

**CARACTERIZACIÓN FENOLÓGICA Y ECOFISIOLÓGICA DEL CULTIVO DE
AGUACATE (*Persea americana* Mill.) EN FASE VEGETATIVA (ESTADO DE
PLÁNTULA) BAJO CONDICIONES DE CAMPO DEL MUNICIPIO DE PASCA,
CUNDINAMARCA**

**BRYAN STEVE GONZALEZ VANEGAS
EDGAR GIOVANY OCHOA CARVAJAL**

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
FUSAGASUGA
2015**

**CARACTERIZACIÓN FENOLÓGICA Y ECOFISIOLÓGICA DEL CULTIVO DE
AGUACATE (*Persea americana* Mill.) EN FASE VEGETATIVA (ESTADO DE
PLÁNTULA) BAJO CONDICIONES DE CAMPO DEL MUNICIPIO DE PASCA,
CUNDINAMARCA**

**BRYAN STEVE GONZALEZ VANEGAS
EDGAR GIOVANY OCHOA CARVAJAL**

**Trabajo de grado presentado como
requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Agrónomo**

**Directora:
CRISTINA MENDOZA FORERO
Biol. MSc. Fisiología de cultivos**

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
FUSAGASUGA**

2015

NOTA DE ACEPTACIÓN

Jurado

Jurado

Dedicatoria

A mis padres, Gloria Vanegas y Heli González por su apoyo, comprensión y grata compañía. A mi abuelita Esther, que es mi más grande amor, y un claro ejemplo de vida.

A Dios...

- **Bryan**

A mi madre María Carvajal por su sacrificio y esfuerzo, a Carlos Simancas por su apoyo incondicional para que culminara mis estudios, y a mi compañera sentimental, Mayra Herrera por su amor, apoyo y por traer a la vida a nuestro hijo Samuel quien es la personita por la que quiero ser un gran profesional.

- **Giovanny**

La simplicidad es lo más difícil de conseguir en este mundo, es el último límite de la experiencia y el último esfuerzo del genio.

- *George Sand*

AGRADECIMIENTOS

A la docente investigadora Cristina Mendoza, por su apoyo y orientación, sus aportes y ayuda, que fueron clave para el desarrollo satisfactorio de esta investigación.

A los investigadores del proyecto “Red Nacional para la bioprospección de frutas tropicales – RIFRUTBIO” por su apoyo y asesoría.

A Colciencias por cofinanciar este trabajo a través del proyecto “Ecofisiología, nutrición mineral y manejo integrado de plagas y enfermedades en aguacate, curuba, gulupa y tomate de árbol orientados hacia su manejo agronómico, como materia prima para el desarrollo de productos de interés comercial” el cual es un componente de la Red Nacional para la Bioprospección de Frutas Tropicales – RIFRUTBIO (código 550854332012, CONTRATO RC No. 0459-2013)

A La Universidad Nacional De Colombia y en particular al grupo de investigación Fisiología del estrés y biodiversidad en plantas y microorganismos y a su directora Luz Marina Melgarejo, por facilitar los equipos necesarios para el desarrollo del trabajo.

Al señor Pedro Rico, propietario de la finca El Pedregal, por facilitar el predio para la realización del proyecto.

A todos los docentes que participaron en nuestra formación profesional, personal y académica.

A nuestras familias, por su incondicional y permanente apoyo en búsqueda de nuestra realización profesional.

A la Universidad de Cundinamarca por ser gestora de nuestra formación profesional y por la oportunidad y confianza para el óptimo desarrollo.

A todas las personas que de una u otra manera colaboraron con la culminación de esta investigación.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. OBJETIVO GENERAL	4
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3. REVISIÓN DE LITERATURA	5
3.1. AGUACATE (<i>Persea Americana</i> Mill.)	5
3.1.1. Clasificación y Descripción botánica (FHIA, 2008)	5
3.1.2. Clasificación ecológica	6
3.1.3. Condiciones del cultivo	7
3.1.4. Desarrollo y fisiología	10
3.1.5. Aguacate var. 'Hass' en el territorio colombiano	11
3.2. CARACTERIZACIÓN FENOLÓGICA	13
3.3. COMPORTAMIENTO FOTOSINTETICO DE LAS PLANTAS	16
4. METODOLOGÍA	18
4.1. MATERIALES	18
4.1.1 Material vegetal	18

4.1.2 Equipos	18
4.1.3 Insumos y material de campo.....	18
4.2. UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS AGROCLIMATOLÓGICAS.....	19
4.3. ESTABLECIMIENTO Y MANEJO DEL CULTIVO	21
4.3.1. Etapa de almacigo (plantas recién injertadas)	21
4.3.2. Etapa en campo abierto.....	22
4.4. EVALUACIÓN FENOLÓGICA POR MEDIO DE ESCALA BBCH	24
4.5. EVALUACIÓN FOTOSINTÉTICA Y ECOFISIOLÓGICA EN ESTADO VEGETATIVO JUVENIL	24
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
5.1. ESCALA BBCH DEL AGUACATE VARIEDAD 'HASS' EN FASE VEGETATIVA.....	28
5.2. COMPORTAMIENTO ECOFISIOLÓGICO Y FOTOSINTÉTICO DEL AGUACATE VARIEDAD 'HASS' EN ESTADO JUVENIL.....	38
5.2.1 Curva de luz	38
5.2.2 Comportamiento fotosintético y transpiratorio	44
5.2.3 Uso eficiente del Agua.....	50
6. CONCLUSIONES	54
7. RECOMENDACIONES.....	56
8. BIBLIOGRAFÍA	57

LISTADO DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Estadios principales de crecimiento (Tomado de Meier, 2001).....	15
Tabla 2. Datos agroclimáticos de la Vereda San Pablo (Pasca).	20
Tabla 3. Codificación de la escala BBCH del estadio principal 0, desde que inicia el hinchamiento de la yema, hasta que muestra brotes verdes.).....	29
Tabla 4: codificación de la escala BBCH del estadio 1, donde se evidencia que las primeras hojas se separan del brote, hasta que desarrolla 9 o más pares de hojas.....	31
Tabla 5: codificación de la escala BBCH del estadio 2, que representa la formación de brotes laterales	33
Tabla 6: codificación de la escala BBCH del estadio 3, representando la elongación de los tallos, por porcentajes de la longitud final.....	35
Tabla 7. Fotosíntesis, Transpiración y Uso eficiente del Agua en plantas de aguacate 'Hass' de 5 meses.....	51
Tabla 8. Fotosíntesis, Transpiración y Uso eficiente del Agua en plantas de aguacate 'Hass' en prefloración.....	52

LISTADO DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Ubicación geográfica de la finca El Pedregal, vereda San Pablo, en el municipio de Pasca, Cundinamarca. (Fuente: Google Earth®).....	19
Figura 2: fotografía panorámica de la finca El Pedregal, ubicada en la vereda San Pablo, en el municipio de Pasca, Cundinamarca)	20
Figura 3. Plántulas de aguacate en fase de almácigo, bajo polisombra del 50%, en el vivero Manos Unidas, en el municipio de Fusagasugá, Cundinamarca.....	22
Figura 4. Siembra de una plántula de aguacate en la finca El Pedregal, vereda San Pablo, Pasca	23
Figura 5. Calicata lista para llevar a cabo la siembra de la plántula de aguacate.....	23
Figura 6. Curva de luz de <i>Persea americana</i> Mill. var. 'Hass', ajustado al modelo hiperbólico de Michaelis Menten, en planta en prefloración (Ochoa y González, 2015)	38
Figura 7. Curva de luz de <i>Persea americana</i> Mill. var. 'Hass', ajustado al modelo hiperbólico de Michaelis Menten, en plantas de 5 meses después de injerto (Ochoa y González, 2015)	39
Figura 8. Curva de luz de <i>Persea americana</i> Mill. var. 'Hass', ajustado al modelo hiperbólico de Mitscherlich, en plantas en prefloración (Ochoa y González, 2015).	40

Figura 9. Curva de luz de *Persea americana* Mill. var. 'Hass', ajustado al modelo hiperbólico de Mitscherlich, en plantas de 5 meses después de injerto (Ochoa y González, 2015) **40**

Figura 10. Tabla de coeficiente de relación, basado en el modelo hiperbólico de Michaelis Menten, para plantas de 5 meses de edad (Ochoa y González, 2015) **42**

Figura 11. Tabla de coeficiente de relación, basado en el modelo hiperbólico de Michaelis Menten, para plantas en prefloración (Ochoa y González, 2015) **43**

LISTADO DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1: Curva de luz en el municipio de Pasca, Cundinamarca, en plantas de <i>Persea americana</i> Mill. en prefloración (González y Ochoa, 2015)	43
Gráfica 2: Curva de luz en el municipio de Pasca, Cundinamarca, en plántulas de <i>Persea americana</i> Mill de 5 meses después de injerto (González y Ochoa, 2015)	44
Gráfica 3. Comparación entre fotosíntesis neta y PAR, entre una plántula de <i>Persea americana</i> Mill. de 5 meses después de injerto y una planta en prefloración, bajo condiciones del municipio de Pasca, Cundinamarca.....	45
Gráfica 4. Diferencia en las tasas de CO ₂ liberado por las plántulas de 5 meses y plantas en prefloración, con los mismos PAR, bajo condiciones del municipio de Pasca, Cundinamarca.....	46
Gráfica 5. Comparación de los datos de evapotranspiración entre plántulas de <i>Persea americana</i> Mill. de 5 meses después de injerto, y plantas en prefloración, bajo condiciones del municipio de Pasca, Cundinamarca.....	47

Gráfica 6. Temperatura de la hoja y del ambiente (°c), en contraste con la transpiración, en plantas en prefloración de *Persea americana* Mill. bajo condiciones del municipio de Pasca, Cundinamarca.....**48**

Gráfica 7. Temperatura de la hoja y del ambiente (°c), en contraste con la transpiración, en plantas de 5 meses después de injerto (DDI), en el cultivo de *Persea americana* Mill. bajo condiciones del municipio de Pasca, Cundinamarca.....**49**

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

CO₂: dióxido de carbono

DDI: días después de injerto

IRGA: Infrared gases analyzer

m²: metro cuadrado

mm: milímetros

M.S.N.M: metros sobre el nivel del mar

°C: grados centígrados

μmol: micromol

FAO: Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

HR: humedad relativa

PAR: radiación fotosintéticamente activa

PFD: Flujo fotónico fotosintético

PCL: punto de compensación de luz

pH: potencial de hidrógeno

s: segundos

t: toneladas

RESUMEN

El bajo conocimiento del comportamiento fenológico y ecofisiológico de frutales con alto potencial de prospección como el aguacate 'Hass', es uno de los mayores limitantes para su óptima producción en el municipio de Pasca de la región del Sumapaz (Cundinamarca). En la presente investigación se realizó una caracterización del comportamiento fenológico y ecofisiológico, del aguacate (variedad 'Hass') en el municipio de Pasca (Cundinamarca), en estado de plántula. El estudio se llevó a cabo con plantas injertadas de la variedad 'Hass' sobre patrón criollo. Se estableció el desarrollo fenológico del cultivo para el estado de plántula, aplicando un modelo basado en la escala BBCH. Para la fenología, se llevaron plantas con 0 días después de injerto, y se tomaban registros a sus yemas cada 7 días, aproximadamente durante seis meses. Se realizó el seguimiento a 10 plantas, promediando el número de días a los cuales ocurría la diferenciación para desarrollar la escala BBCH durante el desarrollo vegetativo, en los cuales se definieron los estadios 0 (Brotación y desarrollo de la yema) con una duración de 105 días; el estadio número 1 (Desarrollo de las hojas) desde el día 110 al 152; estadio 2 (Formación de brotes laterales) desde el día 161 hasta el 180, y estadio 3 (Desarrollo del tallo principal) desde el día 187 hasta el día 201, momento en el cual se realizó la poda de formación. Adicionalmente se realizó un estudio ecofisiológico preliminar en el cual se estableció una curva de luz en plántulas de cinco meses y en plantas adultas en prefloración para determinar bajo diferentes radiaciones fotosintéticamente activas el intercambio gaseoso (Tasa fotosintética y tasa transpiratoria). Se determinó que las plántulas tienen una mayor tasa fotosintética con menor radiación ($44 \mu\text{moles fotones} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{sg}^{-1}$).

Palabras clave: escala BBCH, estadios vegetativos, tasa fotosintética, tasa transpiratoria.

ABSTRACT

The low knowledge of the behaviour of phenological and ecophysiological of fruit trees with high potential for exploration as the 'Hass' Avocado, is one of the biggest constraints to their optimal production in the municipality of Pasca (Cundinamarca) Sumapaz region. In the present investigation was carried out a characterization of behavior phenological and ecophysiological, of the avocado ('Hass' variety) in the municipality of Pasca (Cundinamarca), at seedling stage. The study was conducted with grafted plants of the variety 'Hass' on Creole pattern. Established the development of cultivation for the seedling stage, applying a model based on the BBCH-scale. To phenology, plant were 0 days after grafting, and records were taken at your fingertips every 7 days, approximately six months. Was the follow up to 10 plants, by averaging the number of days the differentiation occurred which to develop the BBCH scale during vegetative development, which defined stages 0 (sprouting and Bud development) with a length of 105 days; stage number 1 (development of the leaves) from the 152 day 110; stage 2 (formation of side shoots) from day 161 to 180, and stage 3 (development of the main stem) from the day 187 to 201, moment in which the pruning took place. In addition is a preliminary ecophysiological study which was established in a light curve in five months seedlings and adult plants at flowering to determine gas exchange under different photosynthetically active radiation (photosynthetic rate and rate transpiratoria). It was determined that the seedlings have a higher photosynthetic rate with less radiation ($44 \mu\text{mol photons} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{sg}^{-1}$).

Key words: scale BBCH, vegetative stages, photosynthetic rate, sweating rate.

1. INTRODUCCIÓN

El aguacate (*Persea Americana Mill.*) es nativo de América Central y hoy en día es un cultivo de importancia económica en más de 70 países, entre ellos México, Israel, Estados Unidos, Chile y Sudáfrica. El continente Americano y el Caribe concentran cerca del 65% de la producción mundial de aguacate (Can-Alonzo *et al.*, 2005), siendo México el principal productor y exportador con cerca de 1.124.565 t anuales en 2008, que representa el 40% de la producción mundial (FAO, 2011), donde el éxito de las aéreas sembradas y su alta competitividad se atribuyen, en gran medida, a la existencia de un respaldo tecnológico que provee al agricultor prácticas de manejo agronómico desarrolladas con base en el conocimiento del comportamiento ecofisiológico de la especie a nivel local. (Ríos y Tafur, 2003).

De acuerdo con estadísticas del Ministerio de Agricultura, la producción de aguacate en Colombia se encuentra altamente dispersa, desde el punto de vista geográfico, pues el cultivo está presente en 15 departamentos del país. El 29,6% del área se concentra en el departamento de Bolívar, al que le sigue Santander y Tolima con el 16,8% cada uno. Este cultivo representa el 2% del área frutícola cosechada nacional, así como el 2% de la producción de todo el sector. Aunque su área cosechada creció un 6% y su producción 10% en el periodo 1992-2000, el rendimiento ha decrecido de manera sostenida desde 1997, a una tasa de - 8%. En Colombia, el aguacate puede crecer desde el nivel del mar hasta los 2.500 M.S.N.M, en zonas de cordillera. (Bernal y Díaz, 2008).

Actualmente el aguacate se produce en casi todos los países de climas cálido y templado, aunque sus mayores cultivos están en los países latinoamericanos,

dentro de los que se destacan México como primer productor mundial, Chile, Brasil, Perú y república Dominicana. (Bernal y Díaz, 2008).

La fenología es la correlación entre el clima en el cuál se encuentre el cultivo, y la serie de cadenas sucesivas que se presentan bilógicamente (Whiley *et al.*, 1988). Las plantas frutales, como lo afirma Cossio *et al.* quien referencia a Wolstenholme y Whiley (1989) en el 2008, pasan por diversas fases de desarrollo, como lo son iniciación y deferenciación floral, flujos de crecimiento vegetativo, amarre y caída del fruto, crecimiento y desarrollo del fruto, crecimiento de raíces entre otras. Generalmente en los principales países productores de aguacate, el cultivar '*Hass*' presenta uno o dos etapas vegetativas y una sola etapa floral durante el año (Thorp *et al.*, 1993). En Sudamérica, en Chile y Perú, los arboles presentan dos etapas vegetativas, intercaladas con crecimiento radical, y una sola etapa de floración (Mena-Volker, 2004; Dixon *et al.*, 2008). La escala fenológica se ve directamente afectada por la temperatura ambiental. El periodo de flor a fruto, se torna más largo a medida que la temperatura disminuye, necesitando un rango entre 14 y 24°C de temperatura media anual (Sistema de Inteligencia de Mercados Agropecuarios, 2003).

El aguacate es una planta C3, comportándose como una planta de días cortos, las ramas autosombreadas son improductivas, por lo cual son importantes las prácticas culturales y agronómicas que se deben dar a las plantaciones como poda y densidad de siembra. La radiación directa es altamente benéfica, aunque las ramas primarias son susceptibles a las quemaduras (Sistema de Inteligencia de Mercados Agropecuarios, 2003)

Esta información se podrá utilizar como base para el manejo y establecimiento adecuado del cultivo junto con otros parámetros que serán tenidos en cuenta en el macroproyecto del cual hace parte el presente trabajo, proyecto "Ecofisiología, nutrición mineral y manejo integrado de plagas y enfermedades en aguacate, curuba, gulupa y tomate de árbol orientados hacia su manejo agronómico, como

materia prima para el desarrollo de productos de interés comercial” el cual es un componente de la Red Nacional para la Bioprospección de Frutas Tropicales – RIFRUTBIO, (código 550854332012), financiada por Colciencias bajo el CONTRATO RC No. 0459-2013, y desarrollado por la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad de Cartagena, la Universidad de Nariño y la Universidad de Cundinamarca.

2. OBJETIVOS

- 2.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar el comportamiento fenológico y ecofisiológico del cultivo de Aguacate variedad 'Hass' (*Persea Americana Mill.*) en fase vegetativa, bajo condiciones de campo en el municipio de Pasca, Cundinamarca.

- 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Describir el desarrollo fenológico del cultivo de aguacate variedad 'Hass' en sus estadios vegetativos, en las condiciones agroecológicas del municipio de Pasca (Cundinamarca).

Establecer el comportamiento ecofisiológico preliminar del cultivo de aguacate teniendo en cuenta las variables fotosintéticas tasa de asimilación de CO₂, transpiración, en las condiciones ambientales del municipio de Pasca (vereda San Pablo).

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. AGUACATE (*Persea americana* Mill.)

3.1.1. Clasificación y Descripción botánica (FHIA, 2008)

- . **Reino:** Vegetal
- . **División:** Magnoliophyta
- . **Subdivisión:** Angiospermae
- . **Clase:** Magnoliopsida
- . **Subclase:** Dipétala
- . **Orden:** Laurales
- . **Familia:** Lauraceae
- . **Género:** *Persea*
- . **Especie:** *Persea americana* Mill.

El aguacate pertenece a la familia de las Lauráceas, que está formada por 52 géneros y cerca de 3.500 especies; esta es una de las familias más primitivas de las Magnoliopsida. En esta familia hay especies de gran importancia económica, productoras de aceites esenciales, como el alcanfor (*Cinnamomun camphora*) y de especias como la canela (*Cinnamomun zeylanicum ness*) y maderas finas. (Bernal y Díaz, 2008).

El género *Persea* está formado por 150 especies distribuidas, en las regiones tropicales y subtropicales, especialmente en Asia, islas Canarias y América, donde existen 80 especies. El género está formado por árboles de hojas coriáceas y aromáticas; inflorescencias axilares o subterminales, dispuestas en panículas corimbosas o racimosas; flores pediceladas o sésiles, hermafroditas, con ovario

globoso y subgloboso, estilo delgado, estigma triangular peldado; frutos en bayas globosas o elípticas. (Bernal, 2008).

3.1.2. Clasificación ecológica

Ésta clasificación se deriva en 3 diferentes razas, las cuales engloban la mayoría de especies de aguacate, según el origen y las características físicas (Amórtegui, 2001). Las tres razas son:

- **La raza mexicana (M):** árboles de porte alto, corteza delgada, con un gran número de ramas delgadas. Su olor a anís es característico de ésta raza. Son plantas adaptadas a condiciones de mucha altitud sobre el nivel del mar (zonas frías). La maduración del fruto es 7 meses después de la floración. Las variedades más sobresalientes de esta raza son 'Fuerte', 'Zutano' y 'Duque'.
- **La raza guatemalteca (G):** son plantas de un porte bastante enorme, con hojas muy grandes. Ésta raza casi no produce chupones, pero no se recomienda como patrón por su alternancia, debido a la gran cantidad de frutos que produce. Son variedades de clima medio (700 – 1400 msnm). La maduración de los frutos son en un periodo de diez meses después de la floración. Las variedades más comunes son "Hass", 'Naval', 'Thompson' y 'Booth'.
- **La raza antillana (A):** Es la variedad más común en el territorio Colombiano. Se cultiva a alturas sobre el nivel del mar cero, hasta 1200 metros. Esta raza es muy resistente a condiciones altas de salinidad, y dependiendo de las condiciones ambientales, sus frutos maduran entre los cinco y ocho meses después de floración. Sus variedades más comunes son 'Lorena', 'Santana', 'Pollock' y 'Paterson'.

3.1.3. CONDICIONES DEL CULTIVO

De este frutal se generaron tres razas, con diferente rango de adaptación, para lo cual se tienen los siguientes requerimientos:

TEMPERATURA: La temperatura es el principal factor de la variabilidad en la producción de aguacate. Según Campos (2012), en su trabajo de investigación, referencia a Lomas en 1988, durante la floración y cuajado del fruto, la presencia de heladas y bajos promedios de temperatura, son los factores más limitantes en éstas etapas, además de las inesperadas fluctuaciones de calor en el desarrollo del cultivo. La temperatura en la zona tropical está determinada por la altura sobre el nivel del mar; mientras en la zona subtropical está influenciada, además, por la época del año y posición de la tierra con respecto al sol, por lo cual hay dos épocas en el año, una de temperaturas altas y otra de temperaturas bajas. De las tres razas, la *Persea americana* var. *drymifolia*, conocida como raza Mexicana, se adapta a climas muy fríos, soportando temperaturas de hasta 2,2°C, teniendo como temperaturas óptimas de 5 a 17°C. *Persea nubigena* var. *guatemalensis*, conocida como la raza Guatemalteca, se adapta a condiciones subtropicales, con temperaturas óptimas de 4 a 19 °C, mientras la raza Antillana *Persea americana* var. *Americana*, se adapta a temperaturas de 18 a 26°C. (Bernal y Díaz, 2008).

Salazar *et al.* (2005), mencionan que la temperatura influye de forma notoria en la duración de la planta en cada uno de sus estados fenológicos, alargando o disminuyendo la cantidad de días, el periodo de cosecha.

HUMEDAD RELATIVA: El aguacatero se adapta a climas húmedos y semi-húmedos, con marcadas diferencias entre las estaciones húmedas y secas. Aunque se adapta bien a condiciones de humedad atmosférica bajas, el orden de adaptación de menor a mayor humedad relativa para las tres razas es: Mexicana, Guatemalteca y Antillana. (Bernal y Díaz, 2008).

PRECIPITACIÓN: Los requerimientos difieren para las tres razas así: la raza Mexicana requiere precipitaciones por encima de los 1.500 mm/anuales; para la raza Guatemalteca por debajo de los 1.500 mm/año y para la raza Antillana los requerimientos están por debajo de los 1.000 mm/año. El aguacate tiene una amplia adaptación a la pluviosidad; se cultiva sin riego en zonas con precipitaciones que varían entre 665 mm y más de 2.000 mm/año. (Bernal y Díaz, 2008).

El agua, actualmente es un recurso natural en escasos, y representa uno de los factores más limitantes en la producción de este cultivo, sobre todo en los climas cálidos y húmedos (Tapia *et al.*, 2008)

El período más crítico en el que la planta debe disponer de suficiente agua comprende desde el cuajado hasta la recolección. Es a su vez muy sensible al encharcamiento, que produce asfixia radicular, lo cual además, favorece el desarrollo del hongo *Phytophthora cinamomni* rand., causante de la pudrición de raíces. La floración del aguacate a diferencia de la de otros frutales, no es perjudicada por la lluvia, a menos que esta persista por un mes o más. (Bernal y Díaz, 2008).

VIENTO: Este es un factor muy importante, ya que las ramas del aguacate son muy frágiles y se quiebran fácilmente; por lo tanto, se tienen que establecer cortinas rompe-vientos. El viento no debe ser constante, ni alcanzar velocidades por encima de los 20 km/hora, ya que esto provoca la ruptura de ramas, caída de flores y frutos y quemazón de las hojas y brotes del árbol; la deshidratación impide la fecundación y formación de los frutos. (Bernal y Díaz, 2008).

ALTITUD: Las tres razas se adaptan a diferentes rangos altitudinales así: La raza Mexicana se adapta a alturas por encima de los 2.000 m.s.n.m., lo que la ubica en el piso térmico frío, para la raza Gutemalteca, el rango altitudinal de adaptación es de 800 hasta 2.400 M.S.N.M, pudiéndose establecer en los pisos térmicos frío moderado a medio; para la raza Antillana el rango de adaptación va de 0 hasta 800 m.s.n.m., lo que la sitúa en el piso térmico cálido. Los híbridos entre estas

razas tienen un mayor rango de adaptación. (Bernal y Díaz, 2008). Según una publicación del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INNFAP) y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) en 2009, Ibar (1983) y Benacchio (1982) coinciden en que la raza Antillana, produce en altitudes entre 0 y 500 M.S.N.M, y Guatemalteca, producen en altitudes entre los 500 y los 1000 M.S.N.M, pero difieren en las altitudes de la raza mexicana, donde el primero afirma que produce entre los 1000 y 1900 M.S.N.M, y el otro autor entre los 1000 y los 2500 M.S.N.M.

REQUERIMIENTOS EDÁFICOS: Este frutal, como ningún otro, requiere suelos muy bien drenados, ya que sus raíces son altamente susceptibles a los problemas radiculares; suelos con profundidad efectiva y nivel freático superiores a 1 m, con texturas livianas que favorezcan la formación de un sistema radicular denso y muy ramificado. (Bernal y Díaz, 2008). Además, Alcántar en el 2009, dice que, por ejemplo en México, los suelos volcánicos, son una gran ayuda para la eliminación de agua y excesos de humedad, además de prevenir las enfermedades radiculares, puesto que eliminan las bases y nutrimentos fuera de la superficie radical.

El aguacate se adapta a una gran gama de suelos, desde los arenosos hasta los arcillosos, siempre y cuando posean un buen drenaje interno, factor que es de vital importancia. Por esto, es aconsejable disponer de al menos 0,8 a 1,0 m de suelo de buena estructura sobre un subsuelo poroso, lo que garantiza la larga vida del árbol. En general, se considera como un pH óptimo el rango comprendido entre 5,5 y 6,5, originándose deficiencias fundamentales de hierro y zinc en suelos de reacción alcalina. (Bernal y Díaz, 2008). Por otro lado, Coria (2003), afirma que el pH ideal para las plantas de aguacate debe ser ligeramente ácido entre 5,5 y 7,0, para que se lleve a cabo de manera más fácil la absorción de nutrientes para que el desarrollo radicular se lleve a cabo de manera eficiente, debido a que los altos índices de alcalinidad, afectan la absorción de calcio y sodio.

Es conveniente que el contenido de materia orgánica sea óptimo (de 2,5 a 5%) para una buena estructura que permita la porosidad, además de la entrada de aire y agua al suelo (Alfonso, 2008)

FRANJA LATITUDINAL: Pese a su origen tropical, existen cultivos de aguacate hasta los 43° de latitud norte y sur. Esta amplia adaptación puede explicarse debido a su gran diversidad genética, marcada a grandes rangos por las tres razas frutícolas: la Antillana, que prefiere zonas ecuatoriales y cuya utilidad en los subtrópicos queda reducida a su empleo como patrón, en condiciones de elevada salinidad, la Mexicana que puede resistir hasta 7° C por escasas horas y la Guatemalteca, intermedia entre ambas. La casi totalidad de las variedades comerciales de los subtrópicos son Mexicanas, Guatemaltecas o mejor aún híbridos de Mexicanas por Guatemaltecas. (Bernal y Díaz, 2008).

3.1.4. DESARROLLO Y FISIOLOGÍA

El aguacate es una planta de débil dominancia apical, lo que facilita el desarrollo de las yemas axilares. La relación entre la cantidad de hojas y frutos es un aspecto importante en el proceso de la fructificación.

Las hojas productoras, por medio de la fotosíntesis, las sustancias hidrocarbonadas que se trasladarán al fruto en el proceso de engrosamiento del mismo. La relación de hojas sanas por fruto de aguacate es de 50 hojas adultas. El aguacate es muy exigente en este aspecto, factor que incide en el nivel de la poda.

FASE VEGETATIVA (Amórtegui, 2001).

En esta fase, la planta desarrolla una gran área foliar y consta de cinco etapas:

Etapas 1. Corresponde al período vegetativo de una rama que ha terminado su crecimiento. La yema terminal es alargada y delgada; en las axilas de las hojas, las cuales son de formación reciente, se observa la emisión de yemas axilares.

Etapa 2. Las yemas terminales finalizan su desarrollo y empiezan a crecer o a hincharse, para dar paso a la separación de las escamas que la cubren.

Etapa 3. En esta fase las yemas inician su desarrollo, se hinchan y las escamas que recubren la yema comienzan a desprenderse en su totalidad; posteriormente las yemas toman un color amarillo.

El tamaño de la base de las yemas es precisamente el mismo que en el estado anterior, pero se da una mayor separación de las escamas.

Etapa 4. La yema terminal se transforma en un brote juvenil, cuyo color está entre rojo oscuro o rojo pálido; sin embargo, las hojas no alcanzan todavía su total desarrollo.

Etapa 5. Finaliza la formación de las hojas. Las hojas alcanzan su total desarrollo pero aún conservan la coloración de la etapa anterior. El limbo en sus actividades fotosintéticas, regulación estomática, etc., no es todavía completamente funcional.

Al finalizar la maduración de las hojas, las cuales adquieren un color verde claro, se repiten nuevamente las etapas de desarrollo.

Ramificación

Está en función del vigor de la planta; coincide con el período de alargamiento, se establece una competencia entre las yemas apicales y axilares, lo que trae como resultado la aparición de nuevas ramas y la formación de la copa o dosel, con un crecimiento horizontal y vertical. (Bernal y Díaz, 2008).

3.1.5. AGUACATE VAR. 'HASS' EN EL TERRITORIO COLOMBIANO

Alrededor del mundo se producen 300 millones de toneladas de aguacate al año. Colombia en el 2010, fue el quinto mayor productor mundial de aguacate, de

acuerdo al documento expuesto por Yabrudy, del banco de la república, Cartagena (2012) y al 2012, fue el sexto país con una producción de 300 mil toneladas, según lo afirma Guarín (2011). El auge del cultivo de aguacate ha aumentado en el territorio nacional, con siembras en todas las regiones, empezando desde las sabanas de Bolívar, hasta las valles del Cauca y Magdalena. Los departamentos que encabezan la producción de aguacate son Bolívar y Santander. Antioquia es una de los tantos impulsores del cultivo de la variedad 'Hass', invirtiendo más de 14.000 millones de pesos de sus regalías, en la expansión del área cultivada, beneficiando a más de 2 mil cultivadores y a la oferta exportable, debido a que es la variedad ya consolidada a nivel nacional e internacional, como lo reporta la secretaria de agricultura y desarrollo rural en el 2014. El consumo de aguacate 'Hass' tiene una alta demanda en el mundo. "De 100 aguacates que se consumen en el mundo, 90 son 'Hass'. En Estados Unidos el 98% de los aguacates consumidos son 'Hass', de manera que ese es el producto dominante", aseguró Jairo Humberto Patiño Gómez, secretario de Agricultura y Desarrollo Rural, para este informe de la secretaría.

En Colombia el consumo per cápita del aguacate es de 4 kilos al año, mientras que en México el promedio es de 10 kilos/año, en Chile 6 kilos/año y en Costa Rica de 5 kilos/año.

La producción de aguacate en el territorio nacional ha ido en expansión en los últimos años, haciendo que país se interesa en este producto, por su pedido en mercados internacionales; pero el campesinado nacional ha dejado de lado este cultivo por el mal pago que reciben. Lo menciona Yabrudy (2012), "el campesino no encuentra atractivo ganar 20.000 pesos levantándose a las 4 de la mañana y trabajando más de 12 horas, cuando esa misma remuneración recibe trabajando en un mototaxi, durante 4 horas...". Esto demuestra el abandono y el olvido por parte del gobierno al sector rural. Actualmente se trata de remediar esto, con inversiones al sector aguacatero, colocando a Antioquia como un claro ejemplo, expuesto por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (Antioquia), donde

actualmente se están invirtiendo 14.000 millones para expandir los cultivos de aguacate var. 'Hass', y beneficiar a más de 2.000 cultivadores de la zona, quienes tendrán entre 1 y 2,5 hectáreas para cultivar, además de ser orientados en áreas como fisiología, fenología, control biológico, entre otras, dicho por Sergio Velásquez, director de Comercialización de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Este dinero será dirigido al área de tecnología, productividad y comercialización de la fruta.

La unión europea y Norteamérica, cada vez son más atraídos por el aguacate colombiano, exportando 24 toneladas en 2009, pasando a 64 en el año siguiente (Guarín, 2011).

3.2. CARACTERIZACIÓN FENOLÓGICA

La escala BBCH es una técnica de decodificación la cual sirve para la identificación de los estados fenológicos de crecimiento de las plantas ya sean mono o dicotiledóneas, el código decimal se divide principalmente entre los estados de crecimiento principales y secundarios, está basado en el bien conocido código desarrollado por Zadoks *et al.* (1984) con la intención de darle un mayor uso a las claves fenológicas.

El ciclo completo de desarrollo de las plantas se subdivide en diez fases principales de desarrollo claramente distinguibles. Estos estadios principales de crecimiento, son descritos usando números del 0 al 9 en orden ascendente, iniciándose con la germinación o brotación (estadio 0), según la planta, y finalizando con la muerte o el inicio de la latencia (estadio 9). Al desarrollo vegetativo se le asignan dos macro estadios, correspondientes al desarrollo de las hojas (estadio 1) y de los brotes (estadio 3), éste último compartido con el desarrollo de las flores (estadio 5). La floración (estadio 6) y el desarrollo del fruto (estadio 7) completan el código. Los estadios secundarios también se numeran del 0 al 9, correspondiéndose con valores ordinales o porcentuales del desarrollo. Así, al 10% de flores en anthesis se le asigna el valor 1 del estadio principal 6 (floración)

y vendrá definido, por tanto, como 61. Del mismo modo, el valor 5 dentro del estadio principal 7 (desarrollo del fruto) indica que el fruto ha alcanzado el 50% de su tamaño final y estará definido, por tanto, como 75. En otros casos, los valores de estadios secundarios indican estados evolutivos distintos dentro de un mismo estadio fenológico principal. Así, dentro del estadio de floración, se identifican el inicio de la antesis (60), el inicio de la caída de pétalos (65), etc. (Meier, 2001).

Los principios básicos de la escala (Tomado de Meier, 2001)

- La escala general es la base para todas las especies, elaborándose las escalas individuales a partir de ella. La escala general puede ser aplicada en aquellas especies para las cuales no existe una escala individual.
- El mismo estadio fenológico de las diversas especies deberá tener el mismo código
- Para cada código, la descripción es conocida, y para algunos importantes estadios, se incluyen dibujos.
- Para la descripción de los estadios fenológicos de desarrollo, se utilizaron características externas claramente reconocibles.
- Como regla, solamente se tomará en consideración el desarrollo del tallo principal.
- La evaluación se hace individualmente con base en algunas plantas representativas del conjunto de la especie.
- Para indicar los tamaños específicos de las especies y/o variedades durante su desarrollo, se usan los tamaños relativos en relación con los tamaños finales a esperar.
- Los estadios secundarios 0 a 9 corresponden al respectivo número ordinal o valor porcentual. Por ejemplo el estadio 3 puede representar: 3a hoja verdadera, tercer brote, tercer nudo, 30% de la longitud final típica de la especie o 30% de las flores abiertas.
- Tratamientos de post-cosecha o almacenamiento se incluyen bajo el código 99.

- Tratamientos de la semilla anteriores a la siembra se ubican bajo el código 00.

Según la especie de la planta pueden producirse cambios en el proceso de desarrollo, o también puede suceder que determinados estadios no tengan lugar. Los estadios principales de crecimiento no necesariamente ocurren siempre en la estricta secuencia explicada por el orden ascendente de los números, y pueden, ocasionalmente, también desarrollarse en forma paralela.

Tabla 1. Estadios principales de crecimiento (Tomado de Meier, 2001).

ESTADIO	DESCRIPCIÓN
0	Germinación, brotación, desarrollo de la yema
1	Desarrollo de las hojas (brote o tallo principal)
2	Formación de brotes laterales / macollamiento (ahijamiento)
3	Crecimiento longitudinal del tallo o crecimiento en roseta, desarrollo de brotes (retoños)/ encañado (tallo principal)
4	Desarrollo de las partes vegetativas cosechables de la planta o de órganos vegetativos de propagación / embuchamiento
5	Emergencia de la inflorescencia (tallo principal) / espigamiento
6	Floración (tallo principal)
7	Desarrollo del fruto
8	Coloración o maduración de frutos y semillas
9	Senescencia, comienzo de la dormancia

Los estadios principales de crecimiento, no son adecuados para describir una aplicación exacta, o definir fechas de evaluación, porque ellos describen tiempos amplios en el curso del desarrollo de la planta. (Meier, 2001).

3.3. COMPORTAMIENTO FOTOSINTETICO DE LAS PLANTAS

La fotosíntesis es uno de los procesos claves en las plantas que determinan la productividad de los cultivos. Algunas prácticas de manejo que no son las adecuadas o también por condiciones ambientales adversas pueden conllevar a disminuir la productividad de un cultivo. Factores ambientales como la temperatura, la concentración de CO₂ atmosférico, la luz, no solo afectan la fotosíntesis y la respiración, sino que también tiene repercusiones sobre la distribución espacial y temporal de los carbohidratos en los distintos órganos (Schaffer y Whiley, 2002).

En el cultivo de aguacate “Hass” en la región de Pasca, Cundinamarca, una gran limitante del proceso fotosintético, es la disponibilidad de radiación fotosintéticamente activa que maneja la planta en las diferentes partes del dosel, debido a su alta vigorosidad y densidad de los flujos de crecimiento vegetativo (Romero, 2012), por el mal manejo cultural que se le dan a las plantas, que resulta en arboles de gran porte y altos niveles de sombreamiento; de la misma manera, esto debido a que en la región se cultiva en sociedad; es decir, al momento de sembrar las plántulas de aguacate, se hace con cultivos como yuca, plátano, café, etc.

Otra limitante, es que esta región posee características agroclimáticas de alta nubosidad.

TASA FOTOSINTÉTICA (CURVAS DE LUZ)

La luz es un factor limitante en la respuesta fotosintética de las plantas. Kok (1949) encontró una relación directa y definida que explica la relación entre la fotosíntesis y la respiración.

La cuantificación de la tasa de fijación de CO₂ por medio del flujo constante de luz, en hojas enteras y sanas, permite la construcción de curvas de luz, las cuales

representan la respuesta fotosintética de las plantas. Bajo condiciones de completa oscuridad, las plantas no realizan la acumulación fotosintética de Carbono, liberando CO₂, por procesos naturales de respiración, lo que atribuye los valores negativos a la tasa fotosintética. En la medida que la intensidad de luz aumenta, la tasa de fotosíntesis neta se incrementa hasta igualarse con el CO₂ liberado por la respiración mitocondrial. El momento en el cual la tasa de incorporación de CO₂ es igual al de su liberación se denomina Punto de Compensación de Luz (PCL) (Mejía, 2014). Por lo general, las plantas que requieren radiación solar directa presentan un PCL entre 10 y 20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, y las plantas que requieren radiación solar indirecta o plantas que se cultivan bajo sombrío, entre 1 y 5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.

El intercambio de gases se mide por un sistema portable para fotosíntesis en cuya consola generalmente vienen incluidos diferentes sensores para la medición de la tasa transpiratoria, temperatura foliar, humedad relativa, radiación fotosintéticamente activa, flujo de aire a través del sistema y la concentración de carbono interno. La tasa de transpiración se mide a partir de sensores de humedad, mientras la tasa fotosintética a partir de un sistema de análisis de gases infrarrojo. Esta se basa en la propiedad del CO₂ de absorber la energía en la región infrarroja en una proporción relacionada a la concentración del gas (Melgarejo, 2010).

La ecofisiología vegetal es el estudio referente al grado de adaptación que pueda tener o no, una o varias especie, a distintos ambientes donde se vaya a introducir, generando rangos límites y óptimos para su normal desarrollo (Melgarejo, 2010).

4. METODOLOGÍA

4.1. MATERIALES

4.1.1 Material vegetal

Se utilizaron 120 plántulas para sembrar en campo de las cuales 10 fueron plantas de 0 días de injertos de aguacate variedad 'Hass', sobre patrón criollo para la construcción de la escala BBCH, y plantas de 1 mes después de injerto, para el establecimiento en campo, y tomar datos de fisiología. Se realizó el acondicionamiento de una zona en la finca El Pedregal, en el municipio de Pasca, Cundinamarca. Se utilizó polisombra de 50% de traspaso de luz, para la lenta adaptación de las plántulas a las condiciones climáticas de la zona. 5 meses después fueron llevadas a campo, donde se sembrarían definitivamente, y donde se llevó a cabo la investigación del aspecto fisiológico.

4.1.2 Equipos

Para estudios ecofisiológicos: Estación climática (Coltein EM29212) facilitada por la Universidad Nacional de Colombia, IRGA (TPS II) facilitado por la Universidad de Cundinamarca

4.1.3 Insumos y material de campo

Para la apertura de las calicatas se utilizaron palas y palines, cal dolomita para corrección de las características del suelo, y piedras que se colocaron en el fondo de las mismas para evitar encharcamientos de las plantas y la reproducción del hongo fitopatógeno *Phytophthora cinnamomi*. Acondicionador orgánico para el suelo: Solaid® (Nitrogeno, 1.1%).

4.2. UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS AGROCLIMATOLÓGICAS:

Las plantas de aguacate que se evaluarán ecofisiológica y fenológicamente están ubicadas en una finca particular ubicada en el municipio de Pasca, vereda San Pablo con coordenadas $4^{\circ}18'43,16''$ N y $74^{\circ}19'59.97''$ O, a una altitud de 1901 msnm aproximadamente, con un clima frío moderado. Se encuentra colindando con el río Cuja, como se evidencia en la figura 1, mostrando este encuentro al suroccidente (2).

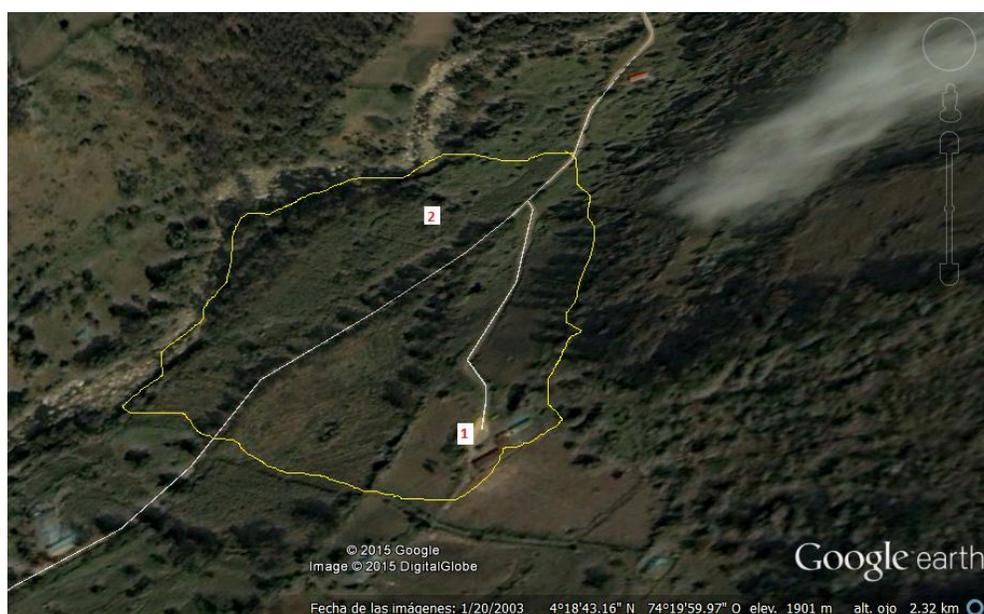


Figura 1: Ubicación geográfica de la finca El Pedregal, vereda San Pablo, en el municipio de Pasca, Cundinamarca. (Fuente: Google Earth®)



Figura 2: Fotografía panorámica de la finca El Pedregal, ubicada en la vereda San Pablo, en el municipio de Pasca, Cundinamarca)

En la figura 2, se observa la vegetación presente en la finca, característica de climas fríos. Estos suelos, usualmente son usados para crianza de ganado lechero, por la gran producción de pasto y especies forrajeras.

Tabla 2. Datos agroclimáticos de la Vereda San Pablo (Pasca).

FECHA	T (°C) Promedio	HR (%) Promedio	Lluvia (mm) Promedio	PAR ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)
15/Oct/14 - 15/Nov/14	17,06	89,28	0,049	236,70
16/Nov/14 - 15/Dic/14	16,94	89,27	0,018	201,00
16/Dic/14 - 15/Ene/15	17,51	78,42	0,012	228,93
16/Ene/15 - 15/Feb/15	16,99	88,20	0,040	172,64

16/Feb/15 - 15/Mar/15	17,92	83,10	0,022	235,37
16/Mar/15 - 15/Abr/15	17,34	89,59	0,057	183,58
16/Abr/15 - 15/May/15	17,93	85,34	0,013	224,52
16/May/15 - 15/jun/15	17,42	88,41	0,017	171,26

Como se puede afirmar en la tabla 2, la temperatura y la humedad en la finca son muy estables. Este estudio se hizo en los meses de la fase de campo, del estudio de la presente investigación.

4.3. ESTABLECIMIENTO Y MANEJO DEL CULTIVO

4.3.1. Etapa de almacigo (plantas recién injertadas)

La propagación usada en este caso, fue por injerto, usando como patrón el aguacate de variedad Criollo, y el injerto, variedad 'Hass'. Las plantas injertadas fueron obtenidas de un vivero certificado por el ICA (Manos Unidas – Fusagasugá). Las plantas injertadas fueron trasladadas al lugar donde posteriormente se sembrarían (vereda San Pablo, Pasca), para su acondicionamiento. Se dispuso de un área en la finca, con polisombra del 50% en el cual se hizo el mantenimiento y seguimiento de su desarrollo hasta el trasplante definitivo en campo. Un vez brotaron las primeras yemas se eliminaron las hojas del portainjerto.

Se mantuvieron condiciones semi- controladas para darle condiciones de adaptación lenta a las plántulas antes de su trasplante.



Figura 3: plántulas de aguacate en fase de almácigo, bajo polisombra del 50%, en el vivero Manos Unidas, en el municipio de Fusagasugá, Cundinamarca.

El vivero Manos Unidas, se encuentra ubicado en el municipio de Fusagasugá, Cundinamarca. Está certificado por el ICA, para la producción, propagación y comercialización de plántulas de aguacate (Figura 3). Asociación Vivero Manos Unidas, Unidad Productiva que surge del proyecto de formación “Emprendedor en producción y comercialización de forrajes verdes hidropónicos alternativos”, curso complementario ofertado por el programa Jóvenes Rurales Emprendedores –JRE, en el año 2011.

4.3.2. Etapa en campo abierto

Se realizó la siembra de 120 plantas de aguacate, con 5 meses después de ser injertadas. Se hizo corrección del pH del suelo, con cal dolomita. El suelo de la finca, era muy susceptible a encharcamiento, por lo que se le hizo drenaje con piedras al fondo de las calicatas.



Figura 4: siembra de una plántula de aguacate en la finca El Pedregal, vereda San Pablo, en el municipio de Pasca, Cundinamarca.

En la figura 4, se observa el procedimiento para realizar la siembra de la plántula. Se debe realizar un corte en la base de bolsa contenedora, para evitar el entorchamiento de la raíz.



Figura 5: calicata lista para llevar a cabo la siembra de la plántula de aguacate.

Se deben colocar piedras en fondo de la calicata, las cuales permitirán el drenaje del agua, evitando encharcamiento y posterior pudrición radical, por propagación de enfermedades fungosas (figura 5).

4.4. EVALUACIÓN FENOLÓGICA POR MEDIO DE ESCALA BBCH

Se llevaron a cabo observaciones constantes a las plántulas de Aguacate a partir del día de injerto. El estadio 0 correspondió al hinchamiento de las yemas en el injerto. Se llevó a cabo hasta el tercer estadio, debido a que, el cuarto estadio, hace referencia a partes vegetativas cosechables y de propagación, que en este caso no aplica para el experimento; y el quinto estadio, es la descripción del inicio de la fase reproductiva (inflorescencias), lo que, en este caso no se trata, al ser un estudio basado únicamente en la fase vegetativa. Las observaciones y toma de datos se realizaron cada tres días durante el estadio 0 y 1 y posteriormente cada 7 días hasta el trasplante a campo abierto (figura 8) y después cada 15 días.

4.5. EVALUACIÓN FOTOSINTÉTICA Y ECOFISIOLÓGICA EN ESTADO VEGETATIVO JUVENIL

Se realizó una curva de luz preliminar comparativa entre planta adulta en prefloración y plántula de 7 meses de edad (5 meses después de injerto). Las medidas de intercambio gaseoso se realizaron con un IRGA (analizador de gases de infrarrojo) TPS II. Se realizaron evaluaciones de: tasa fotosintética, tasa transpiratoria, temperatura del aire y temperatura de la hoja, en un rango de radiación fotosintéticamente activa PAR que contemplo: 0, 44, 227, 301, 396, 616, 1012, 2199, 2815 $\mu\text{moles fotones}\cdot\text{m}^2\cdot\text{sg}^{-1}$. (Tabla 3), según Melgarejo (2010) y Cotrino y Niño (2015).

La metodología empleada para hallar el PAR (Radiación fotosintéticamente activa) saturante fue la utilizada por Melgarejo, 2010, y se transcribe a continuación

“... En una hoja Excel se organizan los datos en columnas... A partir de estos datos se determinan el modelo estadístico, que mejor se ajuste y que permita explicar la realidad biológica del organismo evaluado, para ella se probarán los

siguientes modelos: i) el hiperbólico rectangular o modelo Michaelis Menten (Givnish et ál. 2004); y ii) el de Mitscherlich (Aleric y Kirkman, 2005)

- i) El modelo hiperbólico de Michaelis Menten se basa en la ecuación.

$$A = \frac{A_{sat} PFD}{K + PFD} - R_d$$

Donde:

A= Fotosíntesis

$A_{sat} = a$ = Tasa fotosintética a saturación por luz (Amax)

K= b= Constante de saturación por luz (definida como ½ de la PFD saturante)

$R_d = c$ = Tasa de transpiración

$$P_{cl} (\text{Punto de compensación lumínico}) = \frac{b \times c}{a - c}$$

La pendiente de la porción lineal de la curva de respuesta a la luz usando los primeros tres o cuatro puntos) se estima usando una regresión lineal, y el rendimiento cuántico (Ψ) es calculado como la pendiente de la regresión lineal.

Pasos para aplicar el modelo hiperbólico de Michaelis Menten:

Para establecer el modelo de la A, PFD en campo se pueden usar varios software estadísticos, para el caso de estudio se describen los pasos usando el paquete estadístico Statistix 9,0.

- I. Los datos originales son introducidos en una hoja de Excel donde la primera columna es densidad de flujo fotónico fotosintético (PFD) y la segunda es la tasa de fotosíntesis (A)

- II. En el paquete Statistix 9,0 en la página principal pegar la tabla de datos, con esta matriz seleccionar las pestañas Statistix-non linear models y luego non linear regression.
- III. En esta ventana introducir con el icono de flecha las Dependent Variable seleccionando tasa de fotosíntesis; seleccionar en la ventana de Model specification Use specified model y en el recuadro nonlinear regression model digitar la ecuación del modelo hiperbólico: $c+a \times \text{PFD}/(b+\text{PFD})$
- IV. En la ventana Maximum Iterations escribir el número 100 en el caso que aparezca un número diferente. Luego en Parameters, escribir en 1 la letra a, en 2 la letra b y en 3 la letra c. Escribir en Starting value, el número cero para todos los parámetros
- V. Dar OK.
- VI. En esta ventana verificar que las columnas de lower sea de 95% C.i. y Upper 95% C.i, para los parámetros a y b que no tengan valores negativos, el parámetro c corresponde a la respiración por esto tiene valor negativo; seguidamente revisar que el valor de Pseudo R.square sea alto $>0,85$. Con estas consideraciones se obtiene la ecuación respectiva con los valores de la columna Parameter. El parámetro a corresponde a la fotosíntesis a saturación por luz o fotosíntesis máxima, el parámetro b es la Constante de saturación por luz (definida como $\frac{1}{2}$ de la PFD saturante), y el parámetro c corresponde a la tasa de respiración.
- VII. Finalmente puede observar la gráfica ajustada para esto, vaya a Results-Plots-fitted curve; en la ventana que emerge no se debe hacer ningún cambio. Oprimir OK.”

Se establecieron las condiciones de CO_2 ambientales. Se comenzó con un nivel de PAR alto ($2815 \mu\text{mol fotonos}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$), y a partir de este punto se comenzó a descender hasta un valor de $0 \mu\text{mol fotonos}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$.

“Pasos para aplicar el modelo Mitscherlich

- I. Los datos originales (Tabla 3) son introducidos en una hoja de Excel donde la primera columna es densidad de flujo fotónico fotosintético (PFD) y la segunda es la tasa de fotosíntesis (A). Tener cuidado de introducir las cifras decimales con puntos y no con comas.
- II. En el paquete Statistix 9,0 en la página principal pegar la tabla de datos, con esta matriz y seleccionar las pestañas Statistix-nonlinear models y luego non linear regression.
- III. En esta ventana introducir con el icono de Flecha la Dependent Variable seleccionando tasa de fotosíntesis; debe escoger en la ventana predefined model el modelo monomolecular growth: $y = a \cdot (1 - \exp(-b \cdot xc))$
- IV. No debe modificar ningún otro parámetro y oprimir OK
- V. En esta ventana verificar que las columnas de lower 95% C.i. y Upper 95% C.i, para todos los parámetros no tengan valores negativos; seguidamente revisar que el valor de Pseudo R.square sea alto >0.85 . Con estas consideraciones se obtiene la ecuación respectiva con los valores de la columna Parameter. El parámetro a corresponde a la fotosíntesis a saturación o fotosíntesis máxima, el parámetro b es la pendiente inicial de la curva a bajos niveles de luz (o eficiencia fotosintética) y el parámetro c corresponde al punto de compensación lumínica (PCL).
- VI. Finalmente se puede observar la gráfica ajustada (Figura 7), para esto, ir a Results-Plots-fitted curve; en la ventana que aparece no se requiere hacer ningún cambio y oprimir OK”

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. ESCALA BBCH DEL AGUACATE VARIEDAD 'HASS' EN FASE VEGETATIVA

El desarrollo fenológico se describió durante 7 meses. Como se utilizó propagación asexual, se presentó una fase de almácigo, que tuvo lugar bajo condiciones semicontroladas en mesones de germinación y la fase campo abierto ocurrió después del trasplante.

La fase inicial de Almácigo se subdividió en dos estadios principales correspondientes a la brotación y enraizamiento (0) y desarrollo de la rama principal (1). La segunda fase Campo Abierto se subdividió en cinco estadios principales de desarrollo que se pueden distinguir claramente según la escala de codificación BBCH. Estos estadios principales de crecimiento, fueron descritos usando números del 2 al 6 en orden ascendente.

Los estadios principales de crecimiento son descritos en las tablas 3, 4, 5 y 6. Esta especie mostró cambios en el proceso de desarrollo y los diferentes estadios principales de crecimiento no ocurrieron en la estricta secuencia de la escala BBCH general, ya que algunos se desarrollaron de forma simultánea y otros de manera precoz.

En la Tabla 3 se puede observar la codificación del estadio principal 0 correspondiente a brotación de la yema el cual transcurre en un tiempo de 105 DDI desde la fecha en que se realizó la propagación masiva.

Tabla 3: codificación de la escala BBCH del estadio principal 0, desde que inicia el hinchamiento de la yema, hasta que muestra brotes verdes.

Código	Días después de injerto	Descripción	Imagen
ESTADIO PRINCIPAL DE CRECIMIENTO 0: BROTACIÓN, DESARROLLO DE YEMA			
00	08	Dormancia de la yema	
01	25	Comienza la hinchazón de la yema	

03	48	Fin del hinchamiento de la yema	
07	67	La yema comienza a abrirse o brotar	
08	92	Crecimiento del brote. La yema muestra brotes verdes	

09	105	La yema muestra brotes verdes. Ápices foliares visibles, las hojas emergen	
----	-----	--	---

En la tabla 4 se observa el estadio fenológico número 1, que corresponde al Desarrollo de las hojas (tallo principal), el cual transcurre en un periodo entre los 110 y los 152 días después del injerto, es decir, en un rango de 40 días aproximadamente. Este tiempo es menor al del estadio 0, puesto que el incremento en el área foliar es necesario para un buen desarrollo.

Tabla 4: codificación de la escala BBCH del estadio 1, donde se evidencia que las primeras hojas se separan del brote, hasta que desarrolla 9 o más pares de hojas.

ESTADIO PRINCIPAL DE CRECIMIENTO 1: DESARROLLO DE LAS HOJAS			
10	110	Las primeras hojas se separan del brote	

11	121	Desarrollo del primer par de hojas	
12	133	Desarrollo del segundo par de hojas	

14	141	Desarrollo del cuarto par de hojas	
19	152	Desarrollo de 9 o mas pares de hojas	

En la tabla 5, se muestra el seguimiento del estadio 2, que tiene una duración aproximada de 20 días empezando a observarse su primer brote lateral en el día 161 después de injerto y su tercer brote a los 180 días.

Tabla 5: codificación de la escala BBCH del estadio 2, que representa la formación de brotes laterales.

ESTADIO PRINCIPAL DE CRECIMIENTO 2: FORMACIÓN DE BROTES LATERALES			
21	161	Primer brote lateral visible	

22	173	Segundo brote lateral visible	
23	180	Tercer brote lateral visible	

En la tabla 6, se puede observar el estadio 3, representando la elongación de los tallos, por porcentajes de la longitud final, esto transcurre en 16 días aproximadamente, los cuales se dan cuando en el día 187 después de injerto el tallo alcanza un 10% de su longitud final y a los 201 días el tallo alcanza un 20% de su longitud final.

Tabla 6: codificación de la escala BBCH del estadio 3, representando la elongación de los tallos, por porcentajes de la longitud final

ESTADIO PRINCIPAL DE CRECIMIENTO 3: ELONGACIÓN DEL TALLO			
31	187	El tallo ha alcanzado 10% de su longitud final	
32	201	El tallo ha alcanzado 20% de su longitud final	

La escala BBCH solo se codificó hasta estadio fenológico número 3, debido a que el 4to estadio, hace referencia a la producción de partes vegetales cosechables o de propagación, y el 5to estadio, es el inicio de la fase reproductiva de la planta, o emergencia de inflorescencias.

El ciclo completo de desarrollo de la especie *Persea americana* Mill. se dividió en dos fases debido a que se llevó a cabo un periodo de adaptación a las condiciones ambientales de la finca, transcurrido en un periodo de 6 meses. La primera fase: almácigo, se estableció con el fin de hacer una adaptación lenta pero segura de las plantas de aguacate a las condiciones medioambientales de la vereda donde se iba a llevar a cabo el experimento; esto se consiguió al manejar condiciones semi-controladas bajo polisombra del 50%, en las que se controlan aspectos como condiciones ambientales, tales como luz, humedad relativa y temperatura, los cuales favorecen a las plántulas para que continúen su desarrollo y adquieran la fortaleza y el vigor necesario para ser trasplantadas a campo abierto.

En la fase de almácigo se presentaron y culminaron los estadios del 0 al 2, iniciando con Germinación, brotación y desarrollo de la yema, con una duración de 105 días después de injerto (DDI) en promedio. Seguido a éste, se presentó el estadio 1, describiendo el Desarrollo de las hojas (brote o tallo principal), con un duración aproximada de 152 días después de injerto (DDI), y finalmente el estadio 2, que representa la Formación de brotes laterales, en el cuál transcurre un tiempo de 180 días después de injerto, aproximadamente.

En la fase de campo abierto, se describió el estadio 3, que representa la elongación del tallo transcurriendo para este estadio un aproximado de 201 días después de injerto (DDI).

El estadio 4 que corresponde al desarrollo de partes vegetativas cosechables la planta o de órganos vegetativos propagación, el cuál no pertenece al caso de aplica a la presente investigación. El estadio 5 tampoco se tuvo en cuenta, puesto que es Aparición de órganos florales (inflorescencias). Los estadios posteriores, describen la fase reproductiva de las plantas, por tanto no se tienen en cuenta.

Cabe resaltar que los diferentes estadios principales de crecimiento no ocurrieron en la precisa secuencia de la tabla BBCH general, ya que algunos se desarrollaron de forma paralela y otros de forma prematura, atribuyendo posiblemente a los cambios de temperatura en la zona de estudio, y a que la especie está sometida a una proceso de adaptación medioambiental, como lo cita Schaffer y Whilei, en el

2002, donde manifiestan que esto es determinado por factores como luz, temperatura y la concentración de CO₂ atmosférico, lo cual no solo afectan la fotosíntesis y la respiración, sino que también repercute sobre la distribución espacial y temporal de los carbohidratos en los distintos órganos.

En la Tabla 4 se puede observar el estadio principal 0, en el cual ocurren los estadios principales que va desde la dormancia de la yema, hasta que la yema muestra brotes verdes, ápices foliares visibles y las hojas emergen. Este estadio principal 0, fue el más largo del estudio, puesto que la activación de las yemas requiere principal actuación del fotoperiodo y temperaturas bajas, no dejando a un lado la participación de hormonas (fitohormonas). Según una publicación de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), las temperaturas más efectivas para romper la latencia de las yemas son entre 0 y 5 grados centígrados (°c), y pueden comprender un periodo entre 11 y 45 días aproximadamente. En la vereda San Pablo, no se obtuvieron reportes de temperaturas tan bajas, como las que se requieren para romper la latencia, pero se acumularon temperaturas a lo largo del periodo transcurrido (grado/día); por ende, tanto tiempo distado entre el código 00 y el código 09, del estadio 0.

5.2. COMPORTAMIENTO ECOFISIOLÓGICO Y FOTOSINTÉTICO DEL AGUACATE VARIEDAD 'HASS' EN ESTADO JUVENIL

5.2.1 Curva de luz

La curva de luz se realizó con el fin de hallar el punto de saturación de luz (PAR saturante) y el punto de compensación, en estado vegetativo de plantas de 5 meses después de injerto., ajustado a un modelo hiperbólico de Michaelis – Menten (Givnish *et al*, 2004) y el de Mitscherlich (Aleric y kirkman, 2005). Ambos modelos, se aplicaron a plantas en prefloración y a las de 5 meses después de injerto.

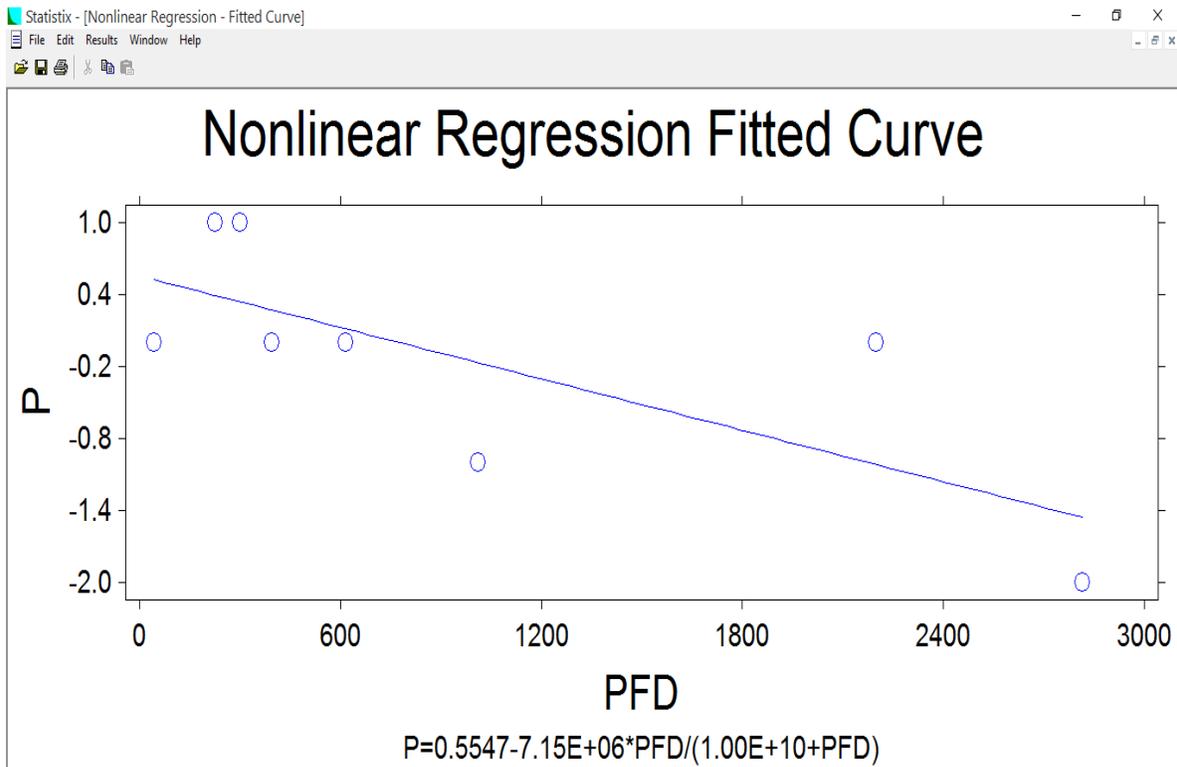


Figura 6: Curva de luz de *Persea americana* var. 'Hass', ajustado al modelo hiperbólico de Michaelis Menten, en planta en prefloración (Ochoa y González, 2015)

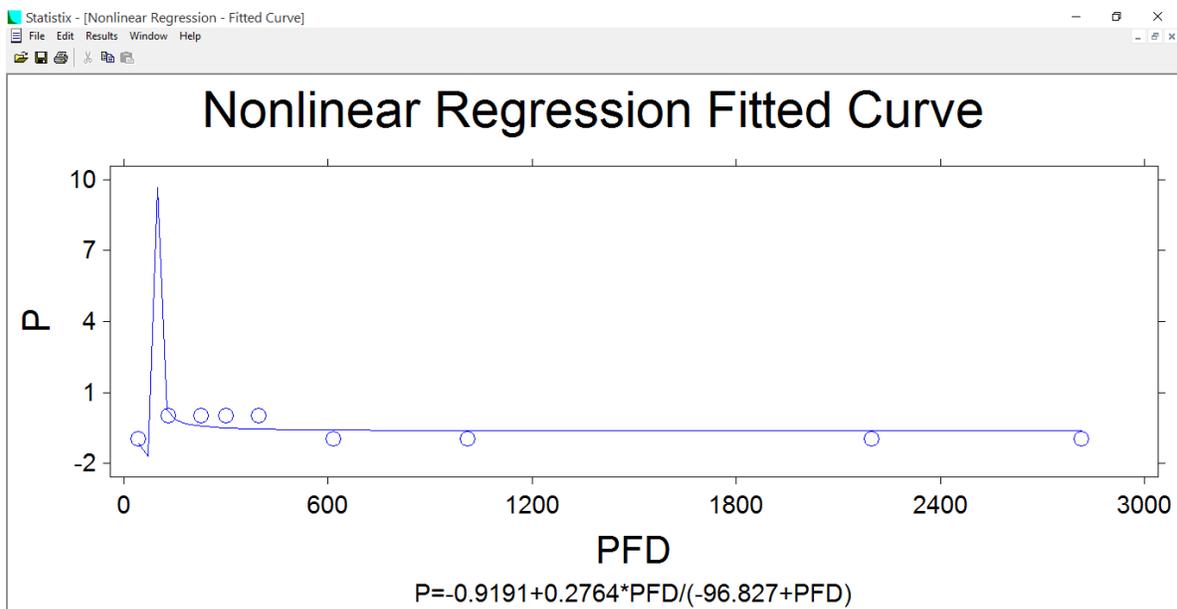


Figura 7: curva de luz de *Persea americana* Mill. var. 'Hass', ajustado al modelo hiperbólico de Michaelis Menten, en plantas de 5 meses después de injerto (Ochoa y González, 2015)

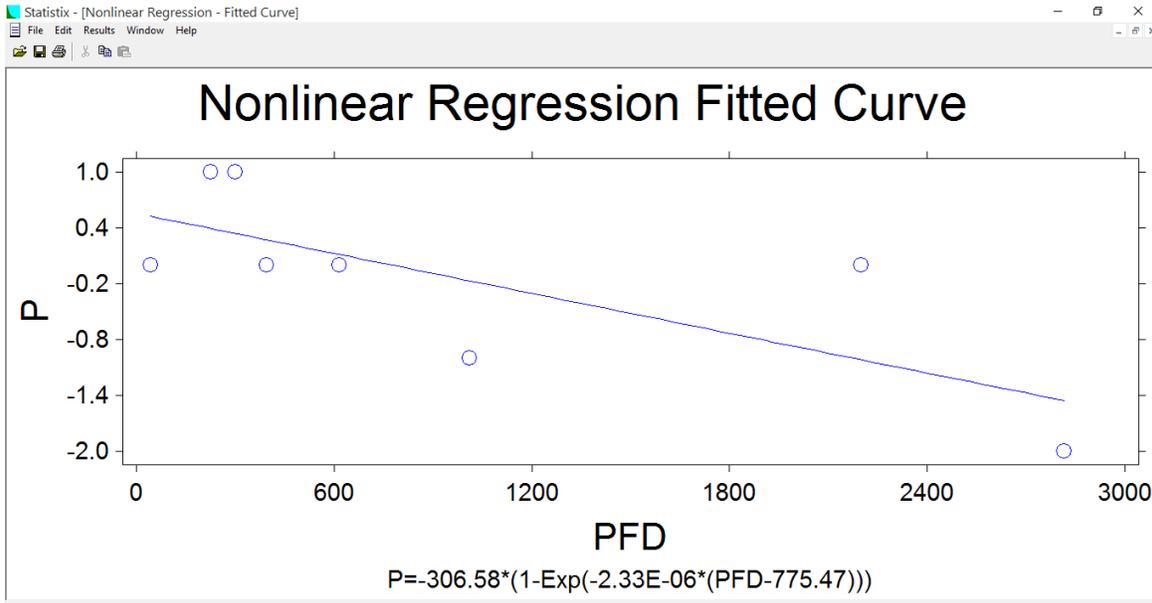


Figura 8: curva de luz de *Persea americana* Mill. var. 'Hass', ajustado al modelo hiperbólico de Mitscherlich, en plantas en prefloración (Ochoa y González, 2015).

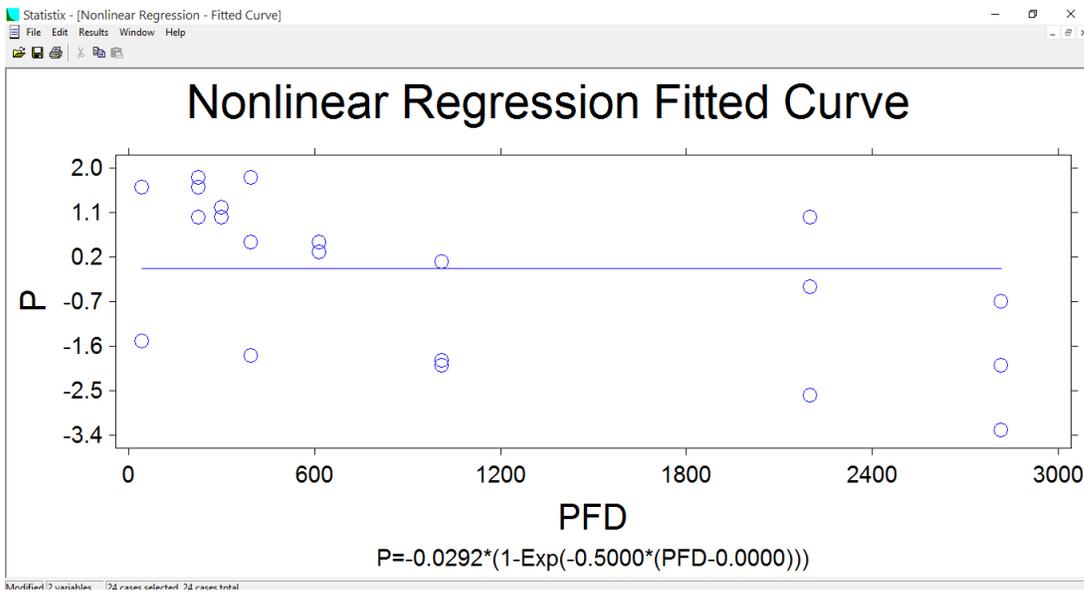


Figura 9: curva de luz de *Persea americana* var. 'Hass', ajustado al modelo hiperbólico de Mitscherlich, en plantas de 5 meses después de injerto (Ochoa y González, 2015).

Los resultados que se presentaron en la ecuación de Michaelis Menten, están basados en la fórmula:

$$A = \frac{A_{sat} PFD}{K + PFD} - Rd$$

Donde:

A= Fotosíntesis

$A_{sat} = a$ = Tasa fotosintética a saturación por luz (Amax)

K= b= Constante de saturación por luz (definida como ½ de la PFD saturante)

Rd= c = Tasa de transpiración

$$Pcl \text{ (Punto de compensación lumínico)} = \frac{b \times c}{a - c}$$

Y los del modelo de Mitscherlich, basados en la formula:

$$\text{Fotosíntesis (A)} = A_{max} (1 - e^{-A_{qe} (PFD) - (PCL)})$$

Donde,

A = Fotosíntesis neta

Amax = Fotosíntesis máxima

A_{qe} = Pendiente inicial de la curva (eficiencia de la fotosíntesis (Ψ))

Pcl = Punto de compensación por luz (intercepto en x cuando la fotosíntesis es igual a cero) (Melgarejo, 2010)

De acuerdo a estos resultados, se observa que ningún modelo se ajusta, debido a que no se presenta la forma típica de campana, pero el resultado de R^2 más alto es 0,9886 en el modelo de Michaelis Menten (Imagen 9), y el más bajo, es 0,9732 en el mismo modelo (Imagen 10).

Figura 10: tabla de coeficiente de relación, basado en el modelo hiperbólico de Michaelis Menten, para plantas de 5 meses de edad (Ochoa y González, 2015)

Statistix 9.0 27/10/2015, 11:39:56 a. m.

Nonlinear Regression

MODEL: $P = c+a*PPFD/(b+PPFD)$

Parameter	Estimate	Std Error	Lower 95% C.i.	Upper 95% C.i.
a	-7.145E+06	4.516E+13	-1.160E+14	1.160E+14
b	1.000E+10	6.320E+16	-1.625E+17	1.625E+17
c	0.5547	0.5694	-0.9091	2.0185

Convergence criterion met after 67 iterations.

Residual SS (SSE)	3.1860
Residual MS (MSE)	0.6372
Standard Deviation	0.7983
Degrees of Freedom	5
AICc	13.968
Pseudo R-Squared	0.9732

Parameter Correlations

	a	b	c
a	1,0000		
b	-1,0000	1,0000	
c	0,7129	-0,7129	1,0000

Cases Included 8 Missing Cases 0

Figura 11: tabla de coeficiente de relación, basado en el modelo hiperbólico de Michaelis Menten, para plantas en prefloración (Ochoa y González, 2015).

Statistix 9.0 27/10/2015, 11:45:00 a. m.

Nonlinear Regression

MODEL: $P = c+a*PFD/(b+PFD)$

Parameter	Estimate	Std Error	Lower 95% C.i.	Upper 95% C.i.
a	0.2764	0.2108	-0.2394	0.7923
b	-96.827	26.162	-160.84	-32.810
c	-0.9191	0.2612	-1.5583	-0.2799

Convergence criterion met after 48 iterations.

Residual SS (SSE)	1.3835
Residual MS (MSE)	0.2306
Standard Deviation	0.4802
Degrees of Freedom	6
AICc	1.1462
Pseudo R-Squared	0.9886

Parameter Correlations

	a	b	c
a	1,0000		
b	0,7262	1,0000	
c	-0,7221	-0,3036	1,0000

Cases Included 9 Missing Cases 0

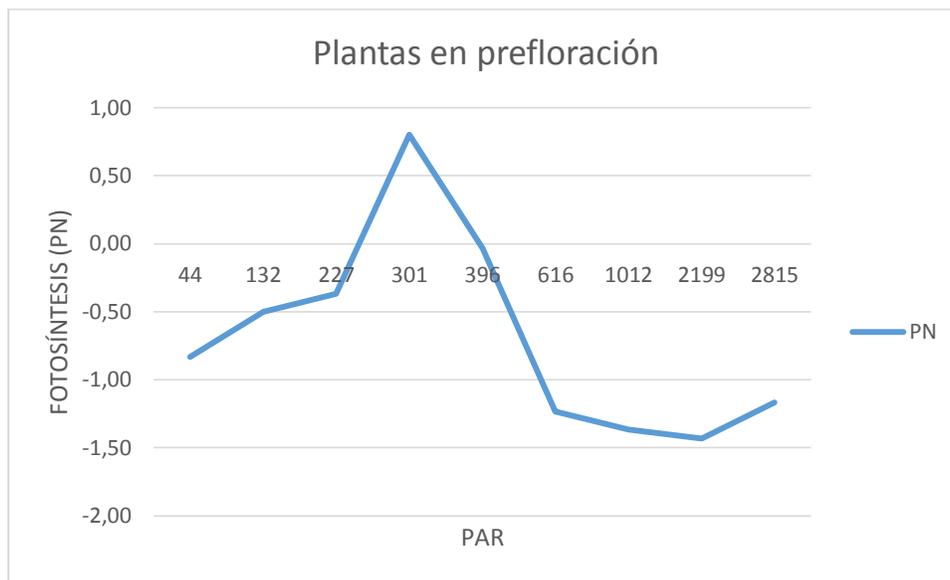
De lo anterior podemos observar que la planta de 5 meses activa su fotosíntesis con un PCL menor a la planta en prefloración (Pf), calculado con la siguiente fórmula:

$$Pcl = \frac{k * Rd}{Amax - Rd}$$

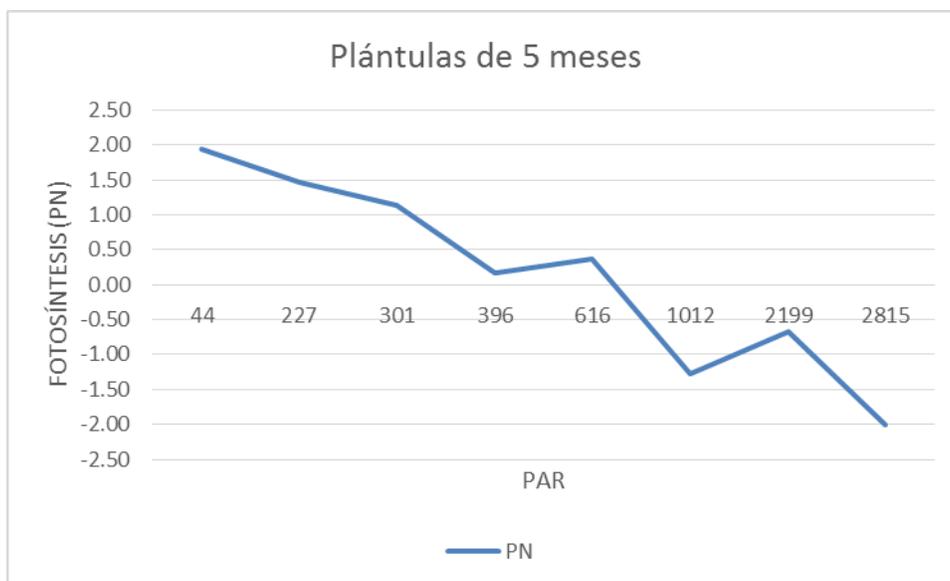
Los resultados reflejan que las plantas de 5 meses tienen un punto de compensación de luz (PCL) de 0,2020 μmol de fotones $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, mientras que la de prefloración, tiene un PCL de 74,4400 μmol de fotones $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Es decir, que la de 5 meses, se activa fotosintéticamente con un rango de luz inferior que las plantas en

prefloración, debido a que estas están es desarrollo vegetativo y producción de biomasa.

5.2.2 Comportamiento fotosintético y transpiratorio

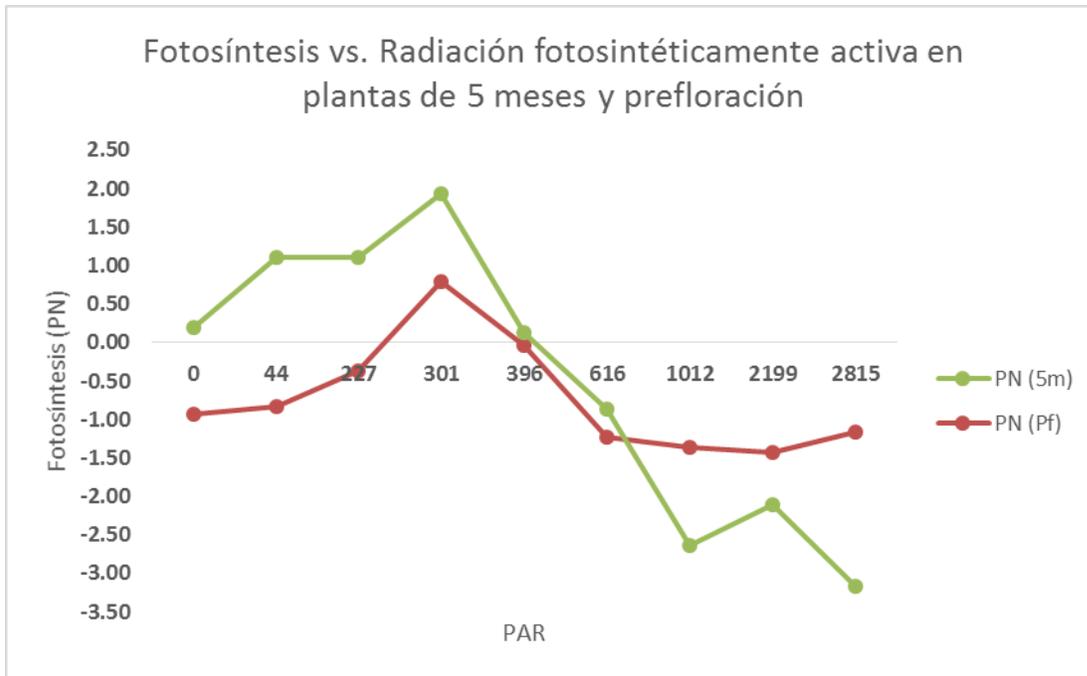


Gráfica 1: Curva de luz en plantas de *Persea americana* Mill. en prefloración en el municipio de Pasca, Cundinamarca (González y Ochoa, 2015).



Gráfica 2: Curva de luz en plántulas de *Persea americana* Mill. de 5 meses después de injerto en el municipio de Pasca, Cundinamarca (González y Ochoa, 2015).

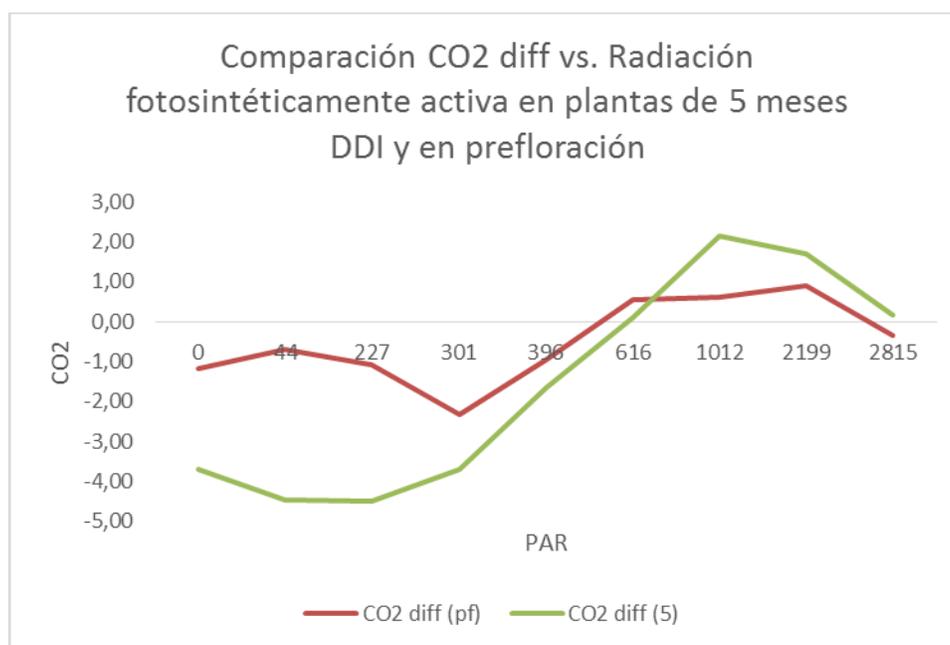
De las gráficas anteriores se puede interpretar que la planta en fase vegetativa (plántula de 5 meses) tiene un rango más amplio fotosintéticamente hablando (desde 44 hasta 616 PAR), debido a que está en proceso de crecimiento y desarrollo del canopy, por tanto necesita más luz, aprovechando todas las longitudes de onda posible. La planta en proceso de floración recibe la radiación usando un rango más pequeño (a partir de 227 hasta 396 PAR) debido a que prioriza la formación de frutos que la formación de dosel aéreo. Como lo referencia Romero (2012) en su trabajo de investigación, de trabajos de Schaffer y Whiley (2002; 2003), debido a que el origen del aguacate es de bosque lluvioso, donde la competencia por luz es elevada, las plantas de aguacate se caracterizan por tener un marcado favoritismo en la distribución de carbohidratos al crecimiento de brotes vegetativos más que a los órganos reproductivos. Esta producción a favor resulta en una rápida producción de hojas de vida corta y un incremento en el nivel de sombreado al interior del dosel lo que reduce el número de brotes terminales capaces de florecer (Hadari, 2004).



Gráfica 3. Comparación entre fotosíntesis neta y PAR, entre una plántula de *Persea americana* Mill. de 5 meses después de injerto y una planta en prefloración, bajo condiciones del municipio de Pasca, Cundinamarca.

De la Figura 3 se puede interpretar que la planta de 5 meses es mucho más activa fotosintéticamente, de acuerdo a que necesita hacer más follaje para su desarrollo fisiológico, mientras que la planta en prefloración (Pf) ya lo tiene, y se concentra en su fase reproductiva. Ambas, tienen el pico más alto en PAR 301, y un índice de fotosíntesis cero o muy cercano a este valor con PAR 396. De 0 a 301 PAR, la planta de 5 meses después de injerto, tiene una mayor actividad fotosintética, centrando todos sus fotoasimilados en el aumento de biomasa; cuando la planta es pequeña todas las hojas del cánopi son los órganos fuente, que sirven para la brotación de las yemas, las cuales actúan al inicio como órgano vertedero. Además la planta en prefloración detiene su crecimiento, puesto que su fase vegetativa se detiene, debido a que inicia su fase reproductiva. Del mismo modo, la planta en prefloración tiene unas hojas especializadas para ser las hojas fuente

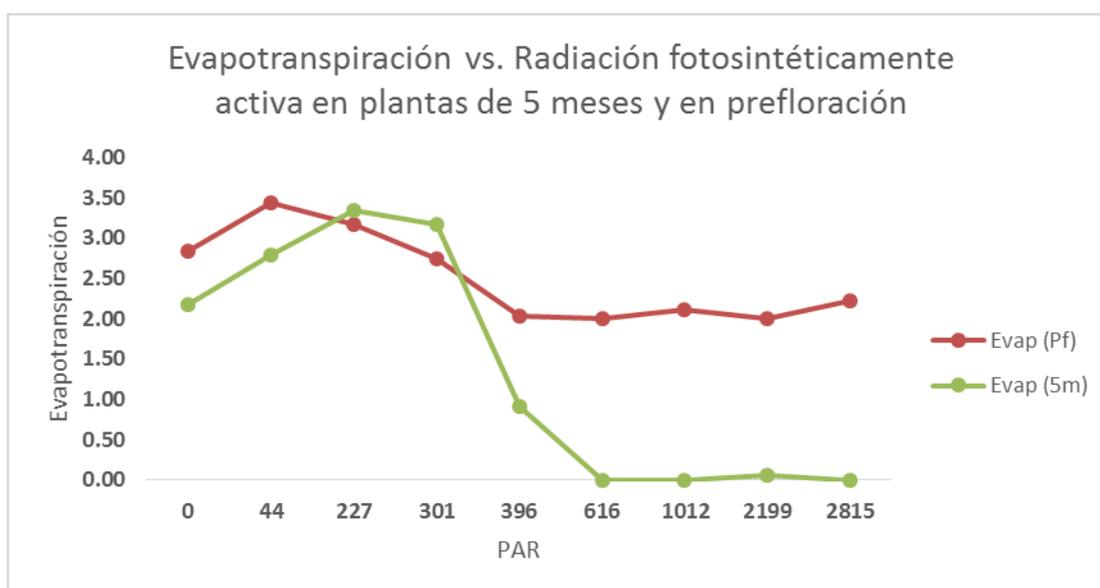
de los órganos vertederos, que en este caso y para esta edad, son los frutos, las cuales no detienen su actividad fotosintética, tanto como las demás. Esto se puede contrastar con la investigación de Medina-Torres (2011), donde se evidencia que la tasa fotosintética en los meses de baja producción en México (Septiembre), la radiación fotosintéticamente activa (PAR) fue de $1,684.1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Lo anterior refiere a que la planta tiene un PAR más alto en su fase vegetativa.



Gráfica 4. Diferencia en las tasas de CO_2 liberado por las plántulas de 5 meses y plantas en prefloración, con los mismos PAR, bajo condiciones del municipio de Pasca, Cundinamarca.

De la gráfica 4 se puede concluir que la planta en prefloración muestra un mayor nivel de adaptación y resistencia a condiciones ambientales adversas, en comparación a la planta de 5 meses DDI. La gráfica muestra que a los 1012 PAR, la planta de 5 meses DDI cierra estomas, para evitar la pérdida extrema de agua, y deshidratarse por las altas temperaturas. Dichas temperaturas externas pueden

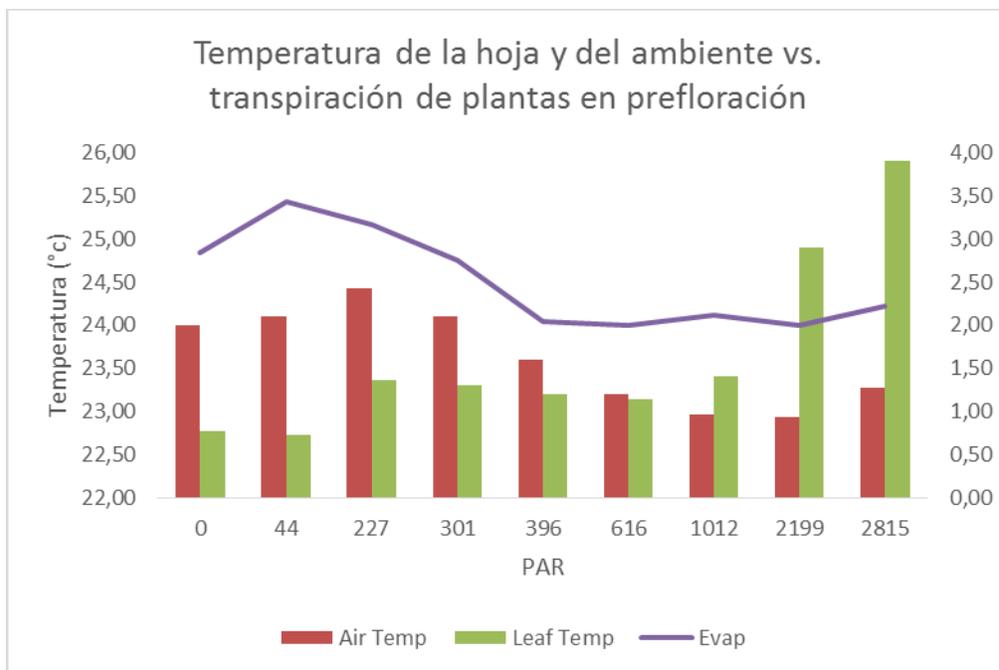
ocasionar una pérdida importante de agua al liberarla, tratando de regular su temperatura interna, comportamiento similar observado en las plantas en prefloración, pero a un PAR más alto, demostrando el mayor nivel de adaptación referido anteriormente. La planta en prefloración muestra una buena respuesta desde los 331 hasta los 616 PAR, donde se estabiliza hasta los 1012 PAR. En este punto, la liberación de CO₂ empieza a disminuir. La planta en prefloración, presenta un rango mucho mayor de liberación de CO₂, aumentando desde los 301 PAR, hasta los 616 PAR, manteniéndose constante hasta los 2199 PAR, punto en el cual ya disminuye.



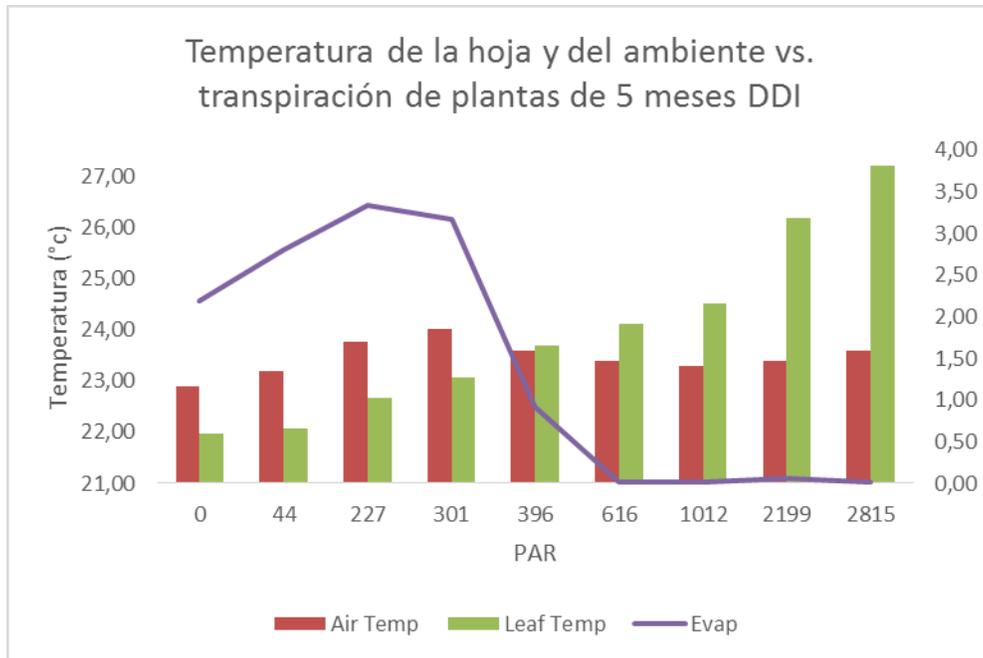
Gráfica 5. Comparación de los datos de evapotranspiración entre plántulas de *Persea americana* de 5 meses después de injerto, y plantas en prefloración, bajo condiciones del municipio de Pasca, Cundinamarca.

De la anterior figura se puede interpretar que la evapotranspiración en la planta de 5 meses se reduce a valores muy cercanos a 0, debido a que esta planta se está adaptando al nuevo ambiente donde se establecerá. La planta en prefloración, tiene un periodo de adaptación más amplio, lo que conlleva a una mejor respuesta a los cambios de luz que se presenten. La respuesta de la planta en prefloración que genera la disminución de la evapotranspiración se da en valores de 44 PAR,

mientras que en plantas de 5 meses después de injerto, se da desde los 227 PAR. Los valores cercanos de evapotranspiración 0, se dan desde los 616 PAR, que se da posiblemente a un cierre estomático para evitar pérdida de agua.



Gráfica 6. Temperatura de la hoja y del ambiente (°C), en contraste con la transpiración, en plantas en prefloración de *Persea americana* Mill, bajo condiciones del municipio de Pasca, Cundinamarca.



Gráfica 7. Temperatura de la hoja y del ambiente (°C), en contraste con la transpiración, en plantas de 5 meses después de injerto (DDI), en el cultivo de *Persea americana*, bajo condiciones del municipio de Pasca, Cundinamarca.

De las figuras 6 y 7, se puede concluir que la planta en prefloración, a pesar de los altos valores PAR (radiación fotosintéticamente activa), sigue transpirando, mientras que la plántula de 5 meses DDI, disminuye su transpiración a valores muy cercanos a cero de una forma drástica a partir del PAR 301. La transpiración de la plántula de *P. americana* tiene un aumento desde el PAR 0 hasta el 227, con un rango muy pequeño de estabilidad de 227 a 301 PAR. Esto quiere decir que este punto de radiación fotosintéticamente activa es el óptimo para este proceso fisiológico. Los valores más altos de transpiración para la planta en prefloración, fueron en el PAR 44, con una disminución más pausada hasta el par 396, donde se mantuvo en valores entre 2 y 2,5.

5.2.3 Uso eficiente del Agua

La producción de nueva biomasa (la fotosíntesis) y el del gasto de agua (transpiración) se producen a la vez, y la entrada del dióxido de carbono y la salida

del agua utilizan la misma vía, los estomas en las hojas. Cuanto más abiertos están, más fácilmente entra el CO₂, pero también más rápidamente se escapa el agua. El precio, el agua gastada para la producción biomasa, es por tanto inevitable y alto. La producción de biomasa sin agua es imposible para las plantas (Medrano *et al.*, 2007).

Eficiencia del uso del agua: balance coste/beneficio

En el proceso de intercambio de gases, en el que las plantas incorporan a su biomasa (fijan) carbono de la atmósfera también tiene lugar una «pérdida» (evapotranspiración) de vapor de agua desde la planta a la atmósfera. Así, la eficiencia en el uso del agua (EUA) de las plantas puede entenderse de manera genérica como el volumen de agua que éstas necesitan consumir (evapotranspirar) para incorporar a su biomasa una determinada cantidad de carbono proveniente de la atmósfera (en la que se encuentra en forma de CO₂). De esta manera, la eficiencia en el uso del agua de las plantas dependerá principalmente de dos tipos de factores: en primer lugar, de aquellas características propias de la especie y variedad que tengan relación con la capacidad de optimización de los procesos de asimilación de carbono y de evapotranspiración de agua; y en segundo lugar, de las características del ambiente en el que crece y se desarrolla la planta. (Medrano *et al.*, 2007)

Tabla 7. Fotosíntesis, Transpiración y Uso eficiente del Agua en plantas de aguacate 'Hass' de 5 meses.

PAR	PN (5)	Evap (5)	EUA (5)
0	1.13	2.18	0.52
44	0.57	2.80	0.20
227	1.47	3.34	0.44
301	1.13	3.17	0.36
396	0.17	0.92	0.18
616	0.37	0.01	36.67
1012	-1.27	0.01	-126.67
2199	-0.67	0.07	-10.00
2815	-2.00	0.01	-200.00

Tabla 8. Fotosíntesis, Transpiración y Uso eficiente del Agua en plantas de aguacate ‘Hass’ en prefloración.

PAR	PN (pf)	Evap (pf)	EUA (pf)
0	-0.93	2.84	-0.33
44	-0.83	3.44	-0.24
227	-0.37	3.17	-0.12
301	0.80	2.75	0.29
396	-0.03	2.04	-0.02
616	-1.23	2	-0.62
1012	-1.37	2.11	-0.65
2199	-1.43	2.00	-0.72
2815	-1.17	2.22	-0.53

En la tabla 7, de la planta de aguacate ‘Hass’ de 5 meses se aprecia una mayor pérdida de agua por transpiración. Esto sucede cuando la planta abre sus estomas para tomar de la atmosfera CO₂; comparada con tabla 8, estudio de la planta en prefloración, se observa que es más eficiente en el uso del agua, también se deben tener en cuenta factores limitantes como la temperatura, la disponibilidad de nutrientes o las horas de luz. Las plantas de 5 meses son más eficientes en el

uso del agua (EUA) debido a que las plantas en prefloración gastan 36,67 $\mu\text{moles de CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, para fijar una mol de agua (H_2O), y las plantas de 5 meses después de injerto (DDI) gastan 0,29 $\mu\text{moles de CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, para fijar una mol de H_2O .

El proceso de transpiración comprende la evaporación del agua desde las células superficiales dentro de los espacios intercelulares y su difusión fuera del tejido vegetal, principalmente a través de los estomas. Junto al intercambio de dióxido de carbono (CO_2), fija la eficiencia de uso del agua de una planta (Squeo *et al.*, 2007).

Un experimento realizado por Sharkey y Raschke (1981) demostró que a niveles bajos de radiación, la concentración de CO_2 sería el principal factor regulador de la apertura estomática; a niveles elevados de radiación, la respuesta directa a la luz puede sobrecompensar el requerimiento de CO_2 para la fotosíntesis y provocar un aumento en la concentración de CO_2 intracelular, debido al cierre estomatal (Squeo, 2007), demostrado en la tabla 7 (planta de 5 meses), en el PAR 227 con una evapotranspiración alta de 3.34 mm s^{-1} y en el PAR 616, 1012 y 2815 de $0,01 \text{ mm s}^{-1}$; y en la tabla 8 (planta prefloración), con evapotranspiración alta en el PAR 44, y baja en el PAR 616 ($3,44 \text{ mm s}^{-1}$ y 2 mm s^{-1} respectivamente). Estos valores bajos se produjeron por cierre estomático para evitar la deshidratación, y acumular CO_2 al interior de las células.

6. CONCLUSIONES

El desarrollo fenológico del cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) var. 'Hass', fue desarrollado en un plazo de aproximadamente 200 días, en el cual se describieron los diferentes estadios de crecimiento, basados en la tabla BBCH. El estadio más largo, fue el cero, debido a la poca acumulación de grados frío para romper la latencia de las yemas, ya que en esta zona las temperaturas rara vez descienden tanto como requiere la planta; esto es ocasional. El estadio más corto fue el 2, con una duración aproximadamente de 20 días DDI. El estadio número 3 (elongación de los tallos), es un estadio largo, porque este se subdivide según el porcentaje del crecimiento de la longitud final del tallo. Por cuestiones de tiempo, las mediciones se llevaron hasta este punto.

Los estudios fisiológicos mostraron que la adaptación de plántulas a la zona es lenta, debido a que es una variedad que necesita de poca radiación solar, incluso inferior a la reportada en la presente investigación. Las plantas en prefloración presentan una mejor respuesta que las plantas de 5 meses después de injerto (DDI), debido a que llevan más tiempo en campo. Las plantas más activas fotosintéticamente fueron las de 5 meses DDI, debido a que están en fase de desarrollo vegetativo, es decir, se enfocan en el desarrollo de dosel aéreo para mayor captación de luz.

Las plantas en prefloración, son muy activas a los 331 PAR. Esto debido a que la producción de fotoasimilados es concentrada y enviada a los órganos de reproducción, para el llenado del fruto. Las hojas fuente, son las que proporcionan la mayor cantidad de fotoasimilados a dichos órganos vertederos, contrario a las plántulas, cuyo órgano vertedero, son yemas vegetativas.

Las plántulas de 5 meses DDI, muestran una curva sigmoidea en la liberación de CO_2 , donde el aumento es evidente desde los 227 PAR hasta los 1012, donde los cierra para evitar deshidratación por temperaturas extremas.

Las plantas en prefloración muestran más resistencia a condiciones ambientales adversas, que se puedan presentar en la zona. Lo anterior a que su periodo de adaptación a dichas condiciones, ha sido más prolongado, puesto que llevan más de un año sembradas en campo. Las plantas de 5 meses después de injerto, tuvieron que atravesar un periodo bajo polisombra para evitar días de radiación solar directa (Temperatura) y condiciones nuevas de humedad, ya que son diferentes en el vivero, que en el campo experimental.

Las plantas en prefloración tienen una evapotranspiración constante a partir de los 396 PAR, contraria a las plantas de 5 meses DDI, las cuales llegan a valores muy próximos a cero, desde los 301 PAR, pero coinciden en el número PAR en el cual empieza esta disminución (227). La evapotranspiración real, entre mayor sea, indica un mayor índice de formación de biomasa vegetal en la zona que se produce; es decir, la planta de 5 DDI, tiene mayor evapotranspiración porque está en su fase de desarrollo vegetativo, mientras que la planta en prefloración, ya tiene el follaje necesario

Se debe prestar más atención al riego en las plantas en prefloración, debido a que el uso eficiente del agua en ellas, es más bajo. Es decir, que la planta de 5 meses después de injerto fija más micromoles de CO_2 con una mol de agua.

7. RECOMENDACIONES

Se deben realizar estudios posteriores los cuales determinen la producción de aguacate para la zona, la cual dará un aumento en la economía del municipio.

Ampliar los rangos de datos de la toma de muestras, debido a que con un mayor rango, mejores y más precisos serán los resultados obtenidos.

Establecer dinámicas de crecimiento radical, desarrollo vegetativo, con el fin de determinar el beneficio del cultivo de aguacate var. 'Hass' para la zona de Pasca, Cundinamarca.

Efectuar estudios orientados al desarrollo de tácticas para maximizar la eficiencia fotosintética en el proceso de captación de luz.

Se recomiendan realizar más estudios, con un tiempo mayor, para finalizar la caracterización fenológica del estadio vegetativo de esta variedad.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Alfonso, B. J. A. Manual técnico del cultivo de aguacate “Hass” (*Persea americana* L.) Centro de la comunicación agrícola de la fundación hondureña de investigación FHIA. Cortés, Honduras. 2008.
- Amórtegui, I. el cultivo del aguacate: modulo educativo para el desarrollo tecnológico de la comunidad rural. Corporación para la promoción del desarrollo rural y agroindustrial del Tolima. Ibagué, Colombia. 2001.
- Barceló, J.; Nicolás, G.; Sabater, B. y Sánchez, R. 2001. Fisiología vegetal. Ed. Pirámide, Madrid. 566 p.
- Benacchio, S. 1982. Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivos con potencial de producción en el trópico americano. FONAIAP-CENIAP. Maracay, Ven. 202 p.
- Bernal JA Díaz D. Tecnología para el cultivo de aguacate. CORPOICA, Manual Técnico número 5. 2005.
- Bisonó, S., Hernández, J. Guía tecnológica sobre el cultivo de aguacate. 2008. Santo Domingo, República Dominicana.
- Campos, O. Zonificación agroecológica del aguacate (*Persea americana* Mill. var. ‘Hass’) en la cuenca del río Duero. Instituto politécnico nacional. Jiquilpan, Michoacán, México. 2012. 36 pp.
- Coria, A. J. Caracterización edáfica y climática del área productora de aguacate *Persea americana* cv. “Hass” en Michoacán, México. V Congreso Mundial del aguacate. Málaga, España. 2003
- Cossio, L. E.; Salazar, S.; González, I. J.; Medina, R. fenología del aguacate “Hass” em el clima semicálido de Nayarit, México. Universidad autónoma de Nayarit. Posgrado em Ciencias Biológico Agropecuarias. Xalisco, Nayarit, México. 2008.

- Cossio-Vargas, L.E., S. Salazar-García, I.J.L. González-Durán y R. Medina-Torres. 2008. Fenología del aguacate “Hass” en el clima semicálido de Nayarit, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14: 325-330.
- Cultivares de Aguacate. Dr. Armando García, Dr. Eugenio Shieber, Dr. A. Zentmeyer. 2006.
- Dixon, J.; Cotterell, C.; Hofstee, B. and Elmsly, T. A. 2008. “Hass” avocado tree phenology 2004-2009 in the Western Bay of Plenty. *Annu. Res. Rpt. N. Z. Avocado Growers’ Assn.* 8:35-57.
- Fundación hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). 2008. Manual técnico del cultivo del aguacate has. Cortés, Honduras. 2008.
- González-Durán, I.J.L. y S. Salazar-García. 2007. Uso de la poda progresiva para recuperar la productividad de huertos emboscados de aguacate “Hass” en Nayarit.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INNFAP); Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2009. Evaluación de la vulnerabilidad y propuesta de medidas de adaptación a nivel regional de algunos cultivos básicos y frutales ante escenarios de cambio climático. Guadalajara, Jalisco.
- Ibar A., L. 1983. Cultivo del aguacate, chirimoyo, mango y papaya. Ed. AEDOSEDITIA Mexicana. México, D.F. 173 p.
- INIFAP, CIRPAC, Campo Experimental Santiago Ixcuintla. Folleto Científico Núm. 2. Santiago Ixcuintla, Nayarit, México. 39 p. Septiembre 2007.
- González-Durán, I.J.L., S. Salazar-García, Aguilar-Salinas, J.M. y R. Medina-Torres. 2005. Bases fisiológicas y económicas a considerar para elegir el tipo de poda en aguacate “Hass”. *El Aguacatero* 8(43):6-9.
- González-Durán, I.J.L., S. Salazar-García, J.M. Aguilar-Salinas y R. Medina-Torres. 2006. Análisis comparativo de dos tipos de poda en árboles de aguacate “Hass” en Nayarit. Congreso de Ciencia y Tecnología Nayarit 2006. Tepic, Nayarit. 17-19 Mayo. pp. 18-26.
- Guarin, G.; la importancia del cultivo de aguacate en la economía de Antioquia. Fundación tecnológica rural COREDI. 2011. Colombia.

- Hadari, M. 2004. A three-dimensional model of the light regime in an avocado orchard. Tesis de Maestría. Israel Institute of Technology. Israel.
- Kok, B. 1949. On the interrelations of respiration and photosynthesis in green plants. *Biochem. Biophys. Acta.* 3:625 - 631.
- Medina-Torres, R., S. Salazar-García, J. Márquez-Rojas y F. Corona-Tavares. 2006. Variación estacional de la fotosíntesis de aguacates de bajo porte y "Hass". Congreso de Ciencia y Tecnología Nayarit 2006. Tepic, Nayarit. 17-19 Mayo. pp. 92-101.
- Medina-Torres, R., S. Salazar-García, M. Ortiz-Catón y R. Valdivia-Bernal. 2011. Variación estacional de la fotosíntesis en varios cultivares de aguacate. *Revista Biociencias.* pp. 36-45
- Meier, U.; Estadios de las plantas mono y dicotiledóneas – BBCH monografía. 2da edición. Centro Federal de Investigaciones Biológicas para Agricultura y Silvicultura. Alemania. 2001
- Mejía A. Cadena productiva del aguacate. Memorias Seminario Internacional de actualización tecnológica "El cultivo del aguacate". 2011.
- Mejía de Tafur, M. S. Respuesta fotosintética de *Eucalyptus grandis* W. Hill a la disponibilidad de agua en el suelo y a la intensidad de luz. Universidad Nacional de Colombia. 2014.
- Mena-Volker, F. 2004. Fenología del palto, su uso como base del manejo productivo. 2º Seminario Internacional de Paltos. 29 septiembre-1 octubre. Sociedad Gardiazábal y Magdahl Ltda. Quillota, Chile.
- Origen, Taxonomía, Cultivares, Requerimientos Ecológicos y Variabilidad Genética en Aspectos fitosanitarios del Aguacate. Facundo Barrientos Pérez. Depto. De Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Edo. De México, 2002.
- Ruiz-Corral J.A., Medina G. G., González A. I., Ortiz T. C., Flores L. H., Martínez P. R. y Byerly M. K. 1999. Requerimientos agroecológicos de cultivos. SAGAR. INIFAB. CIRPAC. Libro técnico No. 3. Guadalajara, Jalisco, México. 324 pp.

- Salazar–García, S. 2000. Fisiología reproductiva del aguacate, pp. 57–83. *In*: Téliz–Ortiz, D. (Coord.). El Aguacate y su Manejo Integrado. Ediciones Mundi–Prensa. D. F., México.
- Salazar G. S., Zamora C. L., y Vega L. R. 2005. Actualización sobre la industria del aguacate en Michoacán, Mexico. Yearbook. California Avocado Society. 87: 45-54
- Squeo F., León M. Fisiología vegetal (F. A. Squeo & L. Cardemil, eds.). Capítulo III. Universidad de La Serena. La Serena, Chile. 2007
- Tapia-Vargas, L.M., A. Larios-Guzmán, V.M. Coria-Avalos y S. Salazar-García. 2008. Ambiente y Fenología del Aguacate. pp. 36-53. *In*: Coria-Avalos, V.M. (ed.). Tecnología para la Producción de Aguacate en México. 2da. Edición. INIFAP, CIRPAC, Campo Experimental Uruapan. Libro Técnico No. 8. ISBN: 978-607-425-101-2.
- Tapia V. L., Larios G. A., y Anguiano C. J. 2008. Ambiente y fenología del aguacate. *En*: Tecnología para la producción de aguacate en México. 2da edición. INIFAP. Uruapan, Mich. 54-92
- Thorp, T. G.; Aspinall, D. and Sedgley, M. 1993. Influence of shoot age on floral development and early fruit set in avocado (*Persea americana* Mill.) cv. 'Hass'. *J. Hort. Sci.* 68:645-651.
- Whiley , A. W.; Saranah, J. B.; Cull, B. W.; Pegg, K. G. manage avocado tree growth cycles for productivity gains. *Qld. Agric. J.* 114 (1): 29 – 36. 1988.
- Wolstenholme, B.N. and A.W. Whiley. 1989. Carbohydrate and phenological cycling as management tools for avocado orchards. *SA Avocado Growers' Assoc. Yrb.* 12, 33-37.

ANEXOS

Anexo 1

Nonlinear Regression

MODEL: $PN = c + a \cdot PAR / (b + PAR)$

Parameter	Estimate	Std Error	Lower 95% C.i.	Upper 95% C.i.
a	0.0427	0.3285	-0.6404	0.7259
b	-220.90	45.193	-314.89	-126.92
c	-0.1149	0.5996	-1.3619	1.1321

Convergence criterion met after 18 iterations.

Residual SS (SSE)	53.507
Residual MS (MSE)	2.5480
Standard Deviation	1.5962
Degrees of Freedom	21
AICc	29.348
Pseudo R-Squared	0.5282

Parameter Correlations

	a	b	c
a	1,0000		
b	0,9965	1,0000	
c	-0,8133	-0,7930	1,0000

Cases Included 24 Missing Cases 0

Anexo 2
ANALISIS DE SUELOS
1)

REPORTE DE ANÁLISIS DE SUELO No. 1137-2014

Página 1 de 1



LABORATORIO DE SUELOS FACULTAD DE AGRONOMÍA
B-FAGL002FT-10.002.007

Remitente: Luz Marina Melgarejo Muñoz	Finca: 1	Lote: Horizonte A
E-mail: lmmelgarejom@unal.edu.co	Propietario: *	Recibido: 14.08.14
Dirección: UNAL	Municipio: *	Reportado: 03.09.14
Teléfono: 11334	Dpto: *	Recibo No.: ATI PDTE
Ciudad: Bogotá D.C.	Cultivo: Aguacate	

RESULTADOS

pH	CE dS/m	CO	N	Ca	K	Mg	Na	AI	CICE	CIC
		%		meq / 100g						
6,5	ns	3,00	0,26	16,7	0,74	1,30	0,02	0,00	18,8	ns

ns: no solicitado

P	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B	Ar	L	A	Textura
mg / kg							%			
>116	ns	15,6	198	4,78	13,4	0,25	21	31	48	F

Los resultados corresponden únicamente a las muestras suministradas por el usuario y analizadas en el laboratorio

PARÁMETRO

pH
CE: Conductividad eléctrica
CO: Carbono orgánico oxidable
N: Nitrógeno total
Ca, K, Mg, Na: Bases intercambiables
CIC: Capacidad de intercambio catiónico

MÉTODOS DE ANÁLISIS

Suspensión suelo:agua (relación peso:volúmen 1:1)
Extracto de la pasta de saturación
Walkley-Black
Estimado a partir del CO (factor empleado 0,0862)
Extracción con NH₄-Acetato 1M pH 7
Desplazamiento del NH₄ intercambiado con NaCl

VALORACIÓN

Potenciométrica
Conductimétrica
Colorimétrica
Absorción Atómica
Volumétrica

CICE: CIC Efectiva	Estimado por suma de bases y acidez intercambiables	
AI: Acidez Intercambiable	Extracción con KCl 1M	Volumétrica
P: Fósforo disponible	Bray II	Colorimétrica
S: Azufre disponible	Extracción con fosfato monocalcico	Turbidimétrica
Cu, Fe, Mn, Zn: Microelementos	Extracción con DTPA	Absorción Atómica
B: Boro	Extracción con fosfato monocalcico	Colorimétrica
Arcilla (Ar), limo (L), arena (A)	Bouyoucos, dispersión con Na-Hexametafosfato	Densimétrica
Textura	Triángulo de clasificación textural USDA	

NIVELES GENERALES DE REFERENCIA

Elemento	Clima	Alto	Medio	Bajo
N	Frío	>0.50	0.25-0.50	<0.25
	Medio	>0.25	0.15-0.25	<0.15
	Cálido	>0.20	0.10-0.20	<0.10

Elemento	Alto	Medio	Bajo
P	>40	20-40	<20
K	>0.35	0.15-0.35	<0.15
Ca	>6	3,0-6,0	<3
Mg	>2.5	1.5-2.5	<1.5

Químico: 

Coordinadora: 

RECUERDE: El plan de fertilización es más eficiente si Ud consulta con el profesional de Asistencia Técnica de su localidad

Laboratorio de Aguas y Suelos. Facultad de Agronomía. Edificio 500 Cuarto Piso
 Conmutador 316 5000 Extensiones 19088 ó 19049; Telefax 316 5498
 Correo electrónico: mchenaoto@unal.edu.co
 Bogotá, Colombia

2)

REPORTE DE ANÁLISIS DE SUELO No. 1138-2014

Página 1 de 1



LABORATORIO DE SUELOS FACULTAD DE AGRONOMÍA
B-FAGL002FT-10.002.007

Remitente: Luz Marina Melgarejo Muñoz	Finca: 1	Lote: Horizonte B
E-mail: lmmelgarejom@unal.edu.co	Propietario: *	Recibido: 14.08.14
Dirección: UNAL	Municipio: *	Reportado: 03.09.14
Teléfono: 11334	Dpto: *	Recibo No.: ATI PDTE
Ciudad: Bogotá D.C.	Cultivo: Aguacate	

RESULTADOS

pH	CE dS/m	CO	N	Ca	K	Mg	Na	AI	CICE	CIC
		%		meq / 100g						
6,5	ns	2,58	0,22	14,7	0,51	1,46	0,04	0,00	16,7	ns

ns: no solicitado

P	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B	Ar	L	A	Textura
mg / kg						%				
>116	ns	16,2	184	2,89	9,41	0,2245	23	27	50	FARa

Los resultados corresponden únicamente a las muestras suministradas por el usuario y analizadas en el laboratorio

PARÁMETRO
pH
CE: Conductividad eléctrica
CO: Carbono orgánico oxidable
N: Nitrógeno total
Ca, K, Mg, Na: Bases intercambiables
CIC: Capacidad de intercambio catiónico
CICE: CIC Efectiva
AI: Acidez intercambiable
P: Fósforo disponible
S: Azufre disponible
Cu, Fe, Mn, Zn: Microelementos
B: Boro
Arcilla (Ar), limo (L), arena (A)
Textura

MÉTODOS DE ANÁLISIS
Suspensión suelo:agua (relación peso:volúmen 1:1)
Extracto de la pasta de saturación
Walkley-Black
Estimado a partir del CO (factor empleado 0,0862)
Extracción con NH ₄ -Acetato 1M pH 7
Desplazamiento del NH ₄ intercambiado con NaCl
Estimado por suma de bases y acidez intercambiables
Extracción con KCl 1M
Bray II
Extracción con fosfato monocálcico
Extracción con DTPA
Extracción con fosfato monocálcico
Bouyoucos, dispersión con Na-Hexametafosfato
Triángulo de clasificación textural USDA

VALORACIÓN
Potenciométrica
Conductimétrica
Colorimétrica
Absorción Atómica
Volumétrica
Volumétrica
Colorimétrica
Turbidimétrica
Absorción Atómica
Colorimétrica
Densimétrica

NIVELES GENERALES DE REFERENCIA

Elemento	Clima	Alto	Medio	Bajo
N	Frío	>0.50	0.25-0.50	<0.25
	Medio	>0.25	0.15-0.25	<0.15
	Cálido	>0.20	0.10-0.20	<0.10

Elemento	Alto	Medio	Bajo
P	>40	20-40	<20
K	>0.35	0.15-0.35	<0.15
Ca	>6	3,0-6,0	<3
Mg	>2.5	1.5-2.5	<1.5

Químico:

Coordinadora:

RECUERDE: El plan de fertilización es más eficiente si Ud consulta con el profesional de Asistencia Técnica de su localidad

Laboratorio de Aguas y Suelos. Facultad de Agronomía. Edificio 500 Cuarto Piso
Conmutador 316 5000 Extensiones 19088 ó 19049; Telefax 316 5498
Correo electrónico: mchenaoto@unal.edu.co
Bogotá, Colombia