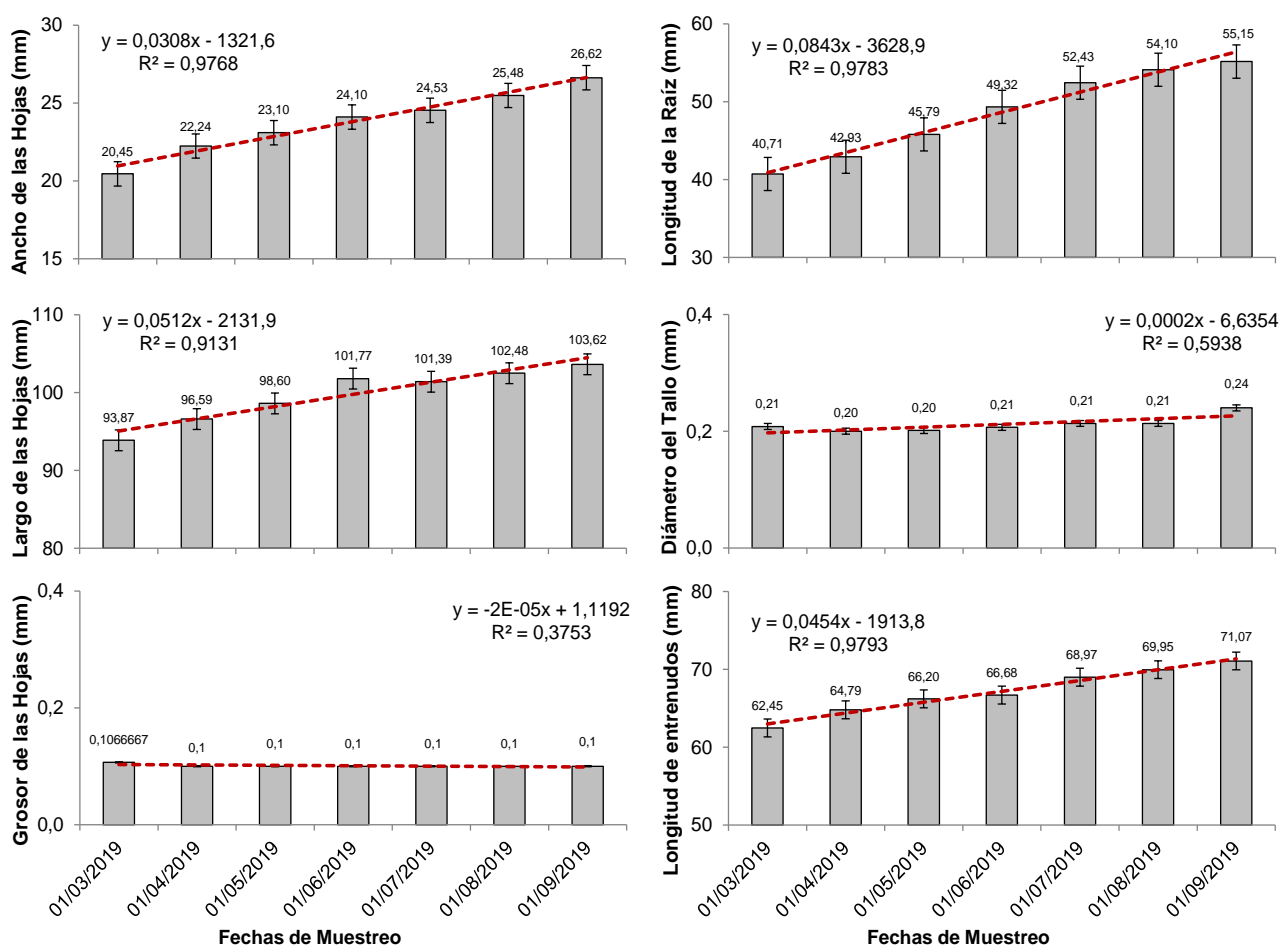
### **6.1. Determinación de tasas de crecimiento de atributos vegetativos**

Se encontró que, en un periodo de 0,58 años, la *V. planifolia* presentó una tasa de crecimiento relativo (TCR) promedio en el ancho de las hojas de 0,45 mm/año (Tabla 1). Mientras que, en el largo de las hojas tuvo una TCR promedio de 0,17 mm/año. Por su parte, el grosor de la hoja presentó una TCR de 0,11 mm/año; sin embargo, en este componente no se registró un crecimiento significativo (figura 5).

La longitud de los entrenudos mostró una TCR promedio de 0,22 mm/año. Mientras que, el diámetro de los entrenudos presentó una TCR promedio de 0,24 mm/año. Por su parte, la longitud de la raíz mostró una TCR promedio de 0,52 mm/año, (Tabla 1). En síntesis, el ancho y largo de hojas, el largo de entrenudos y la longitud de raíces aumentaron su tamaño significativamente en el tiempo, basados en los valores de los coeficientes de determinación; mientras que, el grosor de la hoja y el diámetro, su crecimiento fue cercano a cero (Tabla 1, figura 5).

**Tabla 1.** Tasa Crecimiento relativo de *Vanilla planifolia* en un bosque pluvial tropical del Chocó biogeográfico colombiano.

Variable Biológica	Tiempo de medición (años)	Incremento Corriente (mm)	Incremento Corriente Anual (mm)	Tasa de Crecimiento Relativo (mm/año)
Ancho hoja (mm)	0,58	6,17	10,57	0,45
Largo hoja (mm)	0,58	9,75	16,72	0,17
Grosor hoja (mm)	0,58	0,01	0,01	0,11
Largo entrenudo (mm)	0,58	8,61	14,77	0,22
Diámetro (mm)	0,58	0,03	0,05	0,24
longitud raíz (mm)	0,58	14,44	24,75	0,52



**Figura 5.** Crecimiento vegetativo (hojas, tallos, entrenudos y raíz) de la *Vanilla planifolia* en un bosque pluvial tropical del Chocó biogeográfico colombiano.

## 6.2. Relación de la tasa de crecimiento de la *Vainilla planifolia* en función de factores ambientales.

### VARIABLES ambientales evaluadas

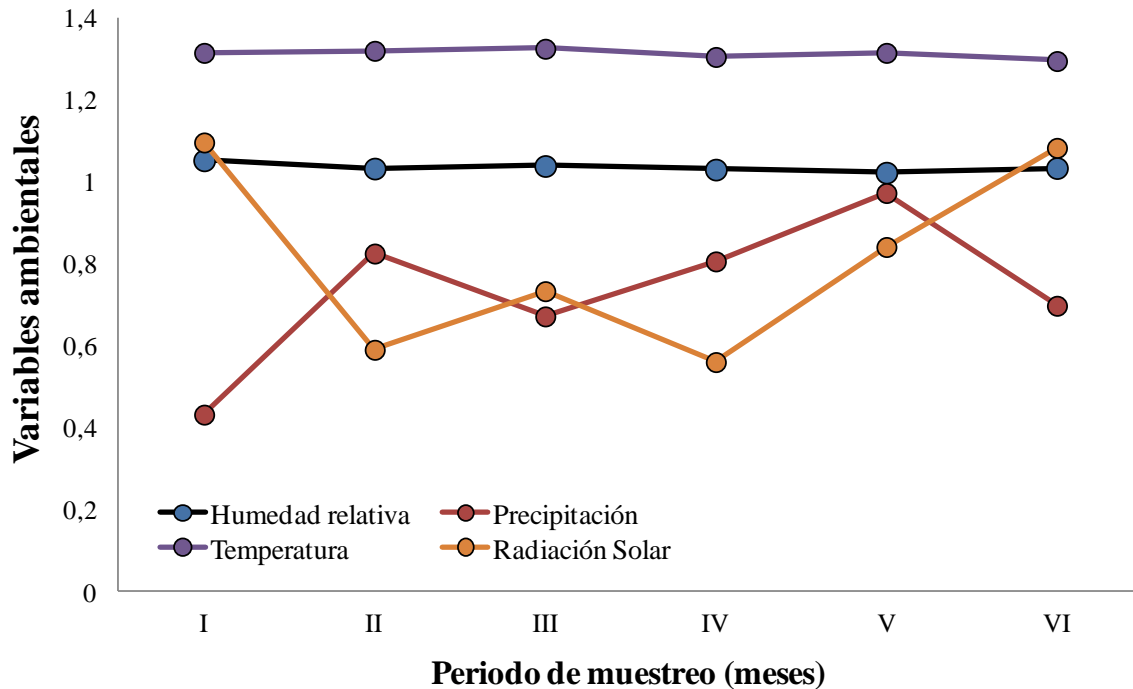
Por su parte, se denotó que la radiación solar osciló entre un valor promedio mensual máximo de 15804 w/m<sup>2</sup> y un mínimo de 590 w/m<sup>2</sup>, durante el periodo de investigación, la temperatura tuvo promedio máximo de 26.6 °C y mínimo de 25.6 °C, por su parte, la precipitación en la zona de estudio estuvo bien marcada por cambios fuertes durante el tiempo de estudio con promedios mensual con una máxima de 972,8 mm y una mínima de 163,8 mm y una humedad promedio mensual máxima de 84,3% y mínima de 81,8%, de las cuales, la radiación solar y la precipitación presentaron mayor variación entre los muestreos (Tabla 2).

**Tabla 2.** Variables ambientales registradas durante el crecimiento de *V. planifolia* en un bosque pluvial tropical del Chocó biogeográfico colombiano.

VARIABLES/ MESES		Marz.	Abr.	May.	Jun.	Jul	Agos.	Sep.	Oct.
<b>Radiación Solar (W/M<sup>2</sup>)</b>	<b>Promedio</b>	1580,4	1096,2	590	733,1	560	841	1083	835,2
<b>Temperatura °C</b>	<b>Promedio</b>	26.6	26.3	26.4	26.5	26.1	26.3	25.9	25.6
<b>Precipitación (mm)</b>	<b>Promedio</b>	163,8	431,7	825	671,5	805,8	972,8	697,5	712,4
<b>Humedad Relativa (%)</b>	<b>Promedio</b>	84.3	84.2	82.6	83.1	82.4	81.8	82.7	81.3

Las variables ambientales durante los periodos de muestreo, se evidencia que la radiación solar tuvo su mayor pico en el primer y último periodo de muestreo y disminuyó drásticamente para el segundo periodo y cuarto periodo de muestreo. La temperatura y la humedad se mantuvieron siempre dentro del mismo rango, la

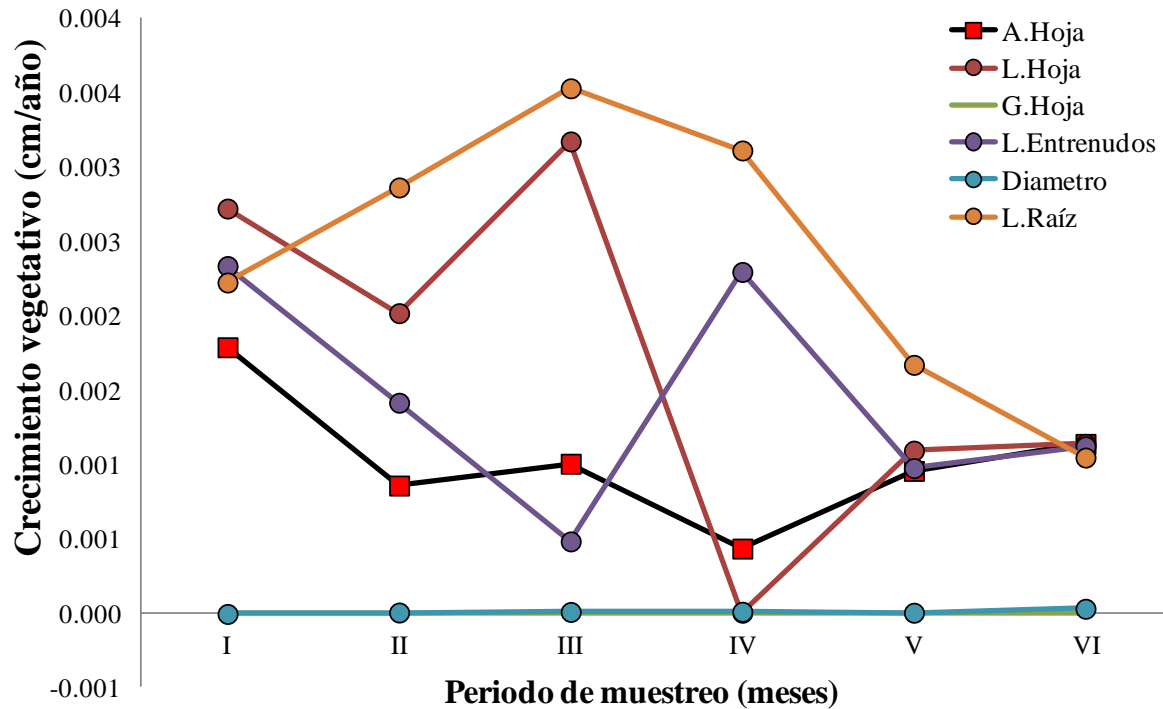
precipitación tuvo variaciones siendo en el segundo y quinto muestreo los picos más altos, con una disminución para el tercer periodo de muestreo (Figura 6).



**Figura 6.** Comportamiento de los factores ambientales durante el crecimiento vegetativo de *Vanilla planifolia* Jacks en un bosque pluvial tropical del Chocó biogeográfico colombiano

Se evidencia claramente que el crecimiento vegetativo de *Vanilla planifolia* se comportó de manera diferente en cada periodo de muestreo, el ancho de la hoja para el segundo semestre de muestreo tuvo una disminución en el crecimiento, manteniéndose casi igual durante los demás periodos, de igual manera el largo de la hoja tuvo una disminución para el segundo periodo pero para el tercer periodo tuvo su mayor crecimiento, sin embargo en el cuarto periodo de muestreo disminuyó drásticamente su crecimiento, en cuanto al largo de los entrenudos o tallo tuvo una disminución gradual para el segundo y tercer periodo de muestreo, no obstante, para el cuarto periodo tuvo un incremento, en cuanto a la raíz tuvo un incremento gradual hasta el tercer periodo de crecimiento, pero para el cuarto periodo de muestreo fue disminuyendo su crecimiento. El grosor de la hoja y el diámetro de los

entrenados, su crecimiento fue cercano a cero durante todos los periodos de muestreos (Figura 7).



**Figura 7.** Cambios en las tasas de crecimiento vegetativo de *Vanilla planifolia* Jacks en un bosque pluvial tropical del Chocó biogeográfico colombiano.

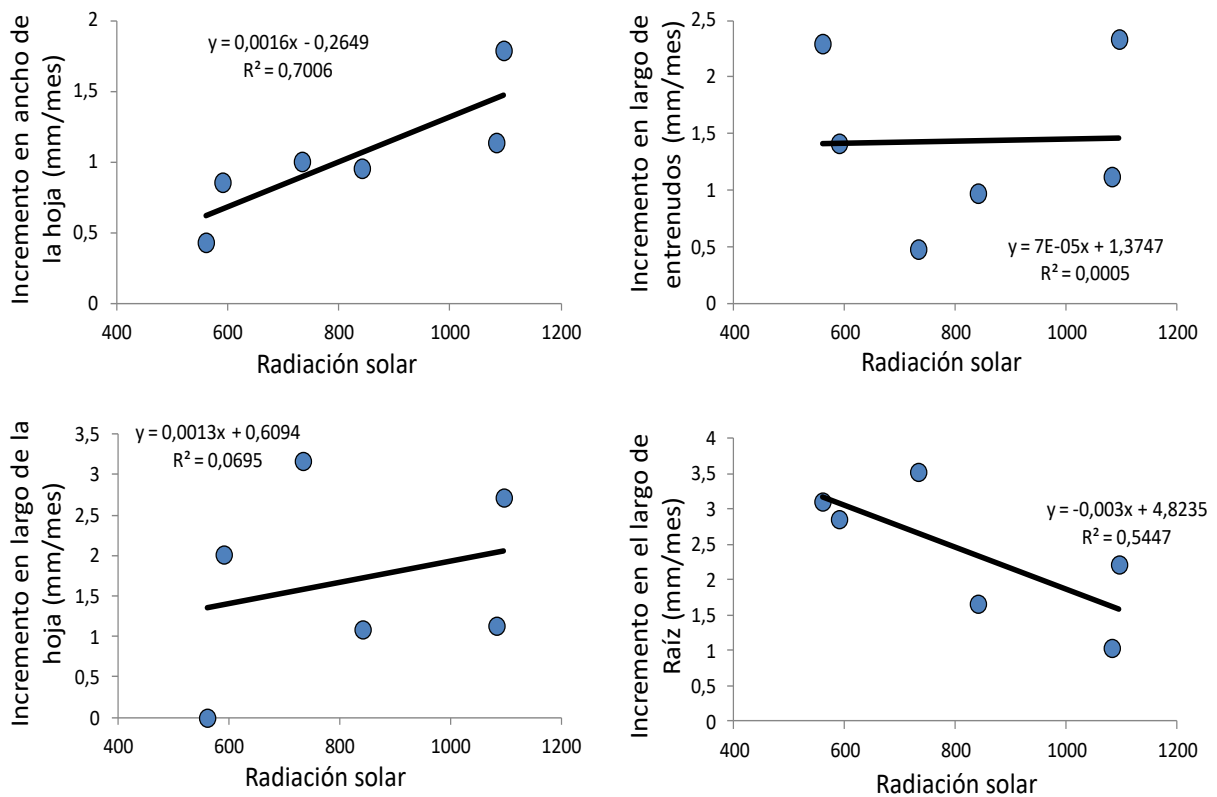
En los modelos de regresión múltiples se evidenció que las variables ambientales radiación solar, temperatura, precipitación y humedad relativa presentan una influencia significativa solamente sobre el crecimiento vegetativo del ancho de la hoja (Tabla 3), mientras que la radiación solar presentó una influencia marginalmente significativa sobre el crecimiento longitudinal de la raíz. (Tabla 3), (Anexo 1).

**Tabla 3.** Modelos de regresión múltiple de las variables de crecimiento vegetativo de *Vanilla planifolia* Jacks y las variables ambientales (Radiación Solar, Precipitación, Temperatura, Humedad relativa) en un bosque pluvial tropical del Chocó biogeográfico colombiano.

<b>Ancho Hoja</b>	<b>Coeff.</b>	<b>Std.err.</b>	<b>t</b>	<b>p</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<i>Constant</i>	-94949	15341	-61892	<b>0.0102</b>	
Radiación Solar	15512	0.011313	137.11	<b>0.004</b>	0.699
Precipitación	39071	0.095985	40705	<b>0.015</b>	0.579
Temperatura	29246	0.35517	82343	<b>0.076</b>	0.012
Humedad relativa	84999	17633	48205	<b>0.013</b>	0.620
<b>Largo Hoja</b>	<b>Coeff.</b>	<b>Std.err.</b>	<b>t</b>	<b>P</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<i>Constant</i>	-1,13	301,19	-0,0037517	0,997	
Radiación Solar	1,9082	2,2212	0,8591	0,548	0,069
Precipitación	-9,501	18,845	-0,50417	0,702	0,332
Temperatura	112,4	69,731	1,6119	0,353	0,487
Humedad relativa	-134,53	346,18	-0,38863	0,764	0,452
<b>Grosor Hoja</b>	<b>Coeff.</b>	<b>Std.err.</b>	<b>t</b>	<b>P</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<i>Constant</i>	0,95233	0,82245	1,1579	0,453	
Radiación Solar	-0,0033841	0,0060653	-0,55796	0,676	0,340
Precipitación	-0,045668	0,051459	-0,88747	0,537	<b>0,657</b>
Temperatura	0,11495	0,19041	0,60366	0,654	0,012
Humedad relativa	-1,0316	0,94531	-1,0913	0,472	<b>0,729</b>
<b>Longitud Entrenudos</b>	<b>Coeff.</b>	<b>Std.err.</b>	<b>t</b>	<b>P</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<i>Constant</i>	-292,48	297,44	-0,98333	0,505	
Radiación Solar	-1,9363	2,1935	-0,88273	0,539	0,00054
Precipitación	18,806	18,61	1,0105	0,496	0,136
Temperatura	-102,64	68,864	-1,4905	0,376	0,087
Humedad relativa	402,2	341,88	1,1764	0,448	0,137
<b>Diámetro</b>	<b>Coeff.</b>	<b>Std.err.</b>	<b>t</b>	<b>P</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<i>Constant</i>	5,0663	4,6312	1,0939	0,471	
Radiación Solar	0,00031891	0,034153	0,0093377	0,994	0,032
Precipitación	-0,24285	0,28976	-0,83809	0,555	0,025
Temperatura	-0,037726	1,0722	-0,035185	0,977	0,550
Humedad relativa	-4,6684	5,323	-0,87703	0,541	0,110
<b>Longitud Raíz</b>	<b>Coeff.</b>	<b>Std.err.</b>	<b>t</b>	<b>P</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<i>Constant</i>	128,5	60,643	2,1189	0,280	
Radiación Solar	-3,8819	0,44721	-8,6802	<b>0,073</b>	0,545
Precipitación	-12,791	3,7943	-3,371	0,183	0,003
Temperatura	54,654	14,04	3,8928	0,160	0,439
Humedad relativa	-178,94	69,701	-2,5672	0,236	0,021

### 6.2.1. Efecto de la radiación solar.

La *Vanilla planifolia* en función de la radiación solar, presentó una relación positiva en el crecimiento del ancho y largo de la hoja ( $R^2 = 0,70$ ) pero no muy explicativa con el largo del entrenudo; y finalmente, negativa con el crecimiento del largo de la raíz ( $R^2 = 0,54$ ). Las hojas crecieron más en anchura cuando estuvieron expuestas a mayor radiación solar. Mientras que, las raíces disminuyeron su crecimiento longitudinal con la mayor radiación (Figura 8).

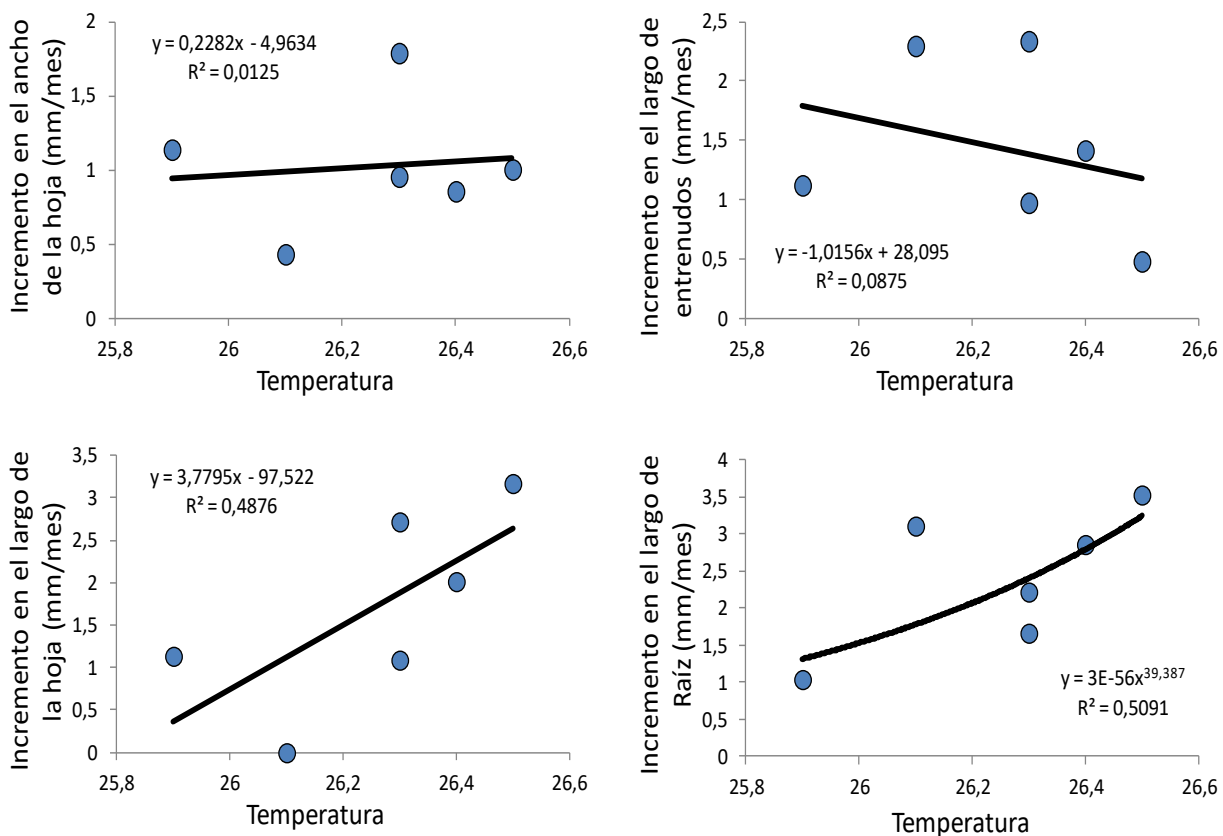


**Figura 8.** Efecto de la radiación solar en el crecimiento de *Vanilla planifolia* en un bosque pluvial tropical del Chocó biogeográfico colombiano.



### 6.2.2. Efecto de la temperatura.

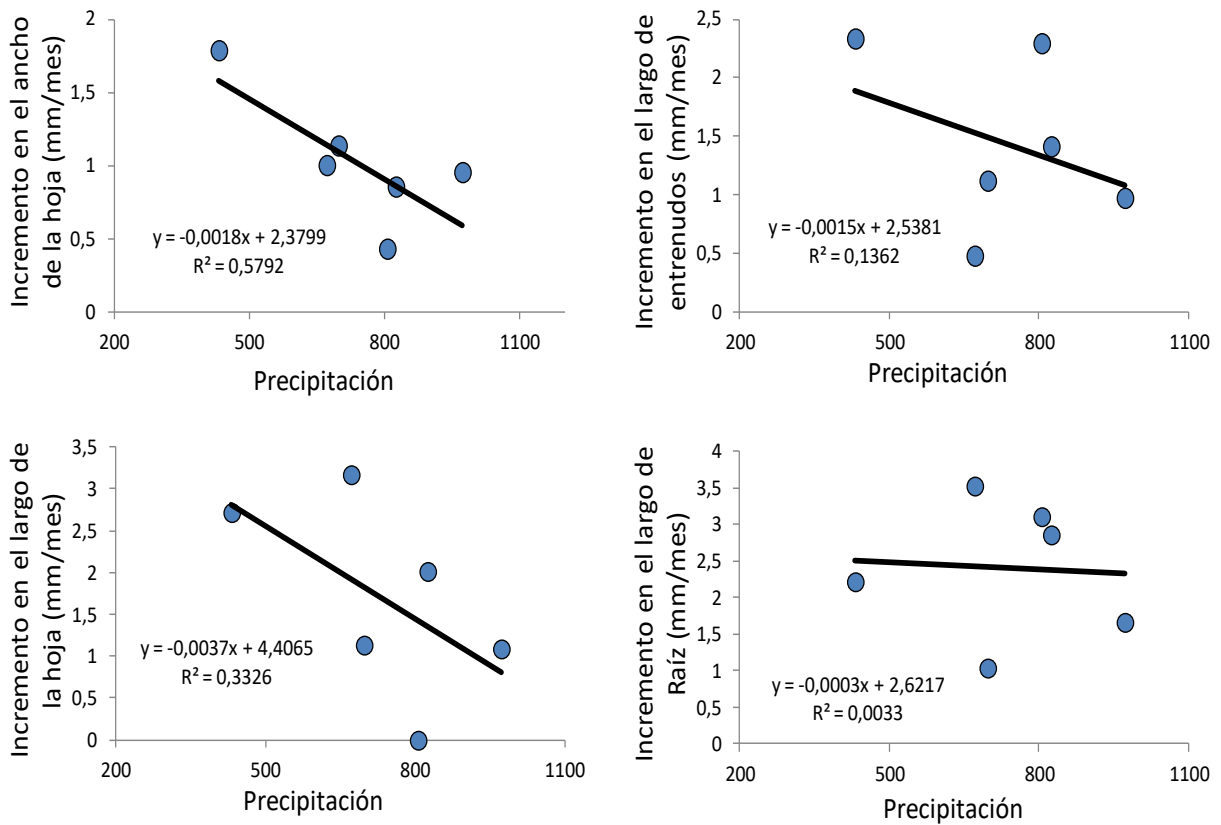
La temperatura es un factor ambiental importante para el crecimiento y desarrollo de las vainillas. En cuanto al crecimiento vegetativo de las plantas de *V. planifolia* en relación con la temperatura, los resultados muestran un variado comportamiento, pues si bien hubo una relación positiva con el incremento longitudinal de la hoja ( $R^2 = 0,48$ ) y de la raíz ( $R^2 = 0,50$ ), pero fue poco explicativa con el ancho de la hoja y negativa con largo de los entrenudos. En síntesis, con el incremento en temperatura hubo mayor tasa de crecimiento del largo de las hojas y de las raíces de la *V. planifolia* (Figura 9).



**Figura 9.** Efecto de la temperatura en el crecimiento de *Vanilla planifolia* en un bosque pluvial tropical del Chocó biogeográfico colombiano.

### 6.2.3. Efecto de la precipitación.

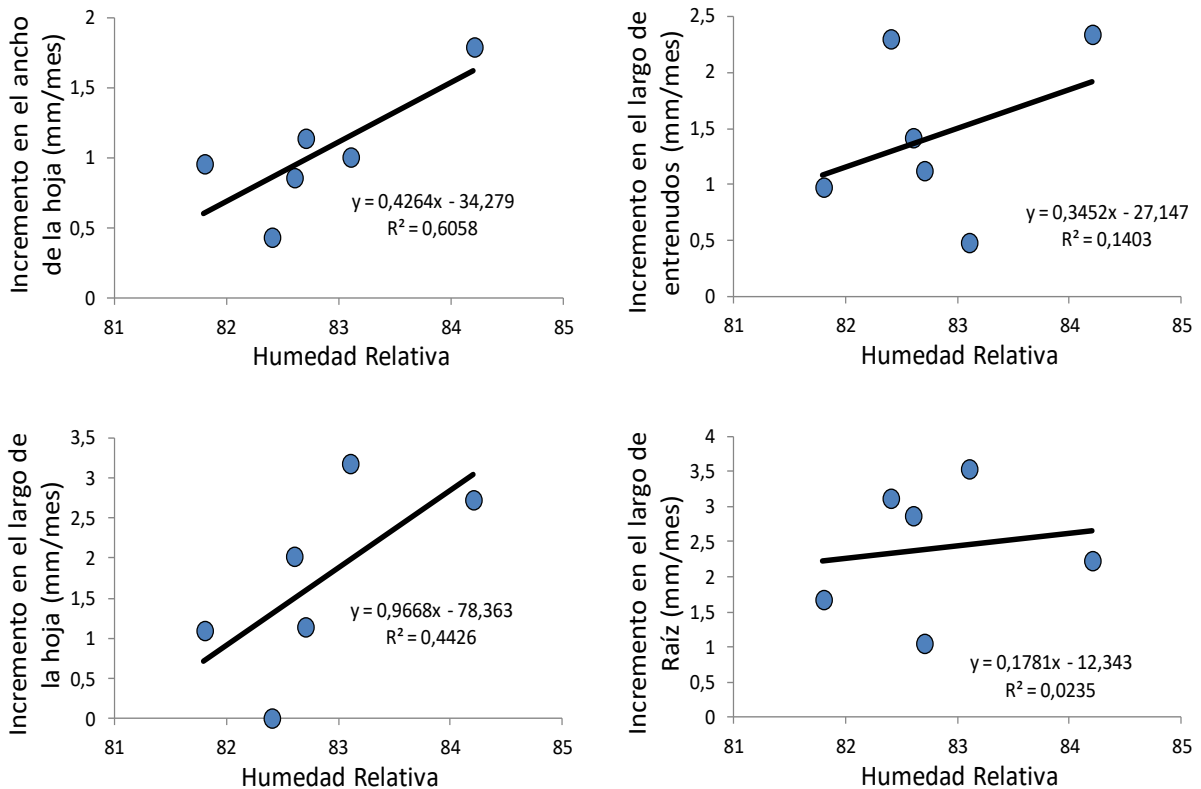
El crecimiento de *V. planifolia* con relación a la precipitación fue negativo en el ancho de las hojas ( $R^2 = 0,57$ ), largo de las hojas ( $R^2 = 0,33$ ) y largo de entrenudos ( $R^2 = 0,13$ ). Mientras que, con la raíz hubo una relación muy débil. En síntesis, el aumento en precipitación redujo el crecimiento en ancho y largo de hojas, y en la longitud de entrenudos; pero no afecto el crecimiento longitudinal de las raíces (Figura 10).



**Figura 10.** Efecto de la precipitación en el crecimiento de *Vanilla planifolia* en un bosque pluvial tropical del Chocó biogeográfico colombiano.

#### 6.2.4. Efecto de la humedad relativa.

En cuanto a este factor ambiental el resultado nos muestra que hubo una relación positiva con el ancho ( $R^2 = 0,60$ ) y largo de la hoja ( $R^2 = 0,44$ ), como para la longitud de los entrenudos ( $R^2 = 0,14$ ). Sin embargo, fue débil con el crecimiento de la raíz (Figura 11). En concreto, se observó que con el aumento en humedad relativa incrementa el largo y ancho de las hojas, así mismo la longitud de entrenudos; pero esta variable no afecta al crecimiento de las raíces. Se observó en campo que raíces que no estaban sostenida fijamente en el árbol tutor presentaban pudrición y posteriormente hasta la pérdida de las mismas.



**Figura 11.** Efecto de la humedad relativa en el crecimiento de *Vanilla planifolia* en un bosque pluvial tropical del Chocó biogeográfico colombiano.

### 6.2.5. *Vanilla planifolia* y el hospedero

En cuanto al hospedero se evidenció que cada vainilla creció en una especie diferente, sin embargo, a nivel de familia estuvieron hospedadas en más especies pertenecientes a la familia Arecaceae (27%), seguida la familia Fabaceae y Lecythidaceae cada una con el (13%), los demás estuvieron representadas por las familias Moraceae, Rubiaceae, Melastomatacea Euphorbiaceae, Clusiaceae y Sapoteaceae cada una solo por el (6%), y un individuo estuvo hospedado en un árbol muerto (Tabla, 4).

**Tabla 4.** Especies y familias botánicas de los hospederos de *V. planifolia*

<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>
Arecaceae	<i>Oenocarpus</i>	<i>Oenocarpus bataua</i>
	<i>Socratea</i>	<i>Socratea exrrhiza</i>
	<i>Bactris</i>	<i>Bactris sp</i>
	<i>Wettinia</i>	<i>Wettinia quinaria</i>
Clusiaceae	<i>Tovomita</i>	<i>Tovomita weddelliana</i>
Euphorbiaceae	<i>Mabea</i>	<i>Mabea Occidentalis</i>
Fabaceae	<i>Macrolibium</i>	<i>Macrolibium sp</i>
	<i>Swartzia</i>	<i>Swartzia oraria</i>
Lecythidaceae	<i>Eschweilera</i>	<i>Eschweilera coriácea</i>
	<i>Couratari</i>	<i>Couratari guianensis</i>
Melastomatacea	<i>Micenia</i>	<i>Micenia reducens</i>
Moraceae	<i>Brosimun</i>	<i>Brosimun utile</i>
Rubiaceae	<i>Alibertia</i>	<i>Alibertia edulis</i>
Sapotaceae	<i>Pouteria</i>	<i>Pouteria sapota</i>

## 7. DISCUSIÓN.

### 7.2. Relación de la tasa de crecimiento de la *Vainilla planifolia* en función de factores ambientales.

#### 7.2.1. Efecto de la radiación solar.

Los resultados obtenidos respecto a la relación de la radiación solar con el crecimiento de *V. planifolia*, las hojas crecieron más (ancho y largo), cuando estuvieron expuestas a mayor radiación solar. Esta relación positiva con el crecimiento de las hojas puede obedecer a la disposición y forma de las hojas para favorecer la captación de intensidad lumínica, para el proceso de fotosíntesis de estas plantas CAM (Luttge, 2004), pues entre las estrategias de sobrevivencia de la *V. planifolia* se encuentra el crecer en forma de zig zag para no obstruirse el paso de los rayos solares, esto permite a la planta un alto grado de eficiencia fotosintética (Padilla, 2010). Lo cual explica parcialmente por qué la radiación solar influyó significativa y positivamente en el crecimiento de las vainillas estudiadas en el Chocó.

En cuanto a los entrenudos no fue muy explicativa y en la raíz fue negativa, pues no creció, lo anterior puede estar relacionado con la cantidad de luz a la que estuvieron expuestas estas partes de la planta (15804, w/m<sup>2</sup> a 590 w/m<sup>2</sup>). Diez (2014), refiere que la longitud de los entrenudos y las raíces es mayor en intensidades lumínicas bajas (142 w/m<sup>2</sup>) e intermedias (577 w/m<sup>2</sup> a 369 w/m<sup>2</sup>), respectivamente, además afirma que las plantas de vainilla alcanzan mayor longitud, área foliar y biomasa total cuando crecen en rangos de radiación intermedia, y que los ambientes altamente sombreados no afectan considerablemente la fotosíntesis y por ende el crecimiento de la vainilla. Sin embargo, Gómez (2012), comenta que la vainilla en ambientes menos iluminados expresa tasas menores de crecimiento en longitud y que al parecer la radiación óptima para estas plantas no es tan alta como lo sugiere Puthur (2005), quien concluyó que esta especie requiere niveles de cobertura cercanos al 50% en

cultivos de vainilla comercial en la India. Por lo que podemos inferir que si bien es cierto que la radiación solar juega un papel importante en el crecimiento y desarrollo de la *V. planifolia*, también nos permite dilucidar que dependiendo de la cantidad de radiación lumínica que recibe la planta puede favorecer o no el crecimiento independiente de las partes de la planta, es así que no podríamos estandarizar la cantidad de radiación que requiere, razón por la cual existen tantas discrepancias en cuanto a los requerimientos de intensidad lumínica necesita la especie para su normal crecimiento y desarrollo.

### **7.2.2. Efecto de la temperatura.**

Los resultados evidencian una relación variada en cuanto al crecimiento de cada una de las partes con la temperatura, la cual osciló entre 26.6 y 25.6 °C, a pesar de encontrarse dentro de los rangos sugeridos por algunos autores como Fouché y Jouve, (1999), que recomiendan para los cultivos de esta planta tener temperaturas entre 21 y 32 °C, Diez, (2011) sugiere temperaturas entre 20 y 30°C y otros afirman que pueden tolerar hasta 32 y 33°C (Ananadaraj *et al.*, 2005; Gómez *et al.*, 2011; Ranadive, 2005).

A pesar de lo anterior, solo se relacionó de manera positiva con el incremento del largo de las hojas y las raíces, y no fue poco explicativa con el ancho de la hoja y negativa con los entrenudos, lo que puede estar relacionado estrechamente con el proceso de desarrollo en las que se encontraban los individuos, pues algunos autores alegan que la temperatura óptima para las orquídeas depende de la fase del crecimiento en el que se encuentren, es así que algunas requieren una temperatura relativamente baja para la inducción de la floración y las altas retrasan el desarrollo de los brotes florales, (Sinoda y Col 1984). Este requisito de temperatura efectúa una importante adaptación natural al cambio estacional en el entorno del cultivo (Arditti, 1992).

Lo anterior, también puede obedecer a que la temperatura pudo presentar variaciones durante el día, que afectaron directamente el proceso de asimilación de CO<sub>2</sub> en las *V. planifolia* y por ende el proceso de fotosíntesis que finalmente se ve reflejado en el crecimiento de cada una de sus partes. En especies de igual características a las *V. planifolia*, como son las bromelias epifitas con fotosíntesis CAM, como *Vriesea amazónica* y *Guzmania monostachia*, el incremento de temperatura ambiental en 1.5°C presentan una reducción en la cantidad de CO<sub>2</sub> fijado durante la noche, lo que causa una disminución en su tasa fotosintética y por ende en el crecimiento y reproducción de este tipo de plantas, (Griffiths *et al.*, 1986).

### **7.2.3. Efecto de la precipitación.**

El crecimiento de *V. planifolia* con relación a la precipitación fue negativo en general, en hojas (largo, ancho), tallos (longitud), y con la raíz hubo una relación débil. Es así que la precipitación influyó negativamente en el crecimiento de las vainillas. Lo anterior, puede estar estrechamente relacionado con las altas y frecuentes lluvias que presentó la zona durante el tiempo de muestreo.

Otro aspecto asociado a la alta precipitación fue la poca disponibilidad de individuos en estado silvestre encontrados en la zona, pues bajo condiciones naturales, la vainilla crece en ambientes con escasez estacional de agua, (Diez, 2014), por lo tanto, las áreas con baja precipitación pueden ser más adecuadas para el cultivo de vainilla (Santa *et al.*, 2012).,sin embargo, Leakey (1970), dice que una baja precipitación o una marcada sequía puede tener efectos desfavorables en su crecimiento vegetativo y afecta su floración y fructificación.

En síntesis, podemos afirmar que la precipitación presentada durante el periodo de investigación fue el factor ambiental más poderoso que afectó el desarrollo y crecimiento de las vainillas estudiadas, pues las vainillas requieren de agua, en mayor medida en etapas específicas de su ciclo fenológico (Mata *et al.*, 2007), es así que las condiciones extremas de sequía y/o de alta precipitación reducen las tasas de crecimiento de las vainillas, (Kelso *et al.*; 2012). La vainilla requiere de agua,

en mayor medida en etapas específicas de su ciclo fenológico, como es la etapa de crecimiento y desarrollo del fruto.

#### **7.2.4. Efecto de la humedad relativa.**

El resultado evidencia que la humedad relativa es un factor ambiental que tiene alta incidencia en el crecimiento de las plantas de vainillas, pues se relacionó en general de manera positiva con el crecimiento de los individuos, solo con la raíz que tuvo una relación débil.

En cuanto a la relación positiva entre la humedad y las hojas puede obedecer a los procesos de transpiración y evapotranspiración que en ellas realizan las plantas, las hojas cuentan con estomas que son importantes en la fisiología de las plantas, debido a que son responsables del intercambio de gases entre la atmósfera y la hoja, y con ello evitan la excesiva pérdida de agua y realizan el proceso de la fotosíntesis (Weeb y Baker, 2002; Fan *et al.*, 2004) y con mucha más razón en plantas como las vainillas que son semiepifitas y epifitas que tienen una extraordinaria dependencia de la atmósfera para la adquisición de los nutrimentos y el agua que necesitan, lo que las hace excepcionalmente sensibles a la humedad del aire (Benzing, 1990). Estos nutrientes, que son absorbidos por la humedad del aire son factores importantes que controlan el crecimiento y desarrollo de las plantas.

En cuanto a la relación débil de la raíz con la humedad, nos pone a inferir que posiblemente esta condición está relacionada con los valores de humedad reportados para la zona (84,3% a 81,8%) y que a su vez está relacionado con las altas precipitaciones y que ambas son tomadas como (pulsos durante los eventos de precipitación pluvial, incluso de neblina y rocío) respectivamente, lo anterior podría explicar las pudriciones de algunas raíces y hasta las pérdidas de las mismas, pues en ambientes de alta humedad hay una alta incidencia de enfermedades producidas por hongos patógenos, pues sabemos que la aparición de algunas plagas y enfermedades como *Fusarium oxysporum* y *Antracnosis spp*,



en las vainillas se da por ambientes con niveles de humedad relativa de 74 a 80% y temperaturas que van de los 23° a los 28°. Es así que en las plantaciones existen una alta incidencia de problemas fitosanitarios como pudrición de raíz por (*Fusarium oxysporum* f sp.), pudrición basa (*Phytophthora* sp.), antracnosis (*Colletotrichum* sp.) y roya (*Uromycesjoffrini*) (Mesak *et al.*, 1994; Sánchez *et al.* (2001)

### **7.2.5 *Vanilla planifolia* y el hospedero**

En cuanto a los forófitos o arboles tutores, los resultados evidenciaron que los individuos estuvieron hospedados en las familias Arecaeae, Fabaceae Lecythidaceae, Moraceae, Rubiaceae, Melastomatacea Euphorbiaceae, Clusiaceae y Sapoteaceae.

Los individuos de vainilla estudiados eran huésped de una especie diferente, pero estuvo marcada en especies pertenecientes a la familia Arecaceae y un solo individuo de vainilla se encontró en un árbol muerto, esto último pone en manifiesto que esta especie, en algunos casos el tutor únicamente le proporciona sostén mecánico, habiéndose visto que la vainilla en tutores muertos o artificiales también puede prosperar (Damirón, 1994, Miceli *et al.*, 2015). Igualmente, Barreras, *et al.*, (2009) dice que otra característica importante en los sistemas tecnificados en malla sombra en la producción de vainilla es el empleo de tutores muertos, sin embargo, hay quienes comentan que las funciones de los tutores, son además de darle soporte a las plantas, es de proporcionar la sombra y materia orgánica necesaria para su desarrollo (Damirón, 1994, Miceli *et al.*, 2015).

En cuanto a la familia Arecaceae se identificaron cuatro especies de palmas como forófitos u hospederos de las vainillas, esto puede obedecer a que algunas especies de palmas presentan peculiaridades arquitectónicas que las hacen un forofito con gran potencial de ser colonizado por plantas hemiepífitas en ambiente donde ambas formas de vida coexisten. Entre las características más importante para que una

especie de palma sea colonizada por una planta hemiepífita, están aquellas que promuevan la disposición y acumulación de materia orgánica sobre la palma, (López, 2007), lo que sugiere a que hay una preferencia de las vainillas por ocupar algunas especies de árboles tutores de esta familia.

La Fabácea junto con la Lecythidaceae, fueron la segunda familia hospedada por parte de las vainillas, lo que tiene coherencia con lo manifestado por Jiménez y Meléndez, (2018), quienes comentan que son las especies de la familia Fabaceae las que se utilizan como los principales tutores en la producción comercial de la vainilla en diversos países del mundo; las cuales cumplen con características por ejemplo, adaptación a la región, rápido crecimiento, que no cambie la corteza, que tenga una ramificación de forma regular y sobre todo que proporcione una sombra (Damirón, 1994), y además es la familia más importante en las selvas de tierras bajas de todos los trópicos, también Gómez, (2012) reporta la especie *G. sepium* (matarratón), perteneciente a la familia Fabaceae, como tutor donde mejor crecieron las vainillas, es así que algunos autores comentan que la familia Fabaceae presenta ramificación irregular (Chezney y Vásquez 2007), que permite el paso de mayor cantidad de energía luminosa hasta el nivel de las plantas de vainilla, y por tanto modifica diferencialmente otros parámetros del microclima tales como temperatura y, fundamentalmente la humedad relativa, además, por ser caducifolia, aporta materia orgánica permanentemente en el sitio; y también por ser fijadora de nitrógeno, mejora las condiciones edáficas (Foroughbakhch et al 2006), por lo que probablemente provee nutrientes indispensables para el desarrollo de la planta de vainilla (Andrade y Zotz 2006).

En tercer lugar, se identificaron especies pertenecientes a las familias Moraceae, Melastomataceae, Rubiaceae, Sapotaceae, Clusiaceae, pues las vainillas por ser hemiepífitas requieren de un árbol tutor que les sirve como soporte y además les propicia un microambiente adecuado para el crecimiento de las plantas de vainillas. Además del soporte físico, el árbol tutor ofrece sombra y aporta materia orgánica, es así que muchas especies tienen potencial para ser tutores de vainilla, lo cual

depende de las características ambientales locales y de las especies existentes en cada zona. Las especies ideales de árboles tutores deben de estar adaptadas a la región donde se establece el cultivo y deben de presentar ciertas características (Hernández y Lubinsky, 2011).

## 8. CONCLUSIONES

Los factores ambientales como radiación solar, temperatura, precipitación y humedad relativa, son significativas solamente con el crecimiento vegetativo del ancho de la hoja, y marginalmente significativa entre la radiación solar y el crecimiento longitudinal de la raíz.

Con base a los resultados se puede concluir que los factores ambientales como radiación solar, temperatura, precipitación y humedad relativa, son determinantes en el crecimiento de las *Vanilla planifolia* Jacks, pero dichos efectos o relación de los factores fue diferente para cada una de las partes (hojas, tallos y raíces) de manera independiente, que en últimas se ve reflejado en la fisiología de la *Vanilla planifolia*, lo anterior puede soportar las discrepancias que existen en cuanto a sus requerimientos fisiológicos. Los factores que tuvieron mayor incidencia o que tuvieron una relación significativa con el crecimiento de las vainillas fueron la radiación solar, seguida de la temperatura, y por último la humedad, sin embargo, la precipitación fue el factor limitante para el crecimiento de las vainillas en la zona de estudio.

Los forofitos de las vainillas estuvieron representados por catorce especies *Oenocarpus bataua*, *Socratea exorrhiza*, *Bactris sp*, *Wettinia quinaria*, *Tovomita weddelliana*, *Mabea Occidentalis*, *Macrolibium sp*, *Swartzia oraria*, *Eschweilera coriácea*, *Couratari guianensis*, *Micenia reducens*, *Brosimum utile*, *Alibertia edulis*, *Pouteria sapota*, y una vainilla que estuvo hospedada en un árbol muerto, representadas en nueve familias *Arecaceae*, *Fabaceae*, *Lecythydaceae*, *Moraceae*, *Rubiaceae*, *Melastomataceae*, *Euphorbiaceae*, *Clusiaceae* y *Sapotaceae*, siendo la *Arecaceae* la familia donde más crecieron las vainillas.

## 9. RECOMENDACIONES

Es necesario continuar evaluando los efectos de los factores ambientales sobre el crecimiento vegetativo de la *Vanilla planifolia*, de igual manera también se hace preciso evaluar la incidencia de estos factores ambientales sobre la etapa de floración y fructificación en individuos silvestres, que conlleven a desarrollar estrategias y/o técnicas de cultivos adaptadas a las condiciones ambientales de nuestra región, con miras a el aprovechamiento de esta especie que posee un gran potencial agroecológico y productivo.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

Adame, J., Luna, M., & Iglesias, L. G. (2016). *Vanilla* Rhizobacteria as antagonists against *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae*. *Int. J. Sc. Nature*. 18(1):23-30.

Anilkumar, A.S. (2004). *Vanilla* cultivation: A profitable agri-based Enterprise. *Kerala Calling* 1: 26-30.

Arango, D. A., & Moreno, F. (2011). Desarrollo inicial de la vainilla (*Vanilla planifolia* Andrews, Orchidaceae) bajo diferentes usos de la tierra y condiciones climáticas en Colombia. In *Congreso Forestal Latinoamericano* (pp. 1-17). Lima, Perú: Cámara Nacional Forestal.

Arditti, J. (1982). *Orquid biology - Reviews and perspectives, II*. Cornell University Express Press. United Kingdom, London.

Augstburger, F.J., Berger, U., Censkowsky, P., Heid, J., & Milz, C.S. (2000). *Vainilla*. 1 ed. *Organic Farming in the Tropics and subtropics*. Naturland Association Gräfelfing, Germany.

Azofeifa-Bolaños, J.B., Rivera-Coto, G., Paniagua-Vásquez, A., & Cordero-Solórzano, R. (2018). Respuestas morfogénicas de plantas in vitro y esquejes de *Vanilla planifolia* (Orchidaceae) durante el desarrollo inicial del cultivo en invernadero y en sistemas agroforestales. *Cuadernos de Investigación UNED*, 10(2), 368-378.

Azofeifa-Bolaños, J. B., Paniagua-Vásquez, A., & García-García, J. A. (2014). Importancia y desafíos de la conservación de *Vanilla* spp. (Orchidaceae) en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 25(1), 189-202.

Barrera-Rodríguez, A. I., Herrera-Cabrera, B. E., Jaramillo-Villanueva, J. L., Escobedo-Garrido, J. S., & Bustamante-González, Á. (2009). Caracterización de los

sistemas de producción de vainilla (*Vanilla planifolia* A.) bajo naranjo y en malla sombra en el Totonacapan. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(2), 199-212.

Barrera, J., Suárez, D., & Melgarejo, L. M. (2010). II. Análisis de crecimiento en plantas. *Experimentos en fisiología vegetal. Melgarejo, LM (Ed). Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia*, 25-39.

Benaouali, H., Hamini, N., Bouras, A., Benichou, S. L., Kihal, M. & Henni, J. E., (2014). Isolation, pathogenicity test and physicochemical studies of *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*. *Adv. Environ. Biol.* 8(10):36-49.

Benzing, D.H. (1990). *Vascular epiphytes*. Cambridge University Press. Inglaterra. 280 pp.

Berlyn G, Cho J. (2000). Light, moisture, and nutrient use by plants. En: Ashton M., Montagnini F. (Editores). *The silvicultural basis for agroforestry systems*. Boca Raton (Florida), EE.UU. Ed. CRC.

Bernal, L.M. (2010). Aislamiento de microorganismos solubilizadores de P (PSM) de las raíces de vainilla sp., Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

Bianchessi, P. (2004). *Vanilla agriculture and curing techniques*. Venui Vanilla Co., Santo, Vanuatu.

Bhai, R.S., & Kumar, A. (2008). Effect of rhizobacteria on *Phytophthora meadii*, *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae* and *Colletotrichum vanillae* infecting vanilla. *Journal of Biological Control* 22:33-41.

Bory, S., Grisoni, M., Duval, M.F., & Besse, P. (2008). Biodiversity and preservation of Vanilla: present state of knowledge. *Genetics Resources and Crop Evolution* 55 (4): 551-571.

Brownell, D. (2003). The comercial survival of vanilla First International Conference on the future of the vanilla business, Rutgers University, New Brunswick, NJ.

Bythow, Jd. (2008). Vanilla as a medicinal plant. *Semin Integr Med* 3:129-131.  
Cervantes S, Graham E, Andrade JL. 2005. Light microhabitats, growth and photosynthesis of an epiphytic bromeliad in a tropical dry forest. *Plant Ecology* 179; 107-118.

Cach-Pérez, M.J. (2008). Influencia ambiental sobre la fisiología y anatomía foliar de *Tillandsia heterophylla*, bromelia endémica de México. Tesis de Maestría en Ciencias. División de Posgrado, Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Veracruz, México. 80 pp.

Cameron, K.M. 2011a. Vanilloid orchids systematics and evolution, p. 1-13, En: E. Odoux y M. Grisoni, eds. *Vanilla. Medicinal and Aromatic Plants- Industrial Profiles*. CRC Press, Boca Raton, Florida.

Cervantes, S.E., Graham, E. A., & Andrade, J. L. (2005). Light microhabitats, growth and photosynthesis of an epiphytic bromeliad in a tropical dry forest. *Plant Ecology* 179: 107-118.

Chen, J., Saunders, S., Crow, T., Naiman, R., Brosofske, K., Mroz, G., Brookshire, B., Franklin, R. (1999). Microclimate in Forest Ecosystem and Landscape Ecology. *Bioscience*. Vol. 49(4): 288-297.

Colley, D., Payne, R., Elswijk, M. (2000). Microclimate gradients across a forest Edge. *New Zealand Journal of Ecology* 24(2):111-121.



Cuero, K. (2015). Reproductive biology and floral morphology of three species of the genus *Vanilla* Mill. Two districts of the municipality of Nuquí (Chocó - Colombia). Undergraduate thesis, Technological University of Choco - Diego Luis Cordoba.

Cuesta, E. (2015). Visitantes Florales y Polinizadores de tres Especies del Género *Vanilla* Mill. presentes en el municipio de Nuquí, Chocó – Colombia. Universidad Tecnológica del Chocó Diego Luis Córdoba.

Damiron, R. (2004). La Vainilla y su cultivo. Veracruz Agrícola. Dirección General de Agricultura y Fitosanitaria, Gobierno del Estado. 50 p.de México. Instituto Chino in AC. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. de Productores de Vainilla, Papantla, Veracruz, México.

DE COMUNIDADES, E. L. T. C. VAINILLA AROMA CHOCÓ.

De las Rivas, J. (2008). Utilización de energía luminosa en la fotosíntesis. En: Azcón-Bieto, J. y Talón M (Editores). 2da. Edición. Fundamentos de fisiología vegetal. pp. 191-209. Ed. Mc Graw Hill.

Díez Gómez, M. C. (2014). *Ecofisiología de la vainilla Vanilla planifolia* Andrews, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín).

Escobar, R. (1991). Orquídeas nativas de Colombia. Compañía Litográfica Nacional. Medellín.

Exley, R. (2011). Vanilla Production in Australia, p. 69-78, En: D. Havkin-Frenkel y F. C. Belanger, eds. Handbook of Vanilla Science and Technology. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK.

FAO. (2011). FAOSTAT Website [Online] <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> (verified Noviembre 2011).

FAO. (2012). Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la agricultura. Consultado en <http://www.fao.org/AG/cgrfa/Spanish/itpgr.htm#text>.

Forero, E., & Gentry, A. (1989). Lista anotada de plantas del departamento del Chocó. *Bogotá: Instituto de Ciencias Naturales, Museo de Historia Natural*.

Fouché, J.G., & Jouve, L. (1999). *Vanilla planifolia*: history, botany and culture in Reunion island. *Agronomie* 19(8): 689-703.

Fu, C.F., & Hew, C.S. (1982). Crassulacean Acid Metabolism in Orchids under water stress. *Botanical Gazette*. 143, (3) 294-297.

Frank, B., & Eduardo, S. (2003). Biomass dynamics of *Erythrina lanceolata* as influenced by shoot-pruning intensity in Costa Rica. *Agrof. Syst.* 57: 19-28.

García, F.J., Moreno, M., Robledo, D., Mosquera, L., Palacios, L., (2004). Composición y diversidad Florística de los bosques de la cuenca hidrográfica del río Cabí, Quibdó-Chocó. *Investigación, Biodiversidad y Desarrollo*. 20:13-23.

García–Pacheco, A. D., & López–Castañeda, C. (2002). Temperatura base y tasa de extensión foliar del maíz. 2002. *Rev. Fitotec. Mex.* 25: 381–386.

Gehrig, H., Faist, K., & Kluge, M. (1998). Identification of phosphoenolpyruvate carboxylase isoforms in leaf, stem and roots of the obligate CAM plant *Vanilla planifolia* Salib. (Orchidaceae): a physiological and molecular approach. *Plant Molecular Biology* 38: 1215-1223.

Gómez López, N. M. (2012). Respuestas de *Vanilla planifolia* Jacks: ante variaciones microambientales bajo arreglos agroforestales en un bosque seco tropical (Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín).

Gómez, N.M., Moreno, F., & Díez, M.C. (2011). El cultivo de la vainilla en Colombia, p. 8291, En: F. Moreno y M. C. Díez, eds. Cultivo de vainilla. Contribuciones para el desarrollo de su cadena productiva en Colombia, Medellín, Colombia.

Goyal, R.K. (2004). La sensibilidad de la evapotranspiración al calentamiento global: un caso de estudio de la zona árida de Rajasthan (India). (En inglés) *Agric. Water Manage* 69:1-11.

Griffiths, H., Lüttge, U., Stimmel, K.H., Crook, C.E., Griffiths, N.M., & Smith, J.A.C. (1986). Comparative ecophysiology of CAM and C3 bromeliad. III. Environmental influences on CO<sub>2</sub> assimilation and transpiration. *Plant, Cell and Environment* 9:385-393.

Griffiths, H., & Maxwell, K. (1999). In memory of C.S. Pittendrigh: Does exposure in forest canopies relate to photoprotective strategies in epiphytic bromeliads. *Functional ecology*, Vol. 13 No. 1: 15-23.

Hammel, B. (1990). The distribution of diversity among families, genera, and habit types in La Selva flora. In: Gentry, A. (ed.) *Four Neotropical Forests*. Yale University Press. Connecticut. pp. 75 - 84.

Hágsater, E., Soto –Arenas, M.A., Salazar-Chávez, G.A., Jiménez-Machorro, R.L., López-Rosas, M.A., & Dressler, R.L. (2005). *Orchids of Mexico*. Productos Farmacéuticos S.A. de C.V., Mexico City, Mexico.

Havkin-Frenkel, D., Belanger, F.C., Booth, D.Y.J., Galasso, K.E., Tangel, F., & Hernández, C.J. (2011). A Comprehensive Study of Composition and Evaluation of Vanilla Extracts in US Retail Stores p. 220-234, En: D. Havkin-Frenkel y F. C. Belanger, eds. *Handbook of vanilla science and technology*. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK.

Hernández, J. (2009). El cultivo: La vainilla. *Revista Agroentorno* 101: 15-23.

Hernández- Hernández, J., & Lubinsky, P. (2011). Cultivation Systems. In: Odoux, E. y Grisoni, M. (ed). *Vanilla. Medicinal and Aromatic Plants-Industrial Profiles*. P. CRC Press, Taylor and Francis Group. Boca ratón, FL, USA.

Hernández- Hernández, J. (2011). Mexican Vanilla Production. Pp.1-25. In: Havkin-Frenkel, D. and F.C. Belanger (ed.). *Handbook of Vanilla Science and Technology*. Wiley-Blackwell, West Sussex, Reino Unido.

Higuera, D. (2008). Epífitas y árboles hospederos: relación entre especies o restricción de recursos. URL Document. <http://waste.ideal.es/epifitas2.htm>  
Consulta: 01/05/2011.

Householder, J. E. (2007). Diversity, natural history and conservation of vanilla of Madre de Dios, Peru. Texas Christian University. 116 p.

Hurtado, Alza, H. A. (2018). Caracterización y distribución vertical de epífitas vasculares (orquídeas y bromelias) y hospederos en un ecosistema de selva en el sur del Perú.

Hunt, R. (2003). Growth analysis, individual plants. pp. 579-588. En: Thomas, B., D.J. urphy y D. Murray (eds.). *Encyclopaedia of applied plant sciences*. Academic Press, London.

Jiménez, M. F. C., & Meléndez, N. M. (2018). El sostén de la vainilla.

Jiménez, K.; Schmidt, A.; Quesada, M., & Moreira, I. (2015). Aislamiento de una bacteria endófitas de vainilla (*Vanilla planifolia*) con actividad biocontroladora in vitro contra *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae*. España. *Tecnología en Marcha*. 28(2):116-125.

Kernan, C., & Fowler, N. (1995). Differential substrate use by epiphytes in Corcovado National Park, Costa Rica: a source of guild structure. *Journal of Ecology* 83:65-73.

Lambers, H., & Poorter, H. (1998). Inherent variation in growth rate between higher plants: A search for physiological causes and ecological consequences. *Advances in Ecological Research* 23: 187-261.

Lange, O., & Medina, E. (1979). Stomata of the CAM plant *Tillandsia recurvata* respond directly to humidity. *Oecologia* 40:357-363.

Ledesma-Rentería, E.L., Ramírez-Moreno, G., & Pino-Benítez, C.N. (2006). Orquídeas silvestres del Chocó. *Lyonia*. 10 (1): 17-31.

López-Castañeda, C., Richards, R. A., Farquhar, D., & Williamson, R. E. (1996). Seed and seedling characteristics contributing to variation in early vigor among temperate cereals. *Crop Sci.* 36: 1257–1266.

López-Acosta, J. C. (2007). Variación ontogénica en la estrategia de defensa antiherbívoro en plantas hemiepipítas: Un estudio con *Ficus obtusifolia* en un palmar biodiverso y amenazado (Doctoral dissertation).

Lubinsky, P., Van Dam, M. A. (2006). Pollination of *Vanilla* and evolution in Orchidaceae. *Orchids* 75 (12): 926-929.

Lubinsky, P., Bory, S., Hernández, J., Kim, S. C., Gómez-Pompa, A. (2008). Origins and Dispersal of Cultivated *Vanilla* (*Vanilla planifolia* Jacks. [Orchidaceae]). *Economic Botany*, 62(2): 127–138.

Lubinsky, P., Romero-González, G.A., Heredia, S.M., y Zabel, S., (2011). Origins and Patterns of *Vanilla* Cultivation in Tropical America (1500– 1900): No Support for an Independent Domestication of *Vanilla* in South America, p. 117-138, En: D. Havkin-Frenkel y F. C. Belanger, eds. *Handbook of Vanilla Science and Technology*, 1 ed. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK.

Lüttge, U., Stimmel, K.-H., Smith, J.A.C., & Griffiths, H. (1986). Comparative ecophysiology of CAM and C3 bromeliads. II. Field measurements of gas exchange of CAM bromeliads in the humid tropics. *Plant, Cell and Environment* 9:377-383

Lüttge, U. (2004). Ecophysiology of crassulacean acid metabolism (CAM). *Annals of Botany* 93: 629 - 652.

Martin, C.E. (1994). Physiological ecology of the Bromeliaceae. *The Botanical Review* 60:182.

Martin, C.E., Mcleod, K.W., Eades, C.A., & Pitzer, A.E. (1985). Morphological and physiological responses to irradiance in the CAM epiphyte *L.* (Bromeliaceae). *Botanical Gazette* 146:489-494.

Martínez, S. (2015). Biología Floral y Reproductiva de *Vanilla trigonocarpa* H. (Orchidaceae) en el Municipio de Quibdó-Chocó, Colombia.

Miceli-Méndez, C.L., López-Miceli, M.A., García-Ruiz, L.J., & Reyes-Escutia, F.J. (2015). Situación actual y horizontes de la vainilla. In: Miceli-Méndez C.L. y Rivera-Velázquez G. Coord. Historia, problemática y horizontes de la vainilla, pp 15-30. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Misas-Urreta, G. (2005). Orquídeas de la Serranía del Baudó, Chocó-Colombia. Bogotá: Panamericana e Impresos.

Mcgregor, A. (2005). Diversification into high-value export products: Case study of Papua New Guinea Vanilla Industry. Agricultural management and finance service (AGSF). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Working document 2. Agricultural Supports. Rome. 40 p.

Molineros-Hurtado, F., Mina, R.T.G., Flanagan, N.S., & Otero, J.T. (2014). *Vanilla rivasii* (Orchidaceae), a new species from the colombian pacific region *Lankesteriana* 13 (3):3653.

Molineros-Hurtado, F.H; González- Mina, R.T., Otero, J.T., & Flanagan, N.S. (2013). Morphological and phylogenetic caracterizacion of the diversity of the genus *Vanilla* in the Colombian Pacific región. *Proceedings LANKESTERIANA* 13 (1-2). 313.

Molineros, H., & Hernando, F. (2012). Caracterización morfológica y filogenia del género *Vanilla* en el distrito de Buenaventura-Valle del Cauca (Colombia) (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira).

Moreno, H., Díez, G., & Díez, C. M. (2011). *Cultivo de Vainilla: Contribuciones para el desarrollo de su cadena productiva en Colombia* (No. 633.8209861 C967). Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Medellín (Colombia) Universidad Nacional de Colombia, Medellín (Colombia).

Nelson, N., & Sage, R. (2005). Functional leaf anatomy of plants with crassulacean acid metabolism. *Functional Plant Biology*. 32, 409-419.

Nelson, N., & Yocum, C. F. (2006). The structure and function of photosystems I and II. *Ann. Rev. Plant Biol.* 57, 521-565

Olivares-Soto, H. M. (2010). Sombra artificial y aplicación del thiazurón en el crecimiento y fisiología de la vainilla (*Vanilla planifolia* Andrews). Tesis de posgrados en recursos genéticos y productividad. Instituto de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas. Monticillo, Mexico.

Ordoñez, N. A., Osorio, J.E., Calle, M.C., Díez, M., & Moreno, F. (2011). La vainilla en Colombia y en el mundo. pp. 11-23. En: Moreno, F. y M.C. Díez (ed). *Cultivo de*

vainilla. Contribuciones para el desarrollo de su cadena productiva en Colombia. MADR. Universidad Nacional de Colombia, Bioandes, CORANTIOQUIA, Refecosta, ASOBAL. Leo digital, Medellín, Colombia.

Osorio-Mosquera, A. I. (2012). Efecto de materiales orgánicos, fertilizantes e inóculos microbiales sobre el crecimiento y nutrición de plántulas de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks). *Departamento de Ciencias Agropecuarias*.

Padilla-Vega, J. (2011). Sobre los árboles: el mejor lugar para cultivar vainilla. *LEISA Revista de Agroecología* 27(2):24-26.

Padilla-Vega, J. (2018). Sobre los árboles: el mejor lugar para cultivar vainilla. *Leisa* 27(2): 24-26.

Patiño. (2002). Historia y dispersión de los frutales nativos del Neotrópico. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Santiago de Cali, Colombia.

Porras-Alfaro, A., Bayman, P. (2007). Mycorrhizal fungi of Vanilla: diversity, specificity and effects on seed germination and plant growth. *MYCOLOGIA*. 99(4):510-525.

Poteres, R. (1954). Le genre Vanilla et ses especes. En: Lechevalier P (ed) *Le vanillier et al vanille dans le monde*, Paris, Francia.

Puthur, J. (2005). Influence of light intensity on growth and crop productivity of *Vanilla planifolia* Andrews. *Gen. appl. plant physiology*, 31(3-4), 215-224.

Ramirez, C., Rapidel, B., Matthey, J. (1999). Principales factores agronómicos restrictivos en el cultivo de la vainilla y su alivio en la zona de Quepos, Costa Rico. *XI Congreso Nacional Agronómico*. pp. 309 –313.



Ramos-Quintana, F., Bautista-Hernández, A., & Sotelo-Nava, H. (2017). Relación de la temperatura y humedad relativa con el brote del hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(3), 713-720.

Ranadive, A. (2003). Vanilla cultivation. En: Vanilla 1 st. International Congress. East Brunswick, NJ 08816. pp. 25 – 32.

Rangel, Ch. J. O. (2004). Colombia Diversidad Biótica IV. El Chocó Biogeográfico/Costa Pacífica. Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá. Ed. UNAL. ISBN 958701-439-1. p. 996.

Reyes, L.D., Martínez, A.D., Pascual, F.R., Villegas, I.R., Alonso, J.C., Quiroz, J.V., Kelso, H.A.B., & Huerta, M.L., (2013). Diagnóstico de las anomalías de la temperatura y precipitación y su relación con el cultivo de vainilla. En: Álvarez, G.F. et al., editores, Agricultura Sostenible.Vol. 9 primera edición. Colegio de Postgraduados. MEX. p. 1235-1244.

Rinert, F. (1995). On the Bromeliaceae of the restinga of Barra de Maricá in Brazil: environmental influences on the expression of crassulacean acid metabolism. Ph.D. thesis, University of Newcastle, UK.

Rosero, H. M., Andrade, T. P., & Benítez, N. P. (2008). DISTRIBUCIÓN VERTICAL DE ORQUÍDEAS DENTRO DE UN BOSQUE HÚMEDO TROPICAL (bh-T). *Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó Investigación Biodiversidad y Desarrollo*, 27(2).

Ruzana, M.S., & Ainuddin, A.N. (2011). Epiphytic plant responses to light and water stress. *Asian Journal of Plant Sciences* 10:97-107.

Sarma, Y.R., Thomas, J. B., Sasikumar, & Varadarasan, S. (2011). Vanilla Production in India, p. 295-326, En: O. E. y G. M., eds. Vanilla. Medicinal and Aromatic Plants - Industrial Profiles. CRC Press, Boca Raton, Florida.

Sarmiento, J. (2007). La familia Orchidaceae en Colombia. *Actualidades Biológicas* 29 (1): 88.

Sasikumar, B. (2010). Vanilla Breeding - a review. *Agricultural Reviews* 31:139 - 144.

Silvera, K., Santiago L.S., Cushman, J.C., Winter, K. (2009). Crassulacean acid metabolism and epiphytism linked to adaptive radiations in the orchidaceae. *Plant Physiology*. 149:1838– 1847.

Silvera, K., Santiago L.S., Winter, K. (2005). Distribution of crassulacean acid metabolism in orchids of Panama: Evidence of selection for weak and strong modes. *Functional Plant Biology* 32, 397–407.

Smith, N.J.H., Williams, J.T., Plucknett, D.L., & Talbot, J.P. (1992). Tropical forests and their crops. Cornell University Press, Ithaca, New York, USA.

Soto-Arenas, M.A. (1999). Filogeografía y recursos genéticos de las vainillas de México. Extraído el 10 de abril de 2009 <http://www.conabio.gob.mx> 32.

Soto-Arenas, M.A., & Dressler, R.L. (2010). A revision of the mexican and Central American species of *Vanilla* Plumier Ex Miller, with a characterization of their ITS region of the nuclear ribosomal DNA. *Lankesteriana* 9(3):285-354.

Soto-Arenas, M. A., & Cribb, P. (2010). A new infrageneric classification and synopsis of the genus *vanilla* plum.ex. mill. (orchidaceae: vanillinae). *Lankesteriana* 9 (3): 355-398.

Sudgen, A., & Robins, R. (1979). Aspects of the ecology of vascular epiphytes in a Colombian cloud forest, I. The distribution of the epiphytic flora. *Biotropica* 11 (3): 173-188.

Stancato, G. C., Mazzafera, P., Buckeridge, M. S. (2002). Effects of light stress on the growth of the epiphytic orchid *Cattleya forbesii* Lindl. X *Laelia tenebrosa* Rolfe. *Revista Brasil. Bot.* 25(2), 229-235.

Ter-Steege, H., & Cornelissen, J.H.C. (1989). Distribution and ecology of vascular epiphytes in lowland rain forest of Guyana. *Biotropica* 21: 331–339.

Ting, I. (1985). Crassulacean Acid Metabolism. *Annu. Rev. Plant. Physiol* 36:595-622.

Tobar- Perdomo, D., & Espinosa- Abondano, L. F. (2008). Estructura de abordaje del mercado mexicano con fines de exportación de la vainilla (*vainilla planifolia* Andrews) para la empresa Inversiones Perdomo y Cia s. en c. Universidad de la Salle.

Tombe, M., & Liew, E.C. (2011). Fungal diseases of Vanilla. Pp.125-140. En: Odoux, E. y M. Grison. (ed). *Vanilla*. CRC Press, Boca Ratón, FL.

Tomkins, R. (2002). Vanilla growers bank on real thing for Coke. *The Vanilla Company*, Santa Cruz, CA, USA.

USDA. (1995). World market for vanilla. *RAP Market Information Bulletin* No. 7, Beteshda, MD.

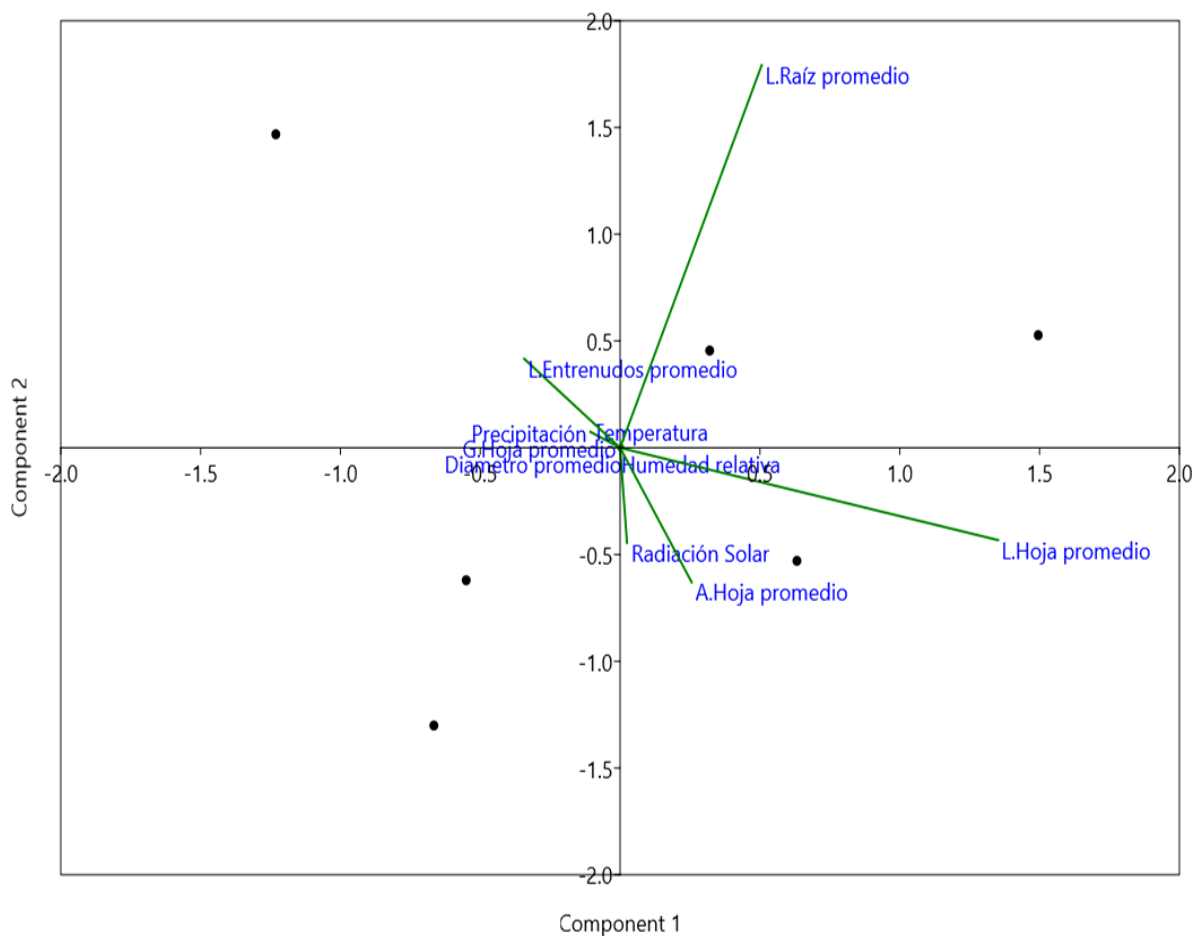
Varela- Quirós, E. (2011). Vanilla Production in Costa Rica. pp. 40-49. En: Havkin-Frenkel, D. and F. Belanger (ed.). *Handbook of Vanilla Science and Technology*. Wiley-Blackwell, West Sussex, Reino Unido.

Valladares, F. (2006). La disponibilidad de luz bajo el dosel de los bosques y matorrales ibéricos estimada mediante fotografía hemisférica. *Ecología*, N.20, 2006, pp. 11-30.

Zaubin, R., Tome, M., & Liew, E.C. Y. (2011). Vanilla production in Indonesia. pp. 283-293. In: Odoux, E and M. Grisoni (ed.). *Vanilla (Medicinal and Aromatic Plants - Industrial Profiles)*. CRC Press, Boca Raton, Florida.

Zotz & Andrade. (2002). La ecología y la fisiología de las epífitas y las hemiepífitas. En: Guariguata, M y Kattan G. (Editores) 1a. ed., *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. pp. 271-296. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

**11. ANEXO 1.** Modelos de regresión múltiple de las variables de crecimiento vegetativo de *Vanilla planifolia* Jacks y las variables ambientales (Radiación Solar, Precipitación, Temperatura, Humedad relativa) en un bosque pluvial tropical del Chocó biogeográfico colombiano.



PC	Eigenvalue	% variance
1	16.498	53.309
2	0.90055	29.099
3	0.526458	17.011
4	0.0138568	0.44775
5	0.00409075	0.13218

<b>Dependent variable:</b>	<b>A. Hoja promedio</b>
N:	6
Multiple R:	0.99999
Multiple R2:	0.99998
Multiple R2 adj.:	0.99991
ANOVA	
F:	13234
df1, df2:	4, 1
<b>p:</b>	<b>0.0065193</b>

<b>A. Hoja</b>					
	Coeff.	Std.err.	t	p	R^2
Constant	-94949,000	15341,000	-61892,000	<b>0.010285</b>	
Radiación Solar	15512,000	0.011313	137.11	<b>0.004643</b>	0.69997
Precipitación	39071,000	0.095985	40705,000	<b>0.015637</b>	0.57915
Temperatura	29246,000	0.35517	82343,000	0.076936	0.012611
Humedad relativa	84999,000	17633,000	48205,000	<b>0.013205</b>	0.62045

<b>Dependent variable:</b>	<b>L.Hoja promedio</b>
N:	6
Multiple R:	0,94685
Multiple R2:	0,89653
Multiple R2 adj.:	0,48263
ANOVA	
F:	2,1661
df1, df2:	4, 1
p:	0,46587

<b>L.Hoja promedio</b>	Coeff.	Std.err.	t	p	R^2
Constant	-1,13	301,19	-0,0037517	0,99761	
Radiación Solar	1,9082	2,2212	0,8591	0,54816	0,069307
Precipitación	-9,501	18,845	-0,50417	0,70271	0,33248
Temperatura	112,4	69,731	1,6119	0,3535	0,48773
Humedad relativa	-134,53	346,18	-0,38863	0,76403	0,4529

Dependent variable:	G.Hoja promedio
N:	6
Multiple R:	0,93268
Multiple R2:	0,8699
Multiple R2 adj.:	0,34949
ANOVA	
F:	1,6716
df1, df2:	4, 1
p:	0,51758

G.Hoja promedio	Coeff.	Std.err.	t	p	R^2
Constant	0,95233	0,82245	1,1579	0,4535	
Radiación Solar	-0,0033841	0,0060653	-0,55796	0,676	0,34074
Precipitación	-0,045668	0,051459	-0,88747	0,53791	<b>0,65708</b>
Temperatura	0,11495	0,19041	0,60366	0,65425	0,012766
Humedad relativa	-1,0316	0,94531	-1,0913	0,47223	<b>0,72961</b>

Dependent variable:	L.Entrenudos promedio
N:	6
Multiple R:	0,86542
Multiple R2:	0,74895
Multiple R2 adj.:	-0,25526
ANOVA	
F:	0,74581
df1, df2:	4, 1
p:	0,68868

L.Entrenudos promedio	Coeff.	Std.err.	t	p	R^2
Constant	-292,48	297,44	-0,98333	0,50535	
Radiación Solar	-1,9363	2,1935	-0,88273	0,5396	0,00054762
Precipitación	18,806	18,61	1,0105	0,49667	0,13668
Temperatura	-102,64	68,864	-1,4905	0,37621	0,087601
Humedad relativa	402,2	341,88	1,1764	0,4485	0,13709

Dependent variable:	Diametro promedio
N:	6
Multiple R:	0,87088
Multiple R2:	0,75844
Multiple R2 adj.:	-0,20781
ANOVA	
F:	0,78493
df1, df2:	4, 1
p:	0,67787

Diametro promedio	Coeff.	Std.err.	t	p	R^2
Constant	5,0663	4,6312	1,0939	0,47146	
Radiación Solar	0,00031891	0,034153	0,0093377	0,99406	0,032699
Precipitación	-0,24285	0,28976	-0,83809	0,55593	0,025365
Temperatura	-0,037726	1,0722	-0,035185	0,97761	0,55073
Humedad relativa	-4,6684	5,323	-0,87703	0,54165	0,11026

Dependent variable:	L.Raíz promedio
N:	6
Multiple R:	0,99671
Multiple R2:	0,99344
Multiple R2 adj.:	0,96718
ANOVA	
F:	37,832
df1, df2:	4, 1
p:	0,12127

L.Raíz promedio	Coeff.	Std.err.	t	p	R^2
Constant	128,5	60,643	2,1189	0,28072	
Radiación Solar	-3,8819	0,44721	-8,6802	<b>0,073019</b>	0,54514
Precipitación	-12,791	3,7943	-3,371	0,18359	0,0032895
Temperatura	54,654	14,04	3,8928	0,16008	0,43938
Humedad relativa	-178,94	69,701	-2,5672	0,23647	0,021455