



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
Carrera de Ingeniería Agronómica

“COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO Y DESARROLLO VEGETATIVO EN  
PLANTAS DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.), EN CONDICIONES DE CAMPO,  
CON CUATRO NIVELES DE SOMBRA EN SAN ANTONIO DE LAS ARADAS  
DEL CANTÓN QUILANGA.”

Tesis de grado previa a la  
obtención del título de Ingeniero  
Agrónomo.

**AUTOR:**

**Luis Enrique Felicito Alberca**

**DIRECTOR:**

**Ing. Max Enrique Encalada Córdova, Mg.Sc.**

**LOJA-ECUADOR**

**2016**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**CERTIFICACIÓN**

Ing. Max Enrique Encalada Córdova Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TESIS.**

**CERTIFICO:**

Que el presente trabajo de investigación titulado “**COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO Y DESARROLLO VEGETATIVO EN PLANTAS DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.), EN CONDICIONES DE CAMPO, CON CUATRO NIVELES DE SOMBRA EN SAN ANTONIO DE LAS ARADAS DEL CANTÓN QUILANGA**” de autoría del señor egresado de la Carrera de Ingeniería Agronómica: **Luis Enrique Felicito Alberca**, ha sido desarrollado de acuerdo con la planificación, metodologías, dentro del cronograma aprobado y requisitos exigidos por el Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja, por lo que autorizo su publicación y presentación a las instancias correspondientes.

Loja, 25 de mayo de 2016

  
.....  
Ing. Agr. Max Enrique Encalada Córdova, Mg. Sc.  
**DIRECTOR DE TESIS**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA  
ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA**

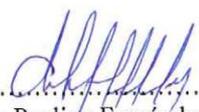
**CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del tribunal de tesis, luego de proceder a realizar y verificar las observaciones realizadas en el trabajo de investigación: **“COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO Y DESARROLLO VEGETATIVO EN PLANTAS DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.), EN CONDICIONES DE CAMPO, CON CUATRO NIVELES DE SOMBRA EN SAN ANTONIO DE LAS ARADAS DEL CANTÓN QUILANGA”**, del egresado de la Carrera de Ingeniería Agronómica, **Luis Enrique Felicito Alberca**, ha sido revisada y en la misma se han incorporado todas las sugerencias, por lo que aprobamos su impresión y publicación.

**Loja, julio 2016**



.....  
Ing. Edmigio Valdivieso Caraguay, Mg.Sc.  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



.....  
Ing. Paulina Fernández Guarnizo, Mg.Sc.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



.....  
Ing. Bolívar Peña Merino, Mg.Sc.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

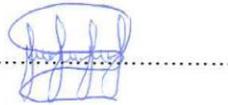
## AUTORIA

Yo, **Luis Enrique Felicito Alberca** declaro ser autor del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

**Autor:** Luis Enrique Felicito Alberca

**Firma:**



**Cédula:** 1104723745

**Fecha:** 20 de julio del 2016

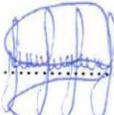
## CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, Luis Enrique Felicito Alberca declaro ser autor, de la tesis titulada “**COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO Y DESARROLLO VEGETATIVO EN PLANTAS DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.), EN CONDICIONES DE CAMPO, CON CUATRO NIVELES DE SOMBRA EN SAN ANTONIO DE LAS ARADAS DEL CANTÓN QUILANGA**”, como requisito para optar al grado de: Ingeniero Agrónomo, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo de la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 20 días del mes de julio de dos mil dieciséis, firma el autor.

**Firma:** ..... 

**Autor:** Luis Enrique Felicito Alberca

**Número de cédula:** 1104723745

**Dirección:** Cdla. Julio Ordoñez

**Correo electrónico:** luisenrique\_0792@hotmail.com

**Teléfono:** 2664-258

**Celular:** 0986521326

### DATOS COMPLEMENTARIOS

<b>Director de tesis:</b>	Ing. Agr. Max Enrique Encalada Córdova, Mg. Sc.	
<b>Tribunal de grado:</b>	Ing. Edmigio Valdivieso Caraguay, Mg.Sc.	<b>Presidente</b>
	Ing. Paulina Fernández Guarnizo, Mg.Sc.	<b>Miembro</b>
	Ing. Bolívar Peña Merino, Mg.Sc.	<b>Miembro</b>

## **AGRADECIMIENTO**

Al terminar mi investigación quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios, por haber iluminado el camino por el sendero del bien y enseñarme el verdadero valor de la vida sobre la tierra.

A mis Padres y Hermanos por su fidelidad, cariño, apoyo incondicional que me brindan para cumplir mis metas y por inculcarme valores positivos para mi bien estar en el futuro, y así poder ser un buen profesional.

Al Ing. Max Enrique Encalada Córdova Mg.Sc., director de tesis, y docentes y técnico de los laboratorios de fisiología, bromatología y dendrocronología de la madera y laboratorio de medio ambiente que contribuyeron al desarrollo del proyecto de tesis.

## **DEDICATORIA**

Con inmensa gratitud y estima dedico este trabajo y toda mi carrera universitaria a Dios por concederme salud y firmeza en cada paso que doy; a mis queridos padres José y Silvia quienes con su apoyo incondicional me inducen a seguir adelante en cada paso que doy en la vida; a mis hermanos Nelly y Eduardo por sus consejos y por ser ejemplos de perseverancia; de igual forma a mis amigos más cercanos, a esos amigos que siempre me han acompañado y con los cuales he contado desde que los conocí, y aquellos que compartieron conmigo todas esas aventuras durante nuestra estadía en la universidad.

## ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN .....	II
CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL .....	III
AUTORIA .....	IV
CARTA DE AUTORIZACIÓN .....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
DEDICATORIA .....	VII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XI
ÍNDICE DE APÉNDICES.....	XII
RESUMEN .....	XVI
ABSTRACT .....	XVII
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1. GENERALIDADES DEL CAFETO.....	5
2.2. EL CAFÉ EN EL ECUADOR.....	6
2.3. IMPORTANCIA ECONÓMICA, SOCIAL Y AMBIENTAL.....	6
2.4. ZONAS PRODUCTORAS.....	7
2.5. BOTÁNICA DEL CAFÉ.....	7
2.5.1. Clasificación botánica del café.....	8
2.5.2. Descripción botánica.....	8
2.5.2.1. Raíz.....	8
2.5.2.2. Tallo.....	9
2.5.2.3. Hojas.....	9
2.5.2.4. Inflorescencia y flores .....	10
2.5.2.5. Fruto y semilla.....	10
2.6. CONDICIONES EDAFO-CLIMÁTICAS.....	11
2.7. FISIOLOGÍA DEL CAFETO.....	12
2.7.1. La luz y la fotosíntesis.....	12
2.7.2. Densidad y apertura estomática.....	12

2.7.3.	Temperatura y efecto en las plantas .....	14
2.7.4.	Crecimiento y desarrollo .....	15
2.8.	<b>CULTIVO DE CAFÉ EN SISTEMAS AGROFORESTALES .....</b>	<b>17</b>
2.9.	<b>EFEECTO DE LA SOMBRA SOBRE EL CULTIVO DE CAFÉ.....</b>	<b>18</b>
III.	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>20</b>
3.1.	<b>LOCALIZACIÓN .....</b>	<b>20</b>
3.2.	<b>MATERIALES .....</b>	<b>21</b>
3.3.	<b>DISEÑO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>21</b>
3.3.1.	Esquema del diseño experimental .....	22
3.3.2.	Esquema de las unidades experimentales por tratamiento .....	22
3.4.	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>23</b>
3.4.1.	Implementación de la sombra.....	23
3.4.2.	Mantenimiento del cultivo .....	23
3.4.3.	Variables evaluadas.....	24
3.4.4.	Metodología para el primer objetivo. ....	24
3.4.4.1.	Altura de la planta.....	24
3.4.4.2.	Número de ramas plagiotrópicas.....	24
3.4.4.3.	Número total de hojas.....	24
3.4.4.4.	Área foliar. ....	24
3.4.4.5.	Masa seca total.....	24
3.4.5.1.	Contenido de clorofila .....	25
3.4.5.2.	Densidad estomática.....	26
IV.	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>27</b>
4.1.	<b>ALTURA DE LA PLANTA (cm).....</b>	<b>27</b>
4.3.	<b>NÚMERO DE HOJAS TOTALES.....</b>	<b>29</b>
4.4.	<b>ÁREA FOLIAR (cm<sup>2</sup>).....</b>	<b>29</b>
4.5.	<b>MASA SECA TOTAL (gr).....</b>	<b>31</b>
4.6.	<b>DENSIDAD ESTOMÁTICA (No. DE ESTOMAS *mm<sup>2</sup>).....</b>	<b>31</b>
4.7.	<b>CONTENIDO DE CLOROFILA TOTAL (ml/gr). ....</b>	<b>32</b>
V.	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>34</b>
VI.	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>37</b>

<b>VII.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>38</b>
<b>VIII.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>39</b>
<b>IX.</b>	<b>APÉNDICE.....</b>	<b>46</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Altura de las plántulas de caféto ( <i>Coffea arábica</i> L. v. caturra) en cm a los 337 DDT, con cuatro niveles de sombra en San Antonio de las Aradas, 2016. ....	<b>28</b>
<b>Tabla 2.</b> Número de ramas plagiotrópicas del caféto ( <i>Coffea arábica</i> L. v. caturra), a los 337 DDT, con cuatro niveles de sombra en San Antonio de las Aradas, 2016. ....	<b>29</b>
<b>Tabla 3.</b> Número de hojas totales del caféto ( <i>Coffea arábica</i> L. v. caturra), a los 337 DDT, con cuatro niveles de sombra en San Antonio de las Aradas, 2016.....	<b>29</b>
<b>Tabla 4.</b> Área foliar de las plántula de caféto ( <i>Coffea arábica</i> L. v. caturra), en cm <sup>2</sup> a los 166, 258 y 337 DDT, con cuatro niveles de sombra en San Antonio de las Aradas, 2016. ....	<b>31</b>
<b>Tabla 5.</b> Masa seca total de las plántula de caféto ( <i>Coffea arábica</i> L. v. caturra) en gr a los 341 DDT, con cuatro niveles de sombra en San Antonio de las Aradas, 2016. ....	<b>31</b>
<b>Tabla 6.</b> Densidad estomática en las hojas de caféto ( <i>Coffea arábica</i> L. v. caturra), en 1 mm <sup>2</sup> , a los 166 y 337 DDT, con cuatro niveles de sombra en San Antonio de las Aradas, 2015.....	<b>32</b>
<b>Tabla 7.</b> Contenido de clorofila total de las hojas de caféto ( <i>Coffea arábica</i> L. v. caturra), en ml/g a los 174 y 342 DDT, con cuatro niveles de sombra en San Antonio de las Aradas, 2015. ....	<b>33</b>

## ÍNDICE DE APÉNDICES

<b>Apéndice 1.</b>	Temperatura ambiental de los cuatro tratamientos, durante las seis evaluaciones, San Antonio de las Aradas, 2015 .....	<b>46</b>
<b>Apéndice 2.</b>	Humedad relativa del ambiente de los cuatro tratamientos, durante las seis evaluaciones, San Antonio de las Aradas, 2015. ....	<b>46</b>
<b>Apéndice 3.</b>	Precipitación, del mes de enero a noviembre del 2015, San Antonio de las Aradas, 2015. ....	<b>47</b>
<b>Apéndice 4.</b>	Temperatura ambiental del mes de enero a noviembre del 2015, San Antonio de las Aradas, 2015. ....	<b>47</b>
<b>Apéndice 5.</b>	Humedad relativa del ambiente del mes de enero a noviembre del 2015, San Antonio de las Aradas, 2015. ....	<b>48</b>
<b>Apéndice 6.</b>	Análisis de varianza de altura de la planta de café, a los 166 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016. ....	<b>48</b>
<b>Apéndice 7.</b>	Test de Tukey de la altura de la planta de café, a los 166 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016. ....	<b>48</b>
<b>Apéndice 8.</b>	Análisis de varianza de altura de la planta de café, a los 197 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016. ....	<b>49</b>
<b>Apéndice 9.</b>	Test de Tukey de la altura de la planta de café, a los 197 DDT, San Antonio de las Aradas, 2015 .....	<b>49</b>
<b>Apéndice 10.</b>	Análisis de varianza de altura de la planta de café, a los 228 DDT, San Antonio de las Aradas, 2015. ....	<b>49</b>
<b>Apéndice 11.</b>	Test de Tukey de la altura de la planta de café, a los 228 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016. ....	<b>49</b>
<b>Apéndice 12.</b>	Análisis de varianza de altura de la planta de café, a los 258 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016. ....	<b>49</b>
<b>Apéndice 13.</b>	Test de Tukey de la altura de la planta de café, a los 258 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016. ....	<b>50</b>
<b>Apéndice 14.</b>	Análisis de varianza de altura de la planta de café, a los 289 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016. ....	<b>50</b>
<b>Apéndice 15.</b>	Test de Tukey de la altura de la planta de café, a los 289 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016. ....	<b>50</b>
<b>Apéndice 16.</b>	Análisis de varianza de altura de la planta de café, a los 337 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016. ....	<b>50</b>
<b>Apéndice 17.</b>	Test de Tukey de la altura de la planta de café, a los 337 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016. ....	<b>51</b>
<b>Apéndice 18.</b>	Análisis de varianza del número de ramas plagiotrópicas de la planta de café, a los 337 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016. ....	<b>51</b>
<b>Apéndice 19.</b>	Test de Tukey del número de ramas plagiotrópicas de la planta de café, a los 337 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016. ....	<b>51</b>

<b>Apéndice 20.</b>	Análisis de varianza del número de hojas totales de la planta de café, a los 337 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016. ....	<b>51</b>
<b>Apéndice 21.</b>	Test de Tukey del número total de hojas de la planta de café, a los 337 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.....	<b>52</b>
<b>Apéndice 22.</b>	Análisis de varianza del área foliar de la planta de café, a los 166 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.....	<b>52</b>
<b>Apéndice 23.</b>	Test de Tukey del área foliar de la planta de café, a los 166 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.....	<b>52</b>
<b>Apéndice 24.</b>	Análisis de varianza del área foliar de la planta de café, a los 197 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.....	<b>52</b>
<b>Apéndice 25.</b>	Test de Tukey del área foliar de la planta de café, a los 197 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.....	<b>53</b>
<b>Apéndice 26.</b>	Análisis de varianza del área foliar de la planta de café, a los 228 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.....	<b>53</b>
<b>Apéndice 27.</b>	Test de Tukey del área foliar de la planta de café, a los 228 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.....	<b>53</b>
<b>Apéndice 28.</b>	Análisis de varianza del área foliar de la planta de café, a los 258 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.....	<b>53</b>
<b>Apéndice 29.</b>	Test de Tukey del área foliar de la planta de café, a los 258 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.....	<b>54</b>
<b>Apéndice 30.</b>	Análisis de varianza del área foliar de la planta de café, a los 289 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.....	<b>54</b>
<b>Apéndice 31.</b>	Test de Tukey del área foliar de la planta de café, a los 289 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.....	<b>54</b>
<b>Apéndice 32.</b>	Análisis de varianza del área foliar de la planta de café, a los 337 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.....	<b>54</b>
<b>Apéndice 33.</b>	Test de Tukey del área foliar de la planta de café, a los 337 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.....	<b>55</b>
<b>Apéndice 34.</b>	Análisis de varianza de masa total de las plantas de café, a los 340 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.....	<b>55</b>
<b>Apéndice 35.</b>	Test de Tukey de masa total de las plantas de café, a los 340 DDT, San Antonio de las Aradas, 2015.....	<b>55</b>
<b>Apéndice 36.</b>	Análisis de varianza densidad estomática de las plantas de café, a los 166 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016. ....	<b>55</b>
<b>Apéndice 37.</b>	Test de Tukey de densidad estomática de las plantas de café, a los 166 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.....	<b>56</b>
<b>Apéndice 38.</b>	Análisis de varianza densidad estomática de las plantas de café, a los 337 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016. ....	<b>56</b>
<b>Apéndice 39.</b>	Test de Tukey de densidad estomática de las plantas de café, a los 337 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.....	<b>56</b>

<b>Apéndice 40.</b>	Análisis de varianza contenido de clorofila total de las plantas de café, a los 174 DDT, San Antonio de las Aradas, 2015. ....	<b>56</b>
<b>Apéndice 41.</b>	Test de Tukey de contenido de clorofila total de las plantas de café, a los 174 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016. ....	<b>57</b>
<b>Apéndice 42.</b>	Análisis de varianza contenido de clorofila total de las plantas de café, a los 342 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016. ....	<b>57</b>
<b>Apéndice 43.</b>	Test de Tukey de contenido de clorofila total de las plantas de café, a los 342 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016. ....	<b>57</b>
<b>Apéndice 44.</b>	Establecimiento de la sombra con malla poli-sombra (sarán).....	<b>57</b>
<b>Apéndice 45.</b>	Determinación de la densidad estomática (Técnica de Turner) .....	<b>58</b>
<b>Apéndice 46.</b>	Plantas de café al final del experimento .....	<b>59</b>
<b>Apéndice 47.</b>	Socialización de resultados a estudiantes y egresados de la carrera de Ingeniería Agronómica. ....	<b>60</b>

**“COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO Y DESARROLLO VEGETATIVO EN PLANTAS DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.), EN CONDICIONES DE CAMPO, CON CUATRO NIVELES DE SOMBRA EN SAN ANTONIO DE LAS ARADAS DEL CANTÓN QUILANGA.”**

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la Parroquia San Antonio de las Aradas del Cantón Quilanga de la Provincia de Loja. El objetivo fue contribuir al conocimiento científico y práctico respecto a la influencia de la sombra en el crecimiento y comportamiento fisiológico del café. Los niveles de sombra que se evaluaron fueron de 0, 25, 50 y 75 %, niveles mantenidos hasta el final de la evaluación. Las evaluaciones se realizaron mensualmente a partir de los 166 días después del trasplante (DDT), las variables evaluadas fueron: altura de la planta, número de ramas plagiotrópicas, número de hojas totales, área foliar, densidad estomática; a los 174 DDT y 342 DDT se determinó el contenido de clorofila total y a los 341 DDT la masa seca total. Los mejores resultados en cuanto a altura de la planta, número de ramas plagiotrópicas, número de hojas totales, área foliar, densidad estomática, contenido de clorofila total y masa seca se presentaron en el tratamiento del 50 % de sombra, en el caso de la densidad estomática los mejores resultados se dieron en el tratamiento de plena exposición solar.

Se concluyó que el crecimiento y el desarrollo vegetativo de la plantas de café expresado en los indicadores de altura de la planta, número de ramas plagiotrópicas, número de hojas totales, área foliar y masa seca de las plantas presentó una relación directa con el factor sombra, de igual forma los indicadores fisiológicos como densidad estomática, contenido de clorofila total reaccionaron frente a dicho factor; así mismo, la mayor densidad estomática se vio reflejada en el tratamiento a plena exposición solar ya que dicho indicador se encuentra relacionado con el tamaño de las hojas expuestas totalmente a la luz solar, tienen menor área y por lo tanto la concentración de estomas por  $\text{mm}^2$  es mayor.

**Palabras clave:**Sombra, crecimiento, desarrollo, indicadores fisiológicos.

## **ABSTRACT**

This research was conducted in the Parroquia San Antonio de las Aradas del Cantón Quilanga of the Province of Loja, the objective was to contribute to the scientific and practical knowledge about the influence of shade on growth and physiological behavior of coffee. Shade levels that were evaluated were 0, 25, 50 and 75% levels maintained until the end of the evaluation. Evaluations were made monthly from the 166 days after transplant (DDT) variables were evaluated: plant height, number of branches plagiotropic, total number of leaves, leaf area, stomatal density; 174 to 342 DDT and DDT total chlorophyll content was determined and the 341 DDT total dry mass. The best results in terms of plant height, number of plagiotropic branches, total number of leaves, leaf area, stomatal density, total chlorophyll content and dry mass occurred in the treatment of 50% shade, in the case of stomatal density was best results in the treatment of full sunlight. Finally it was concluded that growth and vegetative growth of coffee plants expressed in indicators of plant height, number of plagiotropic branches, total number of leaves, leaf area and dry mass of plants showed a direct relationship with the shadow factor, just as the physiological indicators such as stomatal density, total chlorophyll content reacted to this factor; likewise the stomatal density was reflected in the treatment in full sunlight as this indicator is related to the size of the leaves exposed to full sunlight, have smaller area and therefore the concentration of stomata per  $\text{mm}^2$  is greater

### **Keywords:**

Shadow, growth, development, physiological indicators.

## **I. INTRODUCCIÓN.**

En Ecuador, la producción de café data de finales del siglo XIX y su dinamismo a lo largo del tiempo ha generado efectos positivos en ámbitos como el económico, social y ecológico (Robles, 2012). El país posee una gran capacidad como productor, convirtiéndose en uno de los pocos en el mundo que exporta todos los tipos de café: arábigo lavado, arábigo natural y robusta (PRO-ECUADOR, 2013).

El cultivo del café en Ecuador representa gran importancia en lo económico por el aporte de divisas para el Estado (Duicela y Fernández, 2001); es así que en el año 2011, se tuvo una producción de 23 829 t. y se vendieron 20 190 t (PRO-ECUADOR, 2013); en lo social contribuye con fuentes de empleo rural aproximadamente a 105.000 familias de productores; en el ámbito ambiental contribuye a la conservación de la biodiversidad, la protección de cuencas y fuentes hídricas, la captura de carbono, el uso recreacional y la belleza escénica (Duicela y Fernández, 2001).

La producción en el Ecuador ha ido disminuyendo paulatinamente a partir de 1997, contribuyendo en la actualidad en no más del 1% del volumen mundial. Uno de los problemas fundamentales es el bajo rendimiento, estimado entre 5 a 6 qq/ha al año, considerado uno de los más bajos comparado con otros países productores (Ortuño y Salinas, 2010).

Los cafetales viejos en el Ecuador, con edades que oscilan de 15 a 80 años, en la actualidad prácticamente son improductivos. Estas plantaciones deberían ser renovadas usando semilla de variedades mejoradas y tecnología apropiada, (Malacatos y Rey, 2012).

El inapropiado manejo agronómico del cultivo de café es otro de los problemas importantes, referido a: densidad inadecuada, ineficiente fertilización del suelo, ausencia de

podas, inadecuada utilización de sombra y pocas prácticas de conservación de suelos (Sotomayor y Duicela, 1995).

Según Montealegre (1954) solamente en condiciones de sombra se puede obtener una plantación de alta producción de café de buena calidad por un tiempo relativamente largo; sin embargo, DaMatta y Rodríguez (2007) difiere del criterio del autor antes mencionado, señalando que en muchas situaciones, las plantaciones de café a plena exposición presentan una productividad mayor que aquellas bajo sombrero, como consecuencia, el sombrero ha sido abandonado como una práctica cultural regular en muchas regiones productoras; según la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (2004) el empleo de especies forestales como sombra del cafetal es clave para favorecer la productividad del café. El uso y manejo apropiado de los árboles de sombra tiene por objeto evitar problemas que son perjudiciales; así por ejemplo, una sombra excesiva afecta o limita la producción y un exceso de sol acorta la vida productiva de la plantación y demanda mayor uso de insumos.

Lo antes señalado, da cuenta que el inadecuado manejo de la sombra en las plantaciones de café, afecta el desarrollo vegetativo, como expresión de la alteración fisiológica que sufren las plantas como organismos vivos en permanente relación con el ambiente.

Frente a la importancia de este cultivo y a los problemas que detienen su desarrollo, el Gobierno Nacional a través del Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca (MAGAP), impulsa el “Proyecto de Reactivación de la Caficultura Ecuatoriana”, que busca promover la productividad, rentabilidad, investigación, mejoramiento de la calidad e institucionalidad de la cadena de valor. El mencionado proyecto, propone establecer o renovar 135 mil hectáreas tecnificadas, 22 % de café robusta y 78 % de café arábigo, con la implementación de un sistema de asistencia técnica y capacitación, crédito productivo,

incentivo a la productividad e investigación participativa, con la intervención directa de las organizaciones de productores (MAGAP, 2011).

Así mismo, la carrera de Ingeniería Agronómica, cuenta con la línea de investigación denominada: “Generación y validación de tecnologías para la producción y postproducción de los cultivos agrícolas en diferentes sistemas productivos”, que guía el proceso educativo y la investigación, tanto de docentes como de estudiantes.

En la provincia de Loja, la parroquia San Antonio de las Aradas dedica gran parte de sus actividades agrícolas, a la producción y comercialización de café de altura (Celi, 2013); por tanto, vive los mismos problemas que el resto de los caficultores del país y quizá por las características edafo-climáticas sean aún mayores, debido a la irregularidad de sus terrenos y a la falta de agua de riego, lo que supone depender solamente de las condiciones ambientales, lo cual vuelve imprescindible que se cuente con acertadas estrategias de manejo de los recursos disponibles, para lograr mejor funcionamiento de la planta, las plantaciones y por ende los rendimientos.

Con estos antecedentes, la presente investigación pretende contribuir desde el punto de vista científico a identificar la influencia del factor luz en el comportamiento del cafetal y desde el punto de vista técnico práctico en el manejo del sistema productivo agroforestal en las condiciones de San Antonio de las Aradas.

Para contribuir al mejoramiento de los procesos de producción del cultivo de café se propuso los siguientes objetivos:

**Objetivo general:**

Contribuir al conocimiento científico y práctico respecto a la influencia de la sombra en el crecimiento y comportamiento fisiológico del café en San Antonio de las Aradas de la provincia de Loja.

### **Objetivos específicos:**

- Determinar el efecto de cuatro niveles de sombra en el crecimiento vegetativo del cultivo de café.
- Determinar el efecto de cuatro niveles de sombra en el comportamiento de los principales indicadores fisiológicos en el cultivo del café.
- Difundir los resultados de la investigación entre productores, profesionales o estudiantes de la localidad.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA.**

### **2.1. GENERALIDADES DEL CAFETO.**

El centro más probable de origen del café arábigo constituyen las montañas sur occidentales de Etiopía en el Nororiente de África. En el mundo sobresalen por su importancia comercial, la especie de los cafés arábigos y los de los cafés robustos. La primera especie abarca casi las tres cuartas partes de la producción mundial y se cultiva principalmente en Centro y Sur de América (Santiana, 2013).

Según Infocafe (2015) el mayor productor de café del mundo es Brasil 30.16 %, a pesar de que Vietnam recientemente consiguió la segunda posición en el mercado con grandes cantidades de café Robusta con 19.18 %, otros países productores de café son Colombia 9.42 %, Indonesia 7.67 %, Etiopía 4.46 %, India 4.07 %, Honduras 4.01 %, Uganda 3.32 %, México 2.72 %, Guatemala 2.37 %, Perú 2.23 %, Nicaragua 1.52 %, Costa de Marfil 1.26 %, Costa Rica 1.04 %, Kenia 0.58 %, Tanzania 0.56 %, Papúa Nueva Guinea 0.56 %, El Salvador 0.53 %, Ecuador 0.49 %, Camerún 0.40 %.

Los mayores exportadores de café son ahora grandes consumidores, los países de Brasil, Vietnam y Colombia se han convertido en consumidores. Se prevé que las compras de café envasado en Brasil asciendan a 1,03 millones de toneladas al año, superando a Estados Unidos como el principal consumidor de café del mundo por primera vez desde al menos 1999, según los datos de la firma de investigación de mercado Euromonitor International (ASOEXPORT, 2013).

La producción mundial de café en el año 2014 disminuyó 5.34% con respecto al año 2013. Este comportamiento no incidió directamente en el nivel de exportaciones e importaciones, las cuales también aumentaron. Los precios también se vieron influenciados

por el descenso de la producción, ya que han mostrado un aumento en el año 2014, alcanzado una cifra de 2,323 USD/t para café robusta y 4,463 USD/t para café arábigo (CGSIN, 2014).

## **2.2. EL CAFÉ EN EL ECUADOR.**

La producción nacional del año 2014 disminuyó 25.82% con respecto al año 2013, dicho comportamiento es similar a la evolución de la producción internacional. Esta baja en la producción nacional influyó en la disminución de las exportaciones de café en grano. El descenso en la producción contribuyó al aumento de los precios de café robusta y arábigo a nivel de productor y mayorista, la superficie nacional cosechada disminuyó un 21.70% con respecto al año 2012, esto influyó en la caída en los niveles de rendimiento en 25.82% (CGSIN, 2014).

Durante el año 2014, los precios a nivel nacional de café robusta y de café arábigo mostraron un comportamiento creciente con respecto al año 2013. Debido al incremento en los precios internacionales, los precios de café robusta a nivel productor y mayorista (centros de acopio/precio de venta) incrementaron en 2.67% y 1.93% con respecto al año 2013. El precio promedio a nivel de productor para el año 2014 fue de 13.48 USD/qq, mientras que, en el 2013 fue de 13.13USD/qq. A nivel mayorista, el precio para el año 2014 fue de 94.21 USD/qq y en el 2013 de 92.43 USD/qq (CGSIN, 2014).

## **2.3. IMPORTANCIA ECONÓMICA, SOCIAL Y AMBIENTAL.**

El café, ha sido uno de los cultivos que se han destacado en las exportaciones agrícolas del país, el mismo que conjuntamente con el cacao y el banano han constituido fuente de empleo y de divisas por décadas para la economía ecuatoriana, dando lugar de esta manera al desarrollo de otras importantes actividades económicas como el comercio, la industria, entre otras (Aspiazu y Navarro, 2009).

En el ámbito social la generación de empleo directo para 105,000 familias de productores, fuente de trabajo a familias vinculadas a las actividades de comercio, agroindustria artesanal, industria de soluble, transporte y exportación, ocupación de muchas familias dedicadas a la provisión de bienes y servicios vinculadas del sector, organización de un importante segmento de los cafetaleros, que forman un amplio tejido social y participan activamente en la vida nacional (PRO-ECUADOR, 2013).

En el ámbito ambiental la amplia adaptabilidad de los cafetales a los distintos agroecosistemas de la Costa, Sierra, Amazonía e Islas Galápagos, los cafetales, en su mayor parte, están cultivados bajo árboles de alto valor ecológico y económico, en diversos arreglos agroforestales, que constituyen un hábitat apropiado para muchas especies de la fauna y flora nativas, contribuyen a la captura de carbono de manera similar a los bosques secundarios, regulan el balance hídrico de los ecosistemas, en el manejo tecnificado no requieren de una alta dependencia de agroquímicos ( PRO-ECUADOR, 2013).

#### **2.4. ZONAS PRODUCTORAS.**

En el Ecuador, las zonas productoras de café en la región costa son: Esmeraldas 4,33 %, Manabí 32.33 %, Guayas 6.42 %, Los Ríos 6.07 % y El Oro 4.37 %; en la región sierra: Imbabura 0.14 %, Pichincha 4.22%, Cotopaxi 1.62 %, Bolívar 3.18 %, Chimborazo 0.38 %, Cañar 0.14 %, Azuay 0.19% y Loja 13.46 %; en la región Amazónica: Sucumbíos 8.84 %, Orellana 8.88 %, Napo 2.13 %, Pastaza 0.07 %, Morona Santiago 0.25 %, Zamora Chinchipe 2.52 % y en la región insular Galápagos 0.53 % (COFENAC, 2010).

#### **2.5. BOTÁNICA DEL CAFÉ.**

Según Aranibar (2010) el cafeto es el nombre que identifica a las plantas de género *Coffea* que está constituido por más de 800 especies, todas diploides y alógamas con excepción de *Coffea arabica* que es tetraploide y autógena. El café es el término con el que se

identifica a los frutos y semillas de los cafetos, así como a sus productos derivados de las distintas fases de procesamiento, destinados al consumo humano.

### 2.5.1. Clasificación botánica del café

Según Aranibar (2010), la clasificación botánica del café es:

<b>Reino</b>	Vegetal
<b>Sub-reino</b>	Angiospermas
<b>Clase</b>	Dicotiledóneas
<b>Sub-clase</b>	Gamopétalas inferiorvariadas
<b>Orden</b>	Rubiales
<b>Familia</b>	<i>Rubiáceae</i>
<b>Género</b>	<i>Coffea</i>
<b>Sub-género</b>	<i>Eucoffea</i> <i>Coffea arabica</i> L. <i>Coffea canephora</i> Pierre ex Froehner <i>Coffea liberica</i> Hiern <i>Coffea congensis</i> Froehner
<b>Especies principales</b>	<i>Coffea eugenioides</i> Moree <i>Coffea dewevrei</i> De wild. & T. Durand <i>Coffea stenophyla</i> G. Don <i>Coffea racemosa</i> Lour <i>Coffea kapakata</i> (A. Chev.) Bridson <i>Coffea brevipes</i> Hiern

### 2.5.2. Descripción botánica.

#### 2.5.2.1. Raíz.

Al igual que en el tallo en el sistema radical hay un eje central o raíz pivotante que crece y se desarrolla en forma cónica. Esta puede alcanzar hasta un metro de profundidad si las condiciones del suelo lo permiten (Arcila, 2007).

De la raíz pivotante salen dos tipos de raíces: unas fuertes y vigorosas que crecen en sentido lateral y que ayudan en el anclaje del arbusto y otras que salen de éstas de carácter secundario y terciario. Normalmente éstas se conocen como raicillas o pelos absorbentes (Arcila, 2007).

El sistema radical del cafeto es superficial, ya que se ha constatado que alrededor del 94% de las raíces se encuentran en el primer pie de profundidad en el suelo. Las raíces laterales pueden extenderse hasta un metro alejadas del tronco. Generalmente la longitud de las raíces coincide con el largo de las ramas (Arcila, 2007).

#### **2.5.2.2. Tallo**

El cafeto normalmente forma un solo eje o tallo central, con nudos y entrenudos formados por el crecimiento del ápice vegetativo. El tallo del cafeto en sus primeros 9 a 11 nudos presenta sólo hojas, dispuestas en filotaxia 2/5. A partir del doceavo nudo aparecen las ramas primarias, dispuestas en inserción opuestas entre sí, formando pares, los mismos que llevan orientación alternativa, dando a la parte aérea de la planta una formación cónica (Arcila, 2007).

#### **2.5.2.3. Hojas**

Las hojas aparecen en las ramas laterales o plagiotrópicas en un mismo plano y en posición opuesta. Tiene un pecíolo corto, plano en la parte superior y convexo en la inferior. La lámina es de textura fina, fuerte y ondulada. Su forma varía de ovalada (elíptica) a lanceolada. El haz de la hoja es de color verde brillante y verde claro mate en el envés. En la parte superior de la hoja las venas son hundidas y prominentes en la cara inferior. Su tamaño puede variar de 3 a 6 pulgadas de largo (Arcila, 2007).

La vida de las hojas en la especie arábica es de 7 a 8 meses mientras que en la *canephora* es de 7 a 10 meses (Arcila, 2007).

#### **2.5.2.4. Inflorescencia y flores**

Las inflorescencias se encuentran formando grupos en las axilas de las hojas de las ramas plagiotrópicas y ocasionalmente en ramas ortotrópicas de madera tierna (Arcila, 2007).

Las flores son pequeñas, de color blanco y de olor fragante. Los cinco pétalos de la corola se unen formando un tubo. El número de pétalos puede variar de 4 a 9 dependiendo de la especie y la variedad. El cáliz está dividido en 4 a 5 sépalos (Arcila, 2007).

Las yemas florales aparecen generalmente a los dos o tres años dependiendo de la variedad. Nacen en las axilas de las hojas en las ramas laterales. Estas yemas tienen la capacidad de evolucionar en ramificaciones. La florecida no alcanza su plenitud hasta el cuarto o quinto año (Arcila, 2007).

La inflorescencia del café es una cima de eje muy corto que posee un número variado de flores. En los arábigos es de 2 a 9 y en los robustoides de 3 a 5. Como regla general se forman en la madera o tejido producida el año anterior. En las partes lignificadas del arbusto que posean de uno a tres años aparecen en gran número (Arcila, 2007).

Los granos de polen en la especie *canephora* y *liberica* son fácilmente transportados por brisas leves mientras que en la especie arábigo no, debido a que son pesados y pegajosos (Arcila, 2007).

Las especies *canephora* y *liberica* son especies alógamas y los arábigos son autógamos. En las especies donde ocurre la polinización cruzada el elemento polinizador principal es el viento y luego los insectos. En los arábigos el 94% de la polinización es autopolinización y sólo en un 6% puede ocurrir polinización cruzada (Arcila, 2007).

#### **2.5.2.5. Fruto y semilla.**

El fruto del café es una drupa que contiene dos semillas, las que se encuentran separadas por el tabique interno del ovario. El color verde del fruto, según su evolución hacia

la maduración, cambia a verde amarillento y posteriormente a rojo vinoso o amarillo típico de los cultivares de cafetos (Arcila, 2007).

La semilla está cubierta por una película planteada o espermoderma, formada por varias capas de células fibrosas, translúcidas, de paredes finas. En la semilla se distingue el endospermo y en parte basal el embrión. Las células del endospermo contienen entre otras sustancias, almidón, aceites, azúcares y alcaloides como cafeína. El embrión ubicado en la parte basal de la semilla, mide de 2 a 5 mm de largo y consta de un hipocótilo cilíndrico y 2 cotiledones superpuestos (Arcila, 2007).

## **2.6. CONDICIONES EDAFO-CLIMÁTICAS.**

Para el cultivo del café, al igual que para cualquier otro, existen características climáticas y edáficas bien definidas, las cuales en cuanto más se aproximen a las condiciones ideales requeridas por el cultivo, en sus diferentes fases fenológicas, mayores posibilidades tendrá de expresar todo su potencial genético, lo que se traducirá en mayor producción, que es lo que en última instancia le interesa al caficultor (Alarcón, 2011).

La temperatura es uno de los elementos del clima que influye en la regulación de los procesos fisiológicos del cafeto, tales como: germinación de semilla, respiración, transpiración, fotosíntesis, absorción de agua y nutrientes, floración, fructificación y maduración, entre otros. La temperatura óptima para el cultivo del cafeto varía según la especie, siendo en general de 15° a 25° C, si la temperatura es muy fría (menos de 15° C), el cafeto se desarrolla lentamente y si la temperatura es muy alta (mayores de 30° C), el proceso de desarrollo es precoz y la planta se agota más rápidamente (Alarcón, 2011).

Las regiones cafeteras están entre 200 a 2000 metros de altitud, con un rango entre 17 a 23 ° C todo el año, una precipitación pluvial de 2.000 milímetros anuales repartidos durante todo el año (Duicela *et al.*, 2002)

## **2.7. FISIOLÓGÍA DEL CAFETO.**

### **2.7.1. La luz y la fotosíntesis.**

La radiación disponible influye en numerosos procesos fisiológicos, morfológicos y reproductivos de plantas y animales, y afecta de forma muy significativa al funcionamiento del ecosistema (Valladares, 2004). En las plantas cumple un papel esencial al participar en un proceso tan vital, importante y complejo como la fotosíntesis, para el proceso de la fotosíntesis el bióxido de carbono atmosférico (CO<sub>2</sub>) y el agua (H<sub>2</sub>O) son indispensables en tal proceso, complementados con los iones minerales. (Barreiro, 2015).

La fotosíntesis es un proceso físico-químico por el cual las plantas, las algas y las bacterias fotosintéticas utilizan la energía de la luz solar para sintetizar compuestos orgánicos. En plantas, algas y en algunos tipos de bacterias fotosintéticas el proceso conlleva la liberación de oxígeno molecular y la utilización de dióxido de carbono atmosférico para la síntesis de compuestos orgánicos. A este proceso se le denomina fotosíntesis oxigénica (Pérez, 2011).

### **2.7.2. Densidad y apertura estomática**

Los estomas, pueden considerarse como válvulas de conducción hidráulica en la superficie de la hoja que se abren para permitir la toma de CO<sub>2</sub> y se cierran para prevenir la pérdida excesiva de humedad, lo cual es regulado por condiciones ambientales, tales como la luminosidad, el CO<sub>2</sub> y la humedad (Medina *et al.*, 2008).

En el proceso de la transpiración, las plantas fijan CO<sub>2</sub> proveniente de la atmósfera y a la vez existe pérdida de agua, en dicho intercambio se determina el uso eficiente de agua en las plantas, que dependerá en primer lugar de las características propias de la especie y variedad que tengan relación con la capacidad de optimización de los procesos de asimilación de

carbono y evapotranspiración de agua; y en segundo lugar de las condiciones ambientales donde crece y se desarrolla la planta (Gil *et al.*, 2007).

Son diversos los factores que controlan la apertura y cierre de los estomas: la concentración de CO<sub>2</sub> en el interior de las hojas, humedad atmosférica, potencial hídrico de la hoja, temperatura y viento, las plantas pueden ser evitadoras o tolerantes en condiciones de sequía, las evitadoras previenen el daño por déficit hídrico mediante un rápido cierre de estomas, evitando así cambios en el potencial hídrico de la planta pero limitando la asimilación de carbono. Las plantas tolerantes reducen la pérdida de agua manteniendo cierta asimilación de carbono y su potencial hídrico se reduce durante horas de luz y se recupera por la noche (Reyes *et al.*, 2015).

El cafeto, el trigo y el algodón son ejemplos de plantas con metabolismo C<sub>3</sub>, que se caracterizan por mantener los estomas abiertos durante el día para captar dióxido de carbono, en tanto que la fijación de dióxido de carbono en hidratos de carbono (como azúcares) ocurre independientemente de la luz, cuando hay un exceso de dióxido de carbono en el ambiente, las plantas C<sub>3</sub> lo acumulan más, así, este gas, al ser abundante, permite que las plantas sintetizen más glucosa, esto quiere decir que se esperaría que en concentraciones muy altas de dióxido de carbono, las plantas con metabolismo C<sub>3</sub> se vean beneficiadas en cuanto al crecimiento y reproducción (Pérez *et al.*, 2015).

Estudios realizados en trigo han demostrado que el porcentaje de biomasa seca aumenta en un 32 % en promedio luego de que este cultivo es expuesto a altas concentraciones de dióxido de carbono. Esto se debe a que, al aumentar la concentración de este gas, se suprime la fotorrespiración de la planta y el oxígeno no se incorpora en la misma tasa al metabolismo. Así, hay disponibles más átomos de carbono para formar los tejidos de la planta, lo que se traduce en mayor biomasa (Streck, 2005).

Ainsworth y Long (2005) encontraron que cultivos de algodón (*Gossypium hirsutum*) expuestos a concentraciones altas de dióxido de carbono presentaban incrementos del 42 % en su rendimiento. Esto lo explican al asegurar que a altas concentraciones del gas, la hoja se desarrolla con mayor rapidez y presenta un mayor número de flores, y se encontró además que la fructificación duraba más.

La cantidad de estomas en la superficie haz en comparación envés es característica distintiva de diferentes especies, como también depende de las condiciones ambientales en las que se encuentre la planta. (Bieto *et al.*, 2008), (Cañizares *et al.*, 2003) manifiestan que la densidad estomática en angiospermas un rango de 100 a 300 estomas/mm<sup>2</sup> en cuanto en plantas c3 determinó para el envés de las hojas de 40 a 300 estomas/mm<sup>2</sup>.

### **2.7.3. Temperatura y efecto en las plantas**

La tasa fotosintética es un factor esencial en la producción de materia seca. Esta depende de las especies, e incluso de las variedades, igualmente es muy afectada por la nutrición mineral y el régimen de radiación solar durante el período de crecimiento. Por otro lado, la temperatura es uno de los factores físicos de mayor importancia que influye directamente en el crecimiento y longitud de la planta durante su ciclo vegetativo (Hernández y Soto, 2013).

La temperatura controla la tasa de desarrollo de muchos organismos, que requieren la acumulación de cierta cantidad de calor para pasar de un estadio a otro en su ciclo de vida, la medida de este calor acumulado se conoce como tiempo fisiológico. (Soto *et al.*, 2009), así mismo (Noriega *et al.*, 2011) manifiesta que la temperatura es uno de los parámetros climáticos que mayor influencia ejerce sobre las plantas.

A medida que la temperatura aumenta también lo hace la velocidad del crecimiento vegetal hasta alcanzar un valor óptimo, por encima del cuál un aumento de temperatura

provoca una disminución de ella, la principal razón de esto es el efecto de la temperatura sobre las reacciones enzimáticas pues a medida que la temperatura aumenta se incrementa la energía cinética de las moléculas aumentando la velocidad de las reacciones; sin embargo, si la temperatura aumenta mucho se alteran los procesos fisiológicos al producirse una desnaturalización de las enzimas y desorganización de algunas estructuras celulares. En cambio, las bajas temperaturas afectan los procesos fisiológicos disminuyendo la velocidad de las reacciones enzimáticas (Fernández *et al.*, 2006).

#### **2.7.4. Crecimiento y desarrollo**

El crecimiento se define como un incremento constante en el tamaño de un organismo determinado por procesos de morfogénesis y diferenciación; el primero es el desarrollo de la forma o modelo de la célula u órgano, mientras que el segundo es el proceso por el cual las células cambian estructural y bioquímicamente para formar o adquirir funciones especializadas (Hernández y Soto, 2012).

Santos *et al.* (2010) se refiere al crecimiento como un incremento irreversible de materia seca o volumen, cambios en tamaño, masa, forma o número, como una función del genotipo y el complejo ambiental, dando como resultado un aumento cuantitativo del tamaño y peso de la planta. Es un proceso complejo que incluye muchos procesos como división celular, elongación, fotosíntesis, síntesis de otros compuestos, respiración, traslocación, absorción y transpiración.

El término “análisis de crecimiento” se refiere al uso de métodos cuantitativos que describen todo el sistema de la planta con crecimiento bajo condiciones naturales, semi naturales o controladas. El análisis de crecimiento provee la capacidad para interpretar la forma y función de la planta (Rojas *et al.*, 2012).

Para realizar un análisis de crecimiento se requiere medir las variables área foliar y peso seco, registradas durante las etapas de desarrollo del cultivo. La primera medida se refiere a la magnitud del aparato fotosintético laminar del material vegetal, el cual transforma la energía física (radiación) por medio de la fotosíntesis y la respiración en la energía química (carbohidratos) que necesita la planta. El área foliar puede ser descrita en términos de tamaño del IAF, el cual determina la eficiencia de la intercepción de luz por la planta, y duración del área foliar, que es la habilidad de la planta para producir y mantener el área foliar (Noriega *et al.*, 2011).

El análisis matemático de crecimiento usa medidas directas, tales como Peso Seco (W), Área Foliar Total (AF) y Tiempo (T), mientras que las medidas derivadas Tasa Relativa de Crecimiento (TRC), Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC), Relación de Área Foliar (RAF), Tasa de Asimilación Neta (TAN), Área Foliar Específica (AFE), Índice de Área Foliar (IAF) y Duración de Área Foliar (DAF) son calculadas a partir de las medidas directas (Santos *et al.*, 2010).

### 2.7.5. Sinopsis de formulas y unidades para índices de crecimiento en vegetales

Índices de Crecimiento	Nombre	Fórmulas Valor Instantáneo	Fórmulas para Valor Medio	Unidades
Tasa Relativa de Crecimiento	TRC	$\frac{d(LN W)}{dT}$	$\frac{LNW_2 - LNW_1}{T_2 - T_1}$	Peso*Peso <sup>-1</sup> *Tiempo <sup>-1</sup>
Tasa de Asimilación Neta	TAN	$\frac{1}{AF} * \frac{dW}{dT}$	$\frac{W_2 - W_1}{T_2 - T_1} * \frac{LN AF_2 - LN AF_1}{AF_2 - AF_1}$	Peso*Área <sup>-1</sup> *Tiempo <sup>-1</sup>
Índice de Área Foliar	IAF	$\frac{AF}{As}$	$\frac{AF_2 - AF_1}{As}$	Adimensional
Relación de Área Foliar	RAF	$\frac{AF}{W}$	$\frac{(AF_1 / W_1) + (AF_2 / W_2)}{2}$	Área*Peso <sup>-1</sup>
Tasa de Crecimiento del Cultivo	TCC	$\frac{1}{As} * \frac{dW}{dT}$	$\frac{1}{As} * \frac{W_2 - W_1}{T_2 - T_1}$	Peso*Área <sup>-1</sup> *Tiempo <sup>-1</sup>
Duración de Área Foliar	DAF	No existe	$\frac{(LAF_1 + LAF_2)(T_2 - T_1)}{2}$	Tiempo

Símbolos Utilizados: W = Peso Seco Total; T = Tiempo; AF = Área Foliar; As = Área de Suelo; WF = Peso Seco Foliar; LN = Logaritmo Natural.

Estos índices permiten analizar el crecimiento de la planta a través de la acumulación de materia seca, la cual depende del tamaño del área foliar, de la tasa a la cual funcionan las hojas y el tiempo que el follaje persiste. De esta forma se tienen índices relacionados con cada uno de estos aspectos, por un lado el índice de área foliar (IAF) representa la relación entre el área foliar o superficie fotosintetizadora y el área de suelo ocupada por el cultivo y la relación de área foliar (RAF) que es definida como la relación entre el área foliar total y el peso seco total. Otros índices permiten evaluar la eficiencia de la planta, como la tasa relativa de crecimiento (TRC) que es denominado el índice de eficiencia de producción de materia seca, la tasa de asimilación neta (TAN) que es un indicador de la eficiencia fotosintética promedio, ya que mide la ganancia neta de asimilados por unidad de área foliar y por unidad de tiempo, y la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) que es considerado un índice de la productividad agrícola, mide la ganancia en peso de una comunidad de plantas por unidad de área de suelo y por unidad de tiempo y usualmente es similar para todas aquellas variedades de alto rendimiento. En cuanto al tiempo que el follaje persiste, se tiene la duración de área foliar (DAF) como índice que representa la producción de hojas en el periodo de crecimiento del cultivo (Santos *et al.*, 2010).

La determinación del área foliar de las plantas, así como la duración de la misma, tienen gran importancia en los estudios relacionados con su crecimiento y desarrollo, dado que en las hojas se sintetizan los carbohidratos que van a repartirse entre los diferentes órganos. Esas condiciones permiten una mayor tasa de crecimiento vegetativo, que refleja el aumento de rendimiento del cultivo (Hernández y Soto, 2013)

## **2.8. CULTIVO DE CAFÉ EN SISTEMAS AGROFORESTALES**

La agroforestería son aquellos sistemas donde hay una combinación de especies arbóreas con especies arbustivas o herbáceas, generalmente cultivadas. Este término es muy

amplio pues incluye desde la simple presencia de algunos árboles (frutales, maderables) en combinación con cultivos (Sánchez y Rosales, 1998).

El potencial de producción, la competencia por el agua y los nutrientes, y la incidencia de plagas y enfermedades son aspectos importantes para determinar si el sombrío favorece o no a las plantaciones de café. En sistemas de monocultivo el café requiere por lo general gran cantidad de insumos con el fin de maximizar la producción, lo que además se asocia con la degradación del suelo y la polución ambiental. La producción de café a pleno sol exige mayores gastos para su manejo, por otro lado, en sistemas agroforestales hay mejorado la conservación de los recursos naturales y menor aplicación de insumos, lo que se traduce en menores costos de producción, además, la explotación de los productos adicionales de los árboles utilizados para el sombrío resulta en ingresos adicionales para el agricultor, lo cual ha estimulado recientemente el interés sobre el uso de árboles para sombra (DaMatta y Rodríguez, 2007).

Por otra parte es bueno mencionar que en los últimos años se ha desarrollado en los trópicos un marcado interés por los sistemas agroforestales, como una modalidad de sistemas de producción que además de tener ciertas ventajas ecológicas sobre los monocultivos, permite obtener tanto productos agrícolas como forestales en un mismo sitio (Fournier, 1988).

## **2.9. EFECTO DE LA SOMBRA SOBRE EL CULTIVO DE CAFÉ.**

Según Farfán y Mestre (2013), los cafetales bajo sombra han jugado un papel importante en la protección de la biodiversidad, de igual forma los árboles de sombrío en los cafetales permiten regular la disponibilidad del agua y atenuar los efectos negativos que los períodos prolongados de sequía causan sobre la producción, además, contribuyen a mantener la fertilidad del suelo, reciclan nutrimentos, aportan gran cantidad de materia orgánica y reducen la erosión; así mismo Arcila (2007) considera que los arboles establecidos como

sombra por el cultivo de café interfieren en la acción directa de los rayos solares lo que permite en las plantas de café menor transpiración y mayor actividad fotosintética, por lo tanto se obtendrá mayor desarrollo y crecimiento de la planta.

La sombra no es universalmente benéfica, y las necesidades de utilizarla están en función del clima, así mismo, bajo sombra ocurre una reducción de la producción del café, la cual es compensada con un incremento en la longevidad del cultivo (Beer *et al.*,1998).

Arcila (2007), considera que una hoja sana puede durar en promedio de 10 a 15 meses en un cafetal bajo sombra y de 9 a 14 meses en cafetal a plena exposición solar, por tanto, la incidencia de la luz es sustancial y debe mantenerse en límites razonables no mayores al 50%, para café, el límite de sombra aceptable está entre el 40 y el 70%.

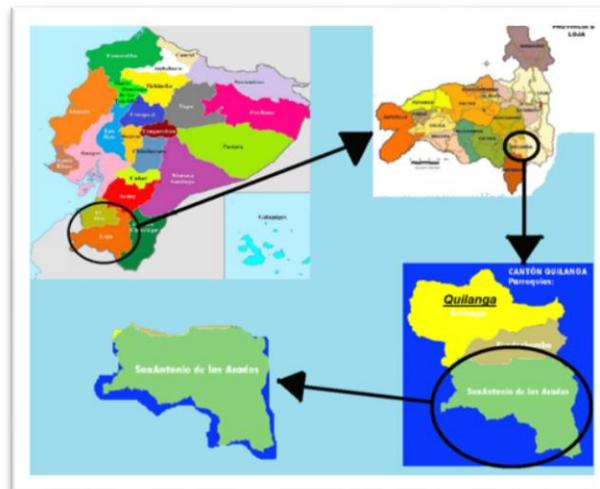
### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. LOCALIZACIÓN

Según Conde (2013), la Parroquia San Antonio de las Aradas pertenece al cantón Quilanga, provincia de Loja. Se ubica en el Sur Oeste de la República del Ecuador, al sur este de la provincia de Loja y en la parte Sur del cantón Quilanga. Tiene una distancia aproximada a la ciudad de Loja de 120 km y 24 km a la cabecera cantonal de Quilanga, siendo sus coordenadas:

- Norte: 9 520 200 m
- Sur: 9 507 000 m
- Este: 673 250 m
- Oeste: 688 275 m

Sus límites son: al Norte con la parroquia rural de Fundochamba y parroquia urbana de Quilanga; Al Sur con la parroquia El Ingenio del Cantón Espíndola; al Este con las parroquias Vilcabamba del cantón Loja; al Oeste con la parroquia El Lucero del cantón Calvas (Figura 1).



**Figura 1.** Localización de la parroquia de San Antonio de las Aradas en la provincia de Loja – Ecuador.

### 3.2. MATERIALES

Se utilizaron los siguientes materiales y equipos en el proceso de implementación del experimento y el levantamiento de información:

Motosierra, machetes, postes de madera, grapas, alambre, barretas, lampas, poli sombra (sarán), cinta métrica, regla de 30 cm., calibrador pie de rey milimetrado, capsulas de porcelana para secar el suelo, libreta de campo, luxómetro, esmalte rojo y transparente, termo higrómetro, estufa, refrigeradora, espectrofotómetro, micro pipetas, pipetas, microscopio Olympus BX41, porta y cubre objetos, tubos de ensayo, vaso de precipitación, puntas, termómetro, papel aluminio, papel toalla, balanza de precisión, fundas de papel, vasos plásticos de 1000 ml, cámara fotográfica, computadora, papel, material bibliográfico

### 3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental que se utilizó fue completamente al azar.

#### **Modelo estadístico:**

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

#### **Donde:**

$Y_{ij}$ : Observación en la unidad experimental sometida al i-ésimo nivel de sombra en la j-ésimo repetición.

$\mu$  : Media general del experimento.

$\alpha_i$  : Efecto del i-ésimo nivel de sombra.

$\varepsilon_{ij}$  : Efecto del error experimental.

$i = 1, 2, 3.$

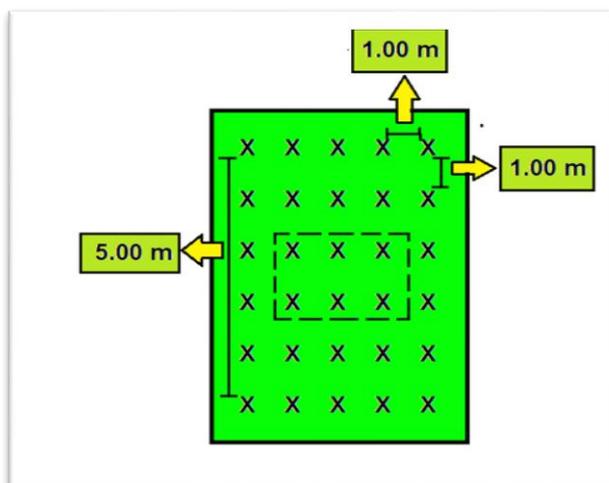
$j = 1, 2, 3, 4$

### 3.3.1. Esquema del diseño experimental



- 4 niveles de sombra: 0, 25, 50 y 75 %.
- 3 repeticiones
- 12 unidades experimentales
- La distancia entre cada unidad experimental es de tres metros tanto en forma vertical como horizontal.

### 3.3.2. Esquema de las unidades experimentales por tratamiento



- Las plántulas de café que se utilizaron en el experimento fueron de 6 meses de edad.
- La distancia de siembra fue de un metro entre plantas y un metro entre hileras.

- Las dimensiones de la unidad experimental fueron de cinco metros de ancho por seis metros de largo.
- El número total de plantas por unidad experimental fue de 30 plantas
- Se evaluaron 6 plantas por unidad experimental.

### **3.4. METODOLOGÍA**

#### **3.4.1. Implementación de la sombra**

La sombra para los tratamientos de 25, 50 y 75 % se realizó con malla poli-sombra (sarán), primeramente se ubicó postes de madera en cada una de las esquinas de los tratamientos y se extendió alambre alrededor de los mismos para amarrar la malla, la medición de la sombra se la hizo con luxómetro, en cuanto al tratamiento del 0 % de sombra se escogió un lugar a plena exposición solar.

#### **3.4.2. Mantenimiento del cultivo**

Las actividades del mantenimiento del cultivo no fueron motivo de experimentación, se realizaron de acuerdo con las prácticas del sector y para todos los tratamientos por igual.

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>FECHA</b>
Siembra	Sábado 31 de enero del 2015
Resiembra y deshierba manual	Viernes 6 de febrero del 2015
Fertilización foliar con Evergreen en una cantidad de 250 cm <sup>3</sup> /bomba de 40 L.	Viernes 13 de febrero del 2015
Fertilización con abono completo (N, P, K) en razón de 10 gr/planta y riego por aspersión.	Sábado 23 de mayo del 2015
Riego por aspersión	Sábado 12 de septiembre del 2015
Riego por aspersión	Viernes 16 de octubre del 2015
Deshierba manual	Viernes 18 de diciembre del 2015

### **3.4.3. Variables evaluadas.**

La recolección de los datos se realizó desde el 16 de julio del 2015 hasta el 03 de enero del 2016, los datos se analizaron estadísticamente en el programa estadístico InfoStat-Ink, las variables que se evaluaron fueron las siguientes:

#### **3.4.4. Metodología para el primer objetivo.**

“Determinar el efecto de cuatro niveles de sombra en el crecimiento vegetativo del cultivo de café”.

##### **3.4.4.1. Altura de la planta.**

Cada 30 días, con la ayuda de una regla milimetrada se tomó la medida desde el cuello hasta el ápice de la planta.

##### **3.4.4.2. Número de ramas plagiotrópicas.**

Se contabilizó el número de ramas plagiotrópicas por planta evaluada.

##### **3.4.4.3. Número total de hojas.**

Se contabilizó el número de pares de hojas por planta seguidamente se la multiplicó por dos y se obtuvo el número de hojas totales en cada unidad experimental.

##### **3.4.4.4. Área foliar.**

Se determinó el área foliar, la cual se calculó a partir de las medidas lineales del largo y el ancho de las hojas y con la aplicación de la siguiente fórmula (Soto 1980):

$$AF = \{[0.64 \times (L \times A)] + 0.49\}$$

##### **3.4.4.5. Masa seca total**

Al final de la evaluación se realizó el procedimiento para obtener masa seca de las plantas de café, que consistió en tomar 9 plantas de cada tratamiento, para luego ser llevadas a laboratorio en donde se procedió a lavar cada una de las mismas y a ubicarlas en fundas de

papel para posteriormente colocarlas en la estufa a 80 °C por 24 horas, por último se pesó cada una de las fundas.

### **3.4.5. Metodología para el segundo objetivo**

“Determinar el efecto de cuatro niveles de sombra en el comportamiento de los principales indicadores fisiológicos en el cultivo del café”.

#### **3.4.5.1. Contenido de clorofila**

Esta variable se evaluó a los 174 y 342 DDT y se determinó la concentración de clorofila a, b y total con el siguiente protocolo (Rodés y Collazo, 2006).

Se comenzó con el tratamiento de la muestra que consistió en la toma de hojas totalmente sanas de plantas de café, seguidamente se lavo y seco cada una de las muestras y se cortó secciones de hoja sin nervaduras.

Para extraer los pigmentos de las hojas se peso un gramo de hoja fresca, luego se introdujo en un tubo de ensayo previamente envueltos en papel aluminio para evitar que penetren los rayos solares y con 6 ml de etanol al 90 % de modo que los segmentos queden bien sumergidos en el solvente orgánico, seguidamente se llevo las muestras a baño maría a 80°C durante 20 minutos para que los pigmentos (clorofilas) salgan al exterior y se disuelvan en el solvente, al cabo de este tiempo los segmentos quedaron totalmente decolorados y el solvente de color verde por último se sacó los restos de muestra de los tubos.

Para cuantificar los pigmentos se tomo 1 ml del sobrenadante de cada uno de los extractos y se diluye hasta 10 ml con el solvente utilizado, después se midió en un espectrofotómetro a longitudes de onda deseada, el blanco es el solvente utilizado, bien tapado para evitar que se volatilice, según Mackinney (1941) las ondas para medir la cantidad la absorbancia es 645 y 663 nm, de igual manera se utilizó las formulas siguientes:

$$Ca \left( \frac{ug}{ml} \right) = [(12.7 \times A 663) - (2.69 \times A 645)] \times \frac{\text{volúmen del extracto ml}}{\text{peso de la hoja gr}}$$

$$Cb \left( \frac{ug}{ml} \right) = [(22.9 \times A 645) - (4.68 \times A 663)] \times \frac{\text{volúmen del extracto ml}}{\text{peso de la hoja gr}}$$

$$C \text{ total} \left( \frac{ug}{ml} \right) = [(20.2 \times A 645) + (8.02 \times A 663)] \times \frac{\text{volúmen del extracto ml}}{\text{peso de la hoja gr}}$$

Todo el protocolo que se realizó se trabajó en luz tenue con el fin de no alterar los pigmentos de clorofila.

#### **3.4.5.2. Densidad estomática.**

Para obtener la información, se aplicó la técnica de la impronta; la cual consistió en colocar esmalte transparente en el envés de las hojas, luego se sacó la lámina y se colocó sobre un porta objeto. Para el conteo se realizó la observación en un microscopio Olympus BX41 con aumento de 10 X, las imágenes se capturaron con el programa Anfinity Analyze Release 5.0.

#### **3.4.6. Metodología para el tercer objetivo**

“Difundir los resultados de la investigación entre productores, profesionales o estudiantes de la localidad”.

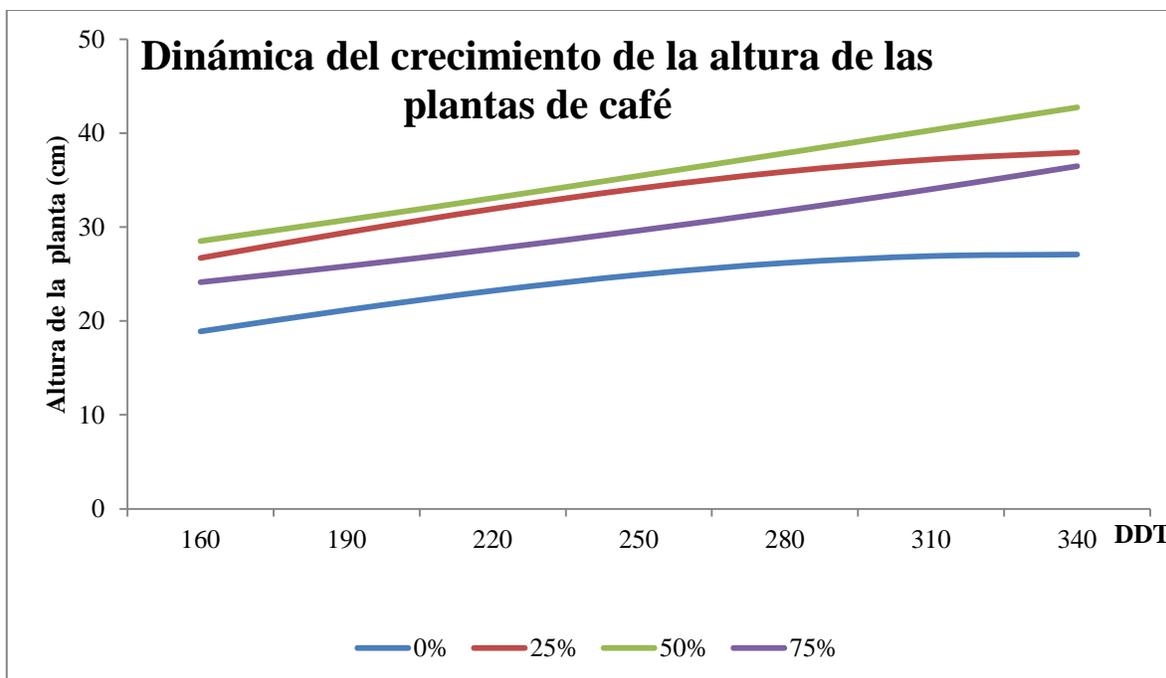
Se realizó la difusión de los resultados, con los estudiantes del quinto módulo de la carrera de ingeniería agronómica, se elaboraron trípticos, y se les explicó los resultados obtenidos en el experimento, mediante la exposición con diapositivas.

## **IV. RESULTADOS**

### **4.1. ALTURA DE LA PLANTA (cm)**

La dinámica del crecimiento de la altura de la planta (figura 2) muestra que en el tratamiento del 50 % mantuvo un crecimiento incrementado desde el inicio hasta el final de la evaluación, presentando siempre los mayores valores; el tratamiento del 25 % mantuvo un crecimiento lento durante todo el periodo de evaluación, el mismo comportamiento se observó en el tratamiento a plena exposición solar pero con menores valores; el tratamiento del 75 % mantuvo un crecimiento lento y uniforme hasta los 280 días después del trasplante, luego empezó a incrementar.

En los datos expuestos en la tabla 1, se observa que existieron diferencias significativas entre los tratamientos, en donde el tratamiento de 50 % de sombra se diferenció de los demás; así mismo, los tratamientos del 0 y 25 % presentaron diferencias significativas entre sí; el tratamiento del 50 % de sombra presentó los mayores valores de altura y el tratamiento del 0 % los menores valores.



**Figura 2.** Dinámica del crecimiento de la altura en plantas de café cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, San Antonio de las Aradas, 2016.

**Tabla 1.** Altura de las plántulas de cafeto (*Coffea arábica* L. v. caturra) en cm a los 337 DDT, con cuatro niveles de sombra en San Antonio de las Aradas, 2016.

Tratamiento %	Medias	Significancia
0	33.18	C
25	39.04	B
50	45.08	A
75	36.81	Bc

#### 4.2. NÚMERO DE RAMAS PLAGIOTRÓPICAS

En los resultados expuestos en la tabla 2, presentan diferencias significativas, en donde el tratamiento al 50 % de sombra se diferenció de los demás; el tratamiento a plena exposición solar y del 25 % de sombra muestran diferencias entre sí; por lo tanto, el tratamiento con mayor número de ramas plagiotrópicas fue el de 50 % de sombra.

**Tabla 2.** Número de ramas plagiotrópicas del cafeto (*Coffea arabica* L. v. caturra), a los 337 DDT, con cuatro niveles de sombra en San Antonio de las Aradas, 2016.

Tratamiento %	Medias	Significancia
0	2.94	C
25	4.00	B
50	5.17	A
75	3.39	Bc

#### 4.3. NÚMERO DE HOJAS TOTALES.

En esta variable, el tratamiento de 50 % a los 337 DDT presentó los valores más altos con diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos; los tratamientos del 0 y 25 % presentaron de igual forma diferencias significativas entre si, siendo el tratamiento a plena exposición solar con menor número de hojas totales.

**Tabla 3.** Número de hojas totales del cafeto (*Coffea arabica* L. v. caturra), a los 337 DDT, con cuatro niveles de sombra en San Antonio de las Aradas, 2016.

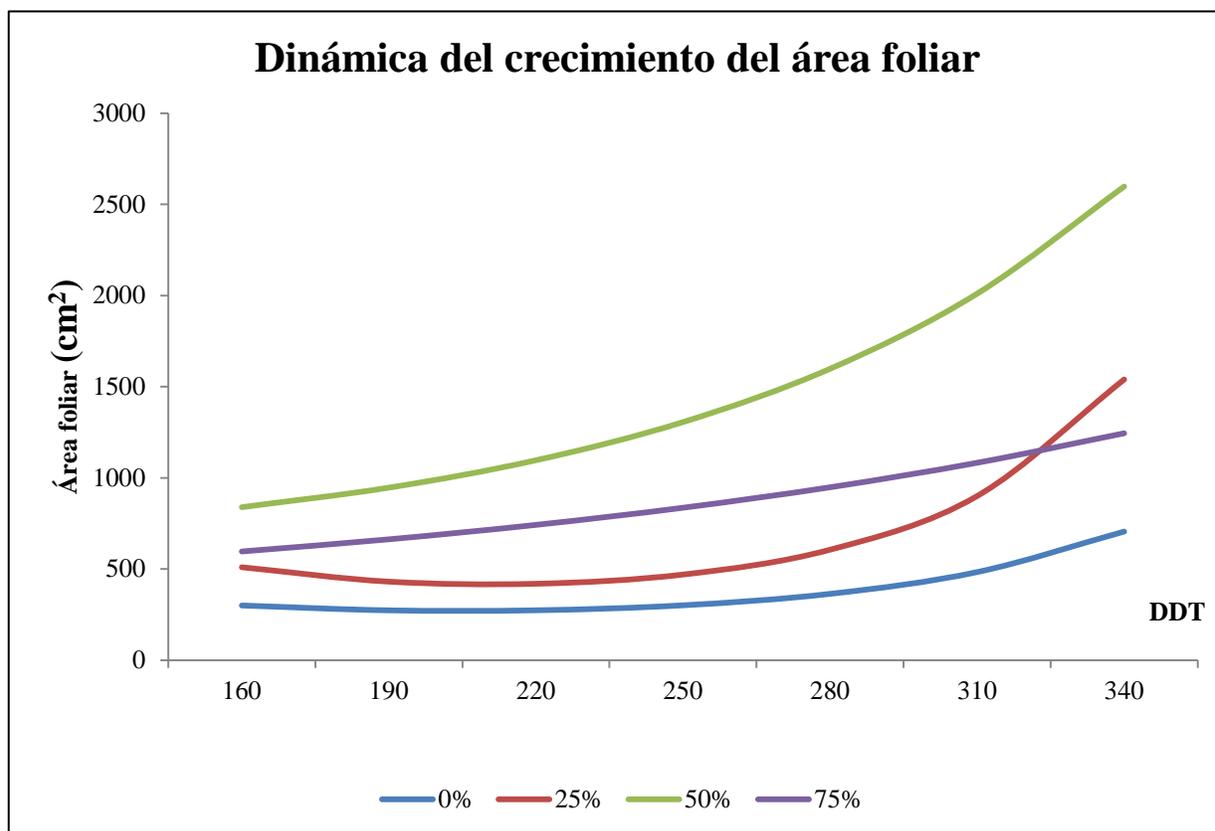
Tratamiento %	Medias	Significancia
0	27.56	C
25	39.56	B
50	70.11	A
75	36.11	Bc

#### 4.4. ÁREA FOLIAR (cm<sup>2</sup>)

La dinámica del crecimiento del área foliar (figura 3) muestra que en el tratamiento del 50 % mantuvo un crecimiento lento hasta los 220 DDT, luego de lo cual se incrementó de manera exponencial, presentando siempre los mayores valores; el tratamiento del 75 % mantuvo un crecimiento lento durante todo el periodo de evaluación; el mismo comportamiento

se observó en el tratamiento a plena exposición solar pero con menores valores; El tratamiento del 25 % mantuvo un crecimiento lento y uniforme hasta los 280 DDT, luego de lo cual empezó a incrementar de manera acelerada su área foliar.

Al comparar los tratamientos en dos momentos, se pudo determinar que desde los 166 DDT ya existió una respuesta de las plantas a los tratamientos, observándose que el tratamiento de 50 % de sombra presentó los valores mayores y con diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos; los tratamientos del 25 y 75 % de sombra no se diferenciaron entre sí; el tratamiento a plena exposición solar presentó los menores valores de área foliar (tabla 4).



**Figura 3.** Dinámica del crecimiento área foliar en plantas de café cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, San Antonio de las Aradas, 2016.

**Tabla 4.** Área foliar de las plántula de cafeto (*Coffea arabica* L. v. caturra), en cm<sup>2</sup> a los 166, 258 y 337 DDT, con cuatro niveles de sombra en San Antonio de las Aradas, 2016.

Tratamiento %	166 DDT		337 DDT	
	Medias	Significancia	Medias	Significancia
0	276.89	c	703.69	C
25	518.27	b	1349.59	B
50	875.34	a	2498.79	A
75	583.38	b	1254.93	B

#### 4.5. MASA SECA TOTAL (gr)

Los datos expuestos en la tabla 5 a los 341 DDT, se observa que el tratamiento del 50 % de sombra se diferencia de los demás siendo este el tratamiento con mayor masa seca total, los tratamientos del 0 y 75 % de sombra no muestran diferencias significativas entre sí.

**Tabla 5.** Masa seca total de las plántula de cafeto (*Coffea arabica* L. v. caturra) en gr a los 341 DDT, con cuatro niveles de sombra en San Antonio de las Aradas, 2016.

Tratamiento %	Medias	Significancia
0	13.02	B
25	19.86	Ab
50	26.64	A
75	14.63	B

#### 4.6. DENSIDAD ESTOMÁTICA (No. DE ESTOMAS \*mm<sup>2</sup>)

Los resultados de la densidad estomática tanto a los 166 DDT como a los 337 DDT, determinaron diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 6), en donde se

observó que el tratamiento a pleno sol se diferenció de los demás al igual que el tratamiento de 75 %; los tratamientos de 25 y 50 % de sombra, no se diferenciaron entre sí.

**Tabla 6.** Densidad estomática en las hojas de cafeto (*Coffea arabica* L. v. caturra), en 1 mm<sup>2</sup>, a los 166 y 337 DDT, con cuatro niveles de sombra en San Antonio de las Aradas, 2015.

Tratamiento %	166 DDT		337 DDT	
	Medias	Significancia	Medias	Significancia
0	81.61	a	135.11	A
25	89.89	b	85.89	B
50	79.22	b	94.39	B
75	66.00	c	76.06	C

#### 4.7. CONTENIDO DE CLOROFILA TOTAL (ml/gr).

En los resultados de contenido de clorofila total tanto a los 174 y 342 DDT muestran diferencias significativas (tabla 6), en donde se observa que a los 174 DDT el tratamiento a plena exposición solar se diferencia de los demás al igual que el tratamiento del 25 % de sombra; los tratamientos del 50 y 75 % de sombra no existe diferencia significativa entre sí siendo estos dos tratamientos los que mayor contenido de clorofila poseen respecto a los otros dos; los resultados a los 342 DDT se nota que el tratamiento del 50 % de sombra se diferencia de los demás en cambio los tratamientos de plena exposición solar y del 25 y 75 % no tienen diferencia significativa entre sí. La mayor concentración de clorofila se encuentra en el tratamiento del 50 % de sombra.

**Tabla 7.** Contenido de clorofila total de las hojas de cafeto (*Coffea arabica* L. v. caturra), en ml/g a los 174 y 342 DDT, con cuatro niveles de sombra en San Antonio de las Aradas, 2015.

Tratamiento %	174 DDT		342 DDT	
	Medias	Significancia	Medias	Significancia
0	1111.10	c	752.23	b
25	1306.53	b	763.16	b
50	1540.86	a	886.53	a
75	1567.03	a	753.35	b

## V. DISCUSIÓN

Al comparar los resultados obtenidos durante el proceso de evaluación se observó que el factor sombra incide sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas según su intensidad; mostrando una influencia significativa entre ellos; estos resultados coinciden con lo expuesto por Salinas y Saritama (2013), quienes señalaron que con el 50 % de intensidad de sombra se obtiene mayor crecimiento y desarrollo en las plantas de café.

En la variable altura de la planta, el mejor tratamiento que presentó los valores más representativos fue el del 50 % de sombra lo cual coinciden con lo planteado por Blanco *et al.* (2003).

El número de ramas plagiotrópicas, el tratamiento de 50 % mostró diferencias significativas respecto a los demás con un mayor número de ramas plagiotrópicas, lo cual favorece a la producción ya que entre mayor número de ramas plagiotrópicas posee una planta, mayor será la capacidad de realizar los distintos procesos fisiológicos (Blanco, 2000), lo cual finalmente se transforma en productividad.

El tratamiento con mayor número de hojas que mostró el experimento fue del 50 % de sombra, esto correlaciona con la superficie del área foliar ya que las hojas del tratamiento del 50 % tienen más superficie foliar, en cambio en el tratamiento a plena exposición solar se mostró menor número de hojas y de igual forma muy pequeñas tal como lo menciona Morais *et al.* (2003) en donde manifiesta que en plantas cultivadas a pleno sol las hojas se desarrollan más pequeñas, más densas, con la pared celular más gruesa y con refuerzos mecánicos para evitar la pérdida de agua, lo cual, disminuye la actividad fotosintética y el crecimiento y desarrollo de las hojas y otros órganos.

En cuanto al área foliar tal como se muestra en la tabla 4 los mejores resultados fueron del 50 % de sombra y el tratamiento a plena exposición solar mostró una disminución de crecimiento del 28% en comparación del 50 % de sombra, estos resultados concuerdan con lo expuesto por Morais *et al.* (2004), en donde manifiestan que las plántulas de café que se cultivan a pleno sol, las hojas disminuyen su crecimiento en un 27% en comparación con aquellas que se cultivan al 50% de exposición solar, esto se da por la razón que las auxinas son responsables de la distensión celular y que son capaces de migrar a los sitios menos iluminados de ambas caras de la lámina foliar, al concentrarse en los sitios menos iluminados provocan mayor crecimiento celular (Larramendi *et al.*, 2016); Ricci *et al.* (2006) de igual forma manifiestan que la sombra proporciona mayor área foliar.

La masa seca total de las plantas de café está relacionado con el área foliar de las hojas, ya que se observó que el tratamiento del 50 % de sombra mostró mayor masa seca y mayor área foliar, por lo tanto se obtuvo mayor concentración de follaje lo que produciría mayor concentración de CO<sub>2</sub> que es utilizado para la actividad fotosintética, que es el proceso por el cual las plantas producen compuestos orgánicos usados para su crecimiento y desarrollo (Yepes y Buckeridge, 2011); de igual forma Buckeridge (2008) manifiesta que aproximadamente, el 40% de la masa seca de las plantas consiste en carbono fijado mediante la fotosíntesis, una vez que los productos de la fotosíntesis son convertidos en celulosa, se habla de secuestro de carbono.

La mayor concentración de estomas por superficie estuvo dada en el tratamiento de pleno sol estos resultados están relacionados con el tamaño de las hojas, dado que las hojas expuestas totalmente a la luz solar, tienen menor área y por lo tanto la concentración de

estomas por  $\text{mm}^2$  es mayor, ya que no cambia el número de estomas por hoja, que viene dado por la codificación genética de la especie (Rodríguez, 2002).

De manera general, se observó correspondencia entre el nivel de sombra y el contenido de clorofila dando lugar al tratamiento del 50 % sombra con mejores resultados con respecto a los demás, así mismo Rivera *et al.*, (2013) en otras especies vegetales así se ha demostrado: por otro lado, Piña y Arboleda, (2010) y Arboleda, (2011), encontraron que los valores más altos de contenido de clorofila se produjeron en plantas crecidas a la sombra. Según Rodríguez, (2002) y Vásquez *et al.*, (2013), señalaron que este comportamiento se debe a que la baja disponibilidad de luz induce a un incremento de los pigmentos a fin de aumentar la capacidad de aprovechamiento de la luz disponible y optimizar la fotosíntesis.

## **VI. CONCLUSIONES**

- El nivel de sombra del 50 % provocó el mayor crecimiento vegetativo en todos los indicadores evaluados y el tratamiento con los valores más bajos fue el nivel de plena exposición solar.
- La mayor acumulación de masa seca se obtuvo en el tratamiento de 50 % de iluminación, lo que significa que la capacidad fotosintética fue mayor en estas condiciones ambientales
- La mayor concentración de estomas por superficie, se presentó en el tratamiento de plena exposición solar, lo cual se debió a que el tamaño de las hojas en estas condiciones ambientales fue menor y por ende se concentraron mayor número en menor superficie foliar.
- El contenido de clorofila a los 342 DDT, fue mayor en el tratamiento de 50 % de sombra; sin embargo, a los 174 DDT no se presentaron diferencias significativas con el tratamiento de 75 %, lo cual significa que hasta cierto nivel de sombra producido en cierto momento, se favoreció la producción de clorofila, más allá de ese nivel, la concentración disminuye.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- Realizar investigaciones de la influencia de la sombra en el cultivo de café, con plantas nativas del lugar, en un diseño agroforestal.
- Continuar evaluando la investigación, con el fin de conocer a futuro si el desarrollo y el crecimiento del cafeto conllevan a una mejor producción del mismo.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. Ainsworth, E. y Long, S. 2004. What have we learned from 15 years of Free Air CO<sub>2</sub> Enrichment (FACE) A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO<sub>2</sub>.
2. Alarcon, A. 2011. Modelo de gestión productiva para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.). En el sur de Ecuador.
3. Aranibar Cordoba, N. A. 2010. Taxonomía del café.
4. Arboleda, M. 2011. Efecto de la irradiancia en el crecimiento y desarrollo de *Apuntia cordifolia* (L.f.) Schwantes, como cobertura ornamental. Bioagro, Vol. 23, No. 3, pp. 175-184.
5. Arcila, P; Farfán, V; Moreno, B; Salazar, G; Hincapié, E. 2007. Sistemas de producción de café en Colombia: Crecimiento y desarrollo de la planta de café. Chinchiná, Cenicafe. 309 p.
6. ASOEXPORT, Asociación Nacional de Exportadores de Café de Colombia. 2013. Los mayores exportadores de café son ahora grandes consumidores. Bogotá Colombia.
7. Aspiazu Villavicencio, k. A., y Navarro Moncayo, j. V. 2009. Proyecto de comercialización del café de habas (café orgánico) actuando como intermediario para el consumo local en la ciudad de Guayaquil y como una opción de exportación.
8. BEER, J.W.; MUSCHLER, R.G.; KASS, D.; SOMARRIBA, E. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38:139-164. 1998.
9. Bieto, J. A., Cubillo, M. T., Mangas, I. B., y Ormaechea, A. G. 2008. Fundamentos de fisiología vegetal: McGraw-Hill Interamericana de España.
10. Blanco, N. M. 2 000. Fisiología del cultivo del café. Folleto. Masatepe, Nicaragua. 10 pp.
11. Blanco-Navarro, M., Hagggar, J., Moraga, P., del Carmen Madriz, J., y Pavón, G. 2003. Morfología del café (*Coffea arabica* L.), en lotes comerciales. Nicaragua. *Agronomía Mesoamericana*. Vol. 114, No. 1, pp. 97-103.
12. Buckeridge, M. S. 2008. Seqüestro de carbono, cana-de-açúcar e o efeito Cinderela.

13. Cañizares, A., Sanabria, M. E., Rodríguez, D., y Perozo, Y. 2003. Características de los estomas, índice y densidad estomática de las hojas de lima Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka) injertada sobre ocho patrones cítricos. *Revista Científica UDO Agrícola*. Vol. 3, No. 1, pp. 59-64.
14. Coordinación General del Sistema de Información Nacional. 2014. Boletín situacional del café. Quito- Ecuador.
15. Celi Conde, J. F. 2013. Plan de desarrollo para la parroquia San Antonio de las Aradas del cantón Quilanga provincia de Loja periodo 2014-2015.
16. Conde, C., y Fernanda, J. 2013. Plan de desarrollo para la parroquia San Antonio de las Aradas del cantón Quilanga provincia de Loja periodo 2014-2019.
17. Consejo Cafetalero Nacional COFENAC. 2010. Sector Cafetalero Diagnostico. Consultado el 26 de agosto del 2015. Disponible en: <http://www.cofenac.org/wp-content/uploads/2010/11/5-Diagnostico-Sector.pdf>
18. Consejo Cafetalero Nacional. 2011. Sector Cafetalero Ecuador diagnostico. Portoviejo. Consultado el 26 de agosto del 2015. Disponible en: <http://www.cofenac.org/wp-content/uploads/2010/09/Diagn%C3%B3stico-Sector-Caf%C3%A9-Ecu2011.pdf>
19. DaMatta, F., y Rodríguez, N. 2007. Sustainable production of coffee in agroforestry systems in the Neotropics: an agronomic and ecophysiological approach. *Agronomía Colombiana*. Vol. 25, No. 1, pp. 113-123.
20. Delfino Reyes-López, J. Q.-V., Kelso-Bucio, H. A., Huerta-Lara, M., Avendaño-Arrazate, C. H., y Lobato-Ortiz, R. 2015. Caracterización estomática de cinco especies del género *Vanilla*. *Agronomía Mesoamericana*. Vol. 26, No. 2, pp. 237-246
21. Duicela, L., Corral, R., y Fernández, F. 2001. Producción de Café Arábigo, guía para el caficultor ecuatoriano. COFENAC. Portoviejo, EC. Artes Gráficas SILVA.
22. Duicela, G., Corral, C., y Farfán, D. 2002. El clima en las zonas de producción de café arábigo del Ecuador. Portoviejo, EC. COFENAC.
23. Farfán, F., & Mestre, A. (2013). Manejo del sombrero y fertilización del café en la zona central colombiana.

24. Fernández, G., Johnston, M., Squeo, F., y Cardemil, L. 2006. Crecimiento y Temperatura. Squeo, FA y Cardemil, L. Fisiología Vegetal. Chile: Ediciones Universidad de La Serena. pp. 28.
25. Florentino, A. 2011. Métodos para medir el contenido de agua en el suelo. Venesuelos. Vol. 14, No. 1, pp. 48-70.
26. Fournier, L. A. (1988). El cultivo del cafeto (*Coffea arabica* L.) al sol oa la sombra: un enfoque agronómico y ecofisiológico. Agronomía Costarricense (Costa Rica). Vol. 12, No. 1, pp. 131-146.
27. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola, F. H. I. A. 2004. Producción de café con sombra de maderables.
28. Garriz, P., y Vicuna, R. (1990). Variación anuales en el crecimiento vegetativo y la arquitectura de canopea de *Coffea arabica*, l. variedad Caturra rojo. San José, Costa Rica.
29. Gil, H. M., Bota, J., Llompart, J. C., Flexas, J., y León, J. G. 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. Investigaciones geográficas. No. 43, pp. 63-84.
30. Hernández Córdova, N., y Soto Carreño, F. 2013. Determinación de índices de eficiencia en los cultivos de maíz y sorgo establecidos en diferentes fechas de siembra y su influencia sobre el rendimiento. Cultivos Tropicales. Vol. 34, No. 2, pp. 24-29.
31. Hernández, N., y Soto, F. 2012. Influencia de tres fechas de siembra sobre el crecimiento y la relación fuente-demanda del cultivo del maíz (*Zea mays* L.). Cultivos Tropicales. Vol. 33, No. 1, pp. 28-34.
32. Infocafe. 2015. Principales productores de café del mundo. Consultado el 07 de marzo del 2016. Disponible en : <http://www.infocafe.es/cafe/principales-productores-cafe.php>.
33. Larramendi, L. A. R., Hernández, F. G., Castro, H. G., Flores, M. F., Castañeda, J. C. G., y Ruiz, R. P. 2016. Anatomía foliar relacionada con la ruta fotosintética en árboles de café (*Coffea arabica* L., var. Caturra Rojo) expuestos a diferentes niveles de radiación solar en la Sierra Maestra, Granma, Cuba. Acta Agronómica. Vol. 65, No. 3.

34. López-Domínguez, L. y Zurita, G. 2001. "Análisis estadístico de la producción de café en el Ecuador". Tesis, Ingeniería en Estadística Informática, Escuela Superior Politécnica del Litoral.
35. Máckinney, G. 1941. Absortion of light by chlorophyll solutions. J. Biol. Chemm. 140:315-322.
36. MAGAP, Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca. 2011. Proyecto de Reactivación de la Caficultura Ecuatoriana.
37. Malacatos Calderón, M. V., y Rey Duval, C. E. 2012. Impacto de la variación de los precios comerciales y de los costos de los insumos para la producción de café en la provincia de el Oro.
38. María Teresa Barreiro Güemes. 2015. luz y fotosíntesis .Universidad Autónoma Metropolitana revista de iluminación.
39. Medina C, Sánchez, D., Camayo, G., Lobo, M., y Martínez, E. 2008. Anatomía Foliar Comparativa De Materiales De Lulo. Revista Corpoica Ciencia Y Tecnología Agropecuaria. Medellin-Colombia.
40. Medina, C. I., Sánchez, D., Camayo, G., Lobo, M., y Martínez, E. (2008). Anatomía foliar comparativa de materiales de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) con y sin espinas. Revista Corpoica-Ciencia y Tecnología Agropecuaria. Vol. 9, pp. 5-13.
41. Montealegre, M. 1954. Cafetales a pleno sol versus cafetales a la sombra. Suelos Tico. Vol. 7, pp. 263-275
42. Morais. H. Medri. M.E. Marur. C.J. Caramuri. P.H. Arruda. R.A.M. Gómez. J.C. 2004. Modifications on leaf anatomy of *Coffea Arabica* L, caused by shade of pigeonpea (*Cajanus cajan*). Braz arch biol technol. Vol. 47, No. 6, pp. 863-871. doi :10.1590/S1516-89132004000600005.
43. Morais, H., Marur, C. J., Caramori, P. H., Ribeiro, A. d. A., y Gomes, J. C. 2003. Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e cultivado a pleno sol. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Vol. 38, No. 10, pp. 1131-1137.
44. Noriega González, L. A., Preciado Ortiz, R. E., Andrio Enríquez, E., Terrón Ibarra, A. D., y Covarrubias Prieto, J. 2011. Fenología, crecimiento y sincronía floral de

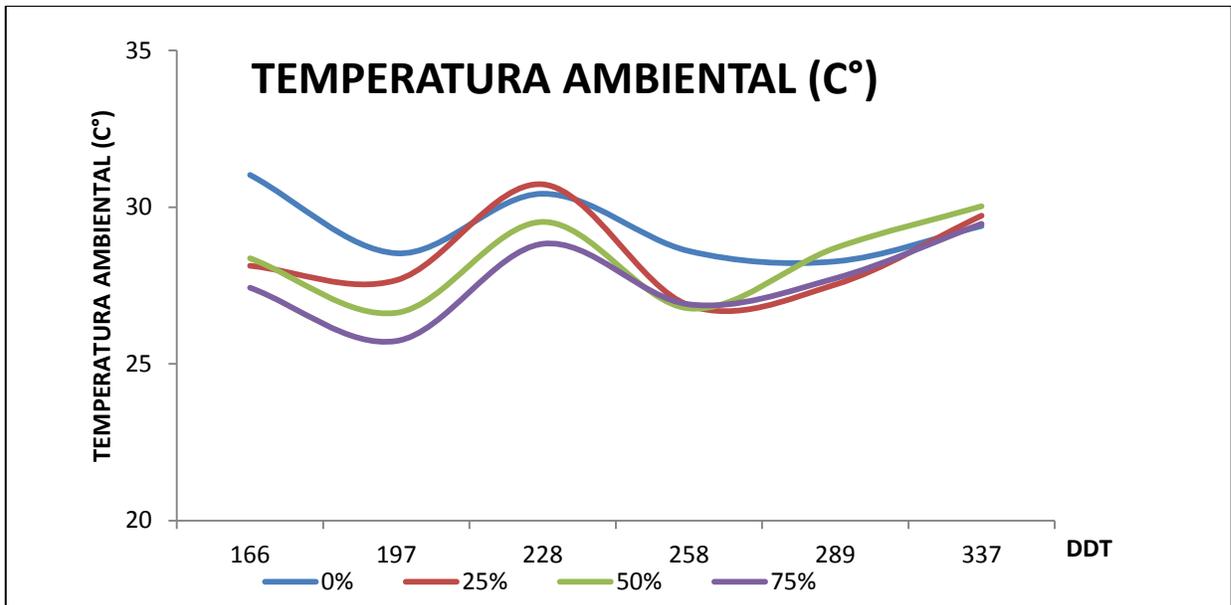
- los progenitores del híbrido de maíz QPM H-374C. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* Vol. 2, No. 4, pp. 489-500.
45. Ortuño, M., y Salinas, V. 2010. Proyecto de procesamiento y comercialización de café ecológico en la parroquia San Antonio de las Aradas, Cantón Quilanga, provincia de Loja para el año 2011.
  46. PRO-ECUADOR, Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones. 2013. Análisis sectorial del café. Consultado el 26 de junio del 2015. Disponible en: [http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2013/05/PROEC\\_AS2013\\_CAFE.pdf](http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2013/05/PROEC_AS2013_CAFE.pdf)
  47. Pérez, M. M. B., Rodríguez, J. H. T., y Ibatá, M. D. V. 2015. Exceso de dióxido de carbono en la atmósfera y las plantas: ¿ amigo o enemigo? *Biodiversidad Colombia*. No 5. pp 29-38.
  48. Pérez-Urria Carril, E. 2011. Fotosíntesis: aspectos básicos. *REDUCA (Biología)*. Vol. 2, No. 3.
  49. Piña, M. y Arboleda, M. 2010. Efecto de dos ambientes lumínicos en el crecimiento inicial y calidad de plantas *crescentia* cujete. *Bioagro*. Vol. 22, No. 1, pp. 61-66.
  50. Ricci, M. d. S. F., Costa, J. R., Pinto, A. N., y Santos, V. L. d. S. 2006. Cultivo orgânico de cultivares de café a pleno sol e sombreado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília*. Vol. 41, No. 4, pp. 569-575.
  51. Rivera, M., Yurany, D., Cayons, D. y López , J. 2013. Caracterización fisiológica y morfológica de palmas americanas de aceite (*Elaeis oleifera* HBK Cortés) y sus híbridos (*Elaeis oleifera* × *Elaeis guineensis*) de la plantación Indupalma. *Agronomía Colombiana*. Vol.31, No. 3, pp. 314-323.
  52. Robles Torres, M. G. 2012. Capital social y su impacto en el medio rural: el caso de la Asociación de Productores de Café del cantón Quilanga.
  53. Rodés, R., y Collazo, M. 2006. Cuantificación de algunas de las propiedades de los pigmentos fotosintéticos. Universidad autónoma de México. p 159. Editorial prensa ciencia.
  54. Rodríguez, L. 2002. Actividad in vivo de la enzima nitrato reductasa en hojas de cafetos bajo diferentes condiciones de luz y dos densidades de plantación.

55. Rojas, T. V., Soto, C. M., y Montero, W. R. 2012. Análisis del crecimiento de cinco híbridos de zanahoria (*Daucus carota* L.) mediante la metodología del análisis funcional. *Agronomía Costarricense*. Vol. 36, No. 2, pp. 2215-2202.
56. Sánchez, M. D., & Rosales, M. 1998. Sistemas agroforestales para intensificar de manera sostenible la producción animal en Latinoamérica tropical. Paper presented at the Mem. Conferencia electrónica. Agroforestería para la producción animal en América latina. FAO, Roma.
57. Santiana Ayala, G. F. 2013. Proyecto de factibilidad para creación de una microempresa dedicada a la producción y comercialización de café molido lojano en la ciudad Quito.
58. Santos Castellanos, M., Segura Abril, M., y Nústez López, C. E. 2010. Growth analysis and source-sink relationship of four potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) in the Zipaquira Town (Cundinamarca, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*. Vol. 63. No. 1, pp. 5253-5266.
59. Salinas, B y Saritama, S. 2013. Influencia de la sombra y época de siembra en la dinámica de crecimiento del café en vivero, en Yantzaza y Chaguarpamba. *Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables*. UNL. Loja. Ecuador. Pág. 20.
60. Sotomayor Herrera, I., y Duicela Guambi, L. 1995. Inventario Tecnológico del Cultivo de Café.
61. Soto, F., Hernández, N., y Plana, R. 2009. Influencia de la temperatura en la duración de las fases fenológicas del trigo harinero (*Triticum aestivum* ssp. *Aestivum*) y *triticale* (*X Triticum secale* Wittmack) y su relación con el rendimiento. *Cultivos Tropicales*. Vol. 30, No. 3, pp. 32-36.
62. Soto, F. 1980. Estimación del área foliar en *C. arabica* L. a partir de las medidas lineales de las hojas. *Cultivos tropicales*. Vol. 2, No. 3, pp. 115-128
63. Streck, N. A. 2005. Climate change and agroecosystems: the effect of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> and temperature on crop growth, development, and yield. *Ciencia Rural*. Vol. 35, No. 3.
64. Valladares, F. 2004. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Páginas 335-369. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid. ISBN: 84-8014-552-8.

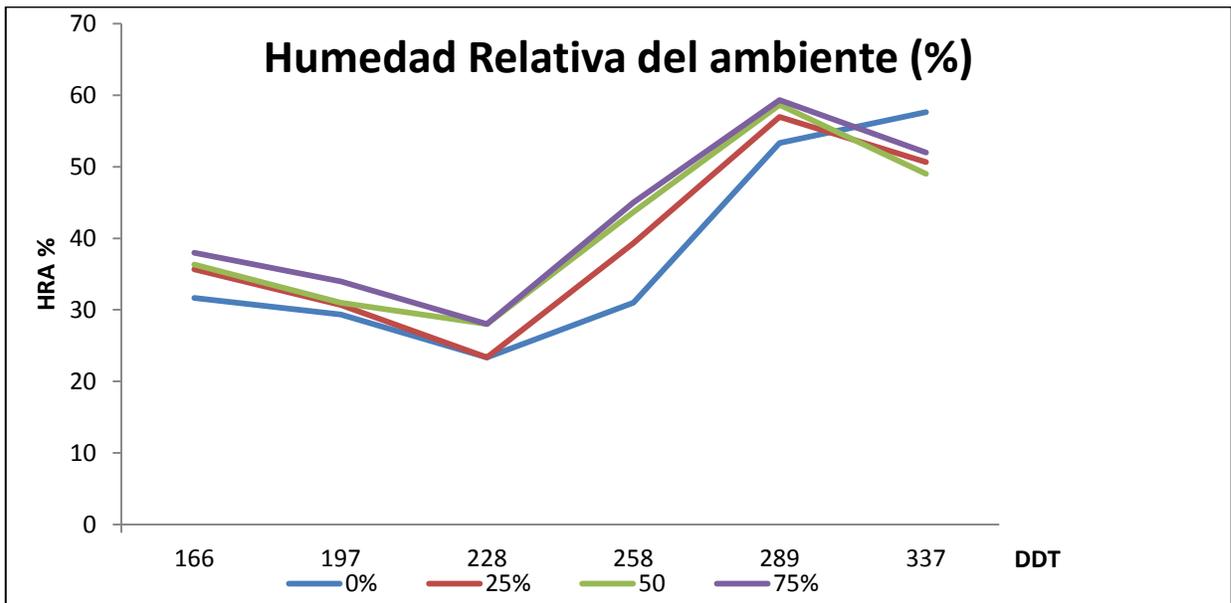
65. Vásquez, A., Guevara, M., González, M., Cortez, R. y Arredondo, B. 2013. Crecimiento y composición bioquímica de *Thalassiosira pseudomona* (Thalassiosirales: Thalassiosiraceae) bajo cultivo semi-continuo en diferentes medios y niveles de irradiancias. *Biología Tropical*, Vol. 61, No. 3, pp. 1003-1013
66. Villalobos, E., Umaña, C., Sterling, F. 1990. Determinación del contenido relativo de agua en progenies de palma aceitera (*Elaeis guineensis*), durante la época seca en Quepos, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. Vol. 14, No. 1, pp. 73-78.
67. Yepes, A., y Buckeridge, M. S. (2011). Respuestas de las plantas ante los factores ambientales del cambio climático global (revisión). *Colombia Forestal*. Vol. 14, No. 2, pp. 213-232.

## IX. APÉNDICE

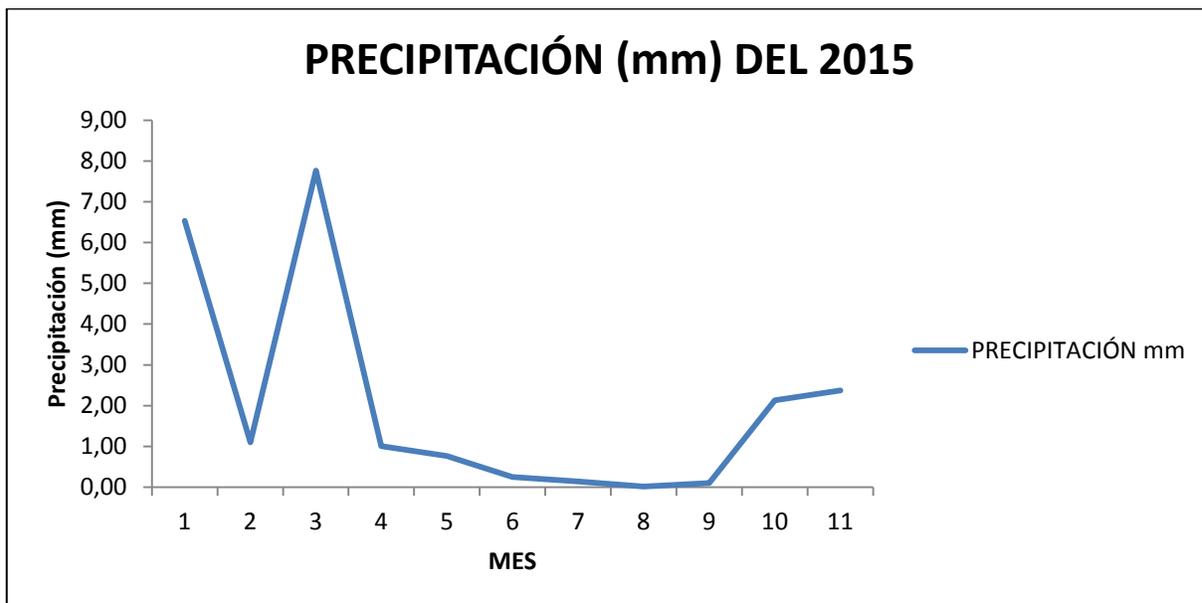
**Apéndice 1.** Temperatura ambiental de los cuatro tratamientos, durante las seis evaluaciones, San Antonio de las Aradas, 2015



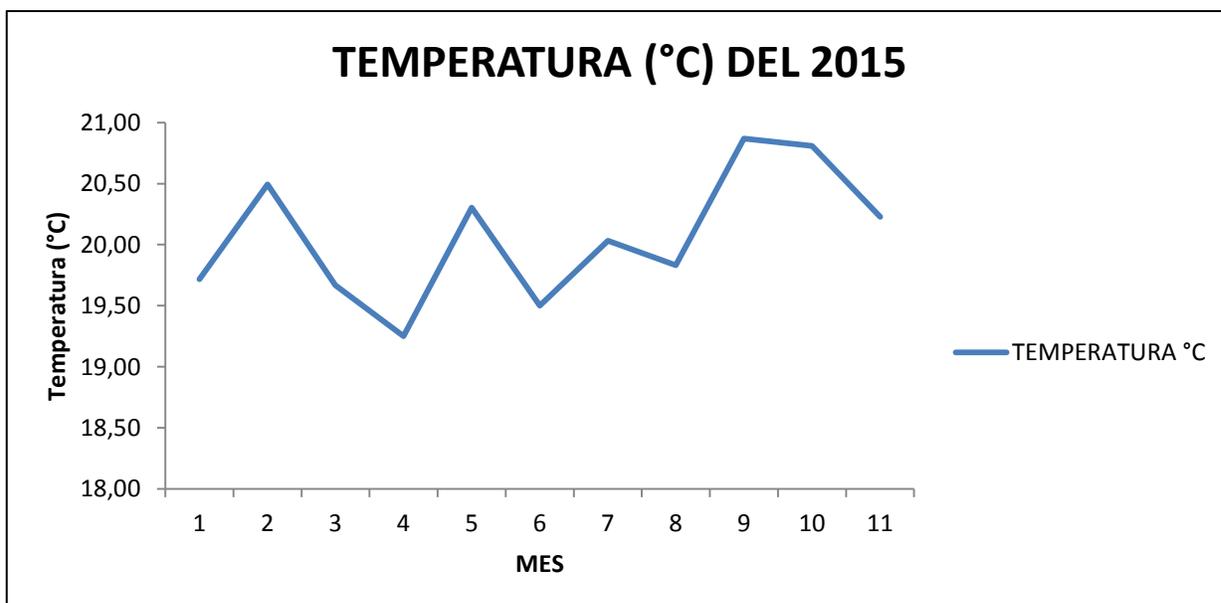
**Apéndice 2.** Humedad relativa del ambiente de los cuatro tratamientos, durante las seis evaluaciones, San Antonio de las Aradas, 2015.



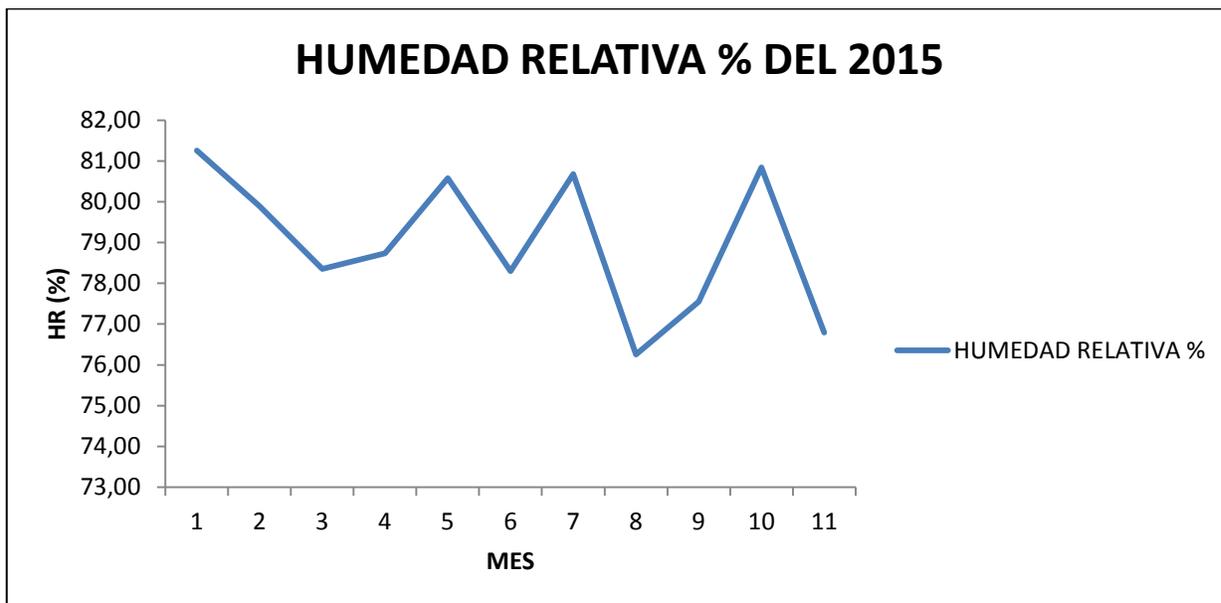
**Apéndice 3.** Precipitación, del mes de enero a noviembre del 2015, San Antonio de las Aradas, 2015.



**Apéndice 4.** Temperatura ambiental del mes de enero a noviembre del 2015, San Antonio de las Aradas, 2015.



**Apéndice 5.** Humedad relativa del ambiente del mes de enero a noviembre del 2015, San Antonio de las Aradas, 2015.



**Apéndice 6.** Análisis de varianza de altura de la planta de café, a los 166 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

F.V	SC	GI	CM	F	p-valor
<b>Modelo</b>	623.84	3	207.95	10.59	<0.0001
<b>Tratamiento %</b>	623.84	3	207.95	10.59	<0.0001
<b>Error</b>	1335.06	68	19.63		
<b>Total</b>	1958.90	71			

**Apéndice 7.** Test de Tukey de la altura de la planta de café, a los 166 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

Tratamiento %	Medias (cm)	Significancia
50	28.19	A
25	26.82	Ab
75	23.83	Bc
0	20.54	C
<b>Media general</b>	24.85	
<b>Error estándar</b>	1.04	
<b>Coefficiente de varianza</b>	17.83	

**Apéndice 8.** Análisis de varianza de altura de la planta de café, a los 197 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>GI</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	763.32	3	254.44	12.94	<0.0001
<b>Tratamiento %</b>	763.32	3	254.44	12.94	<0.0001
<b>Error</b>	1337.02	68	19.66		
<b>Total</b>	2100.34	71			

**Apéndice 9.** Test de Tukey de la altura de la planta de café, a los 197 DDT, San Antonio de las Aradas, 2015

<b>Tratamiento %</b>	<b>Medias (cm)</b>	<b>Significancia</b>
50	33.69	a
25	30.73	ab
75	27.50	bc
0	25.08	c
<b>Media general</b>	29.25	
<b>Error estándar</b>	1.05	
<b>Coefficiente de varianza</b>	15.16	

**Apéndice 10.** Análisis de varianza de altura de la planta de café, a los 228 DDT, San Antonio de las Aradas, 2015.

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>GI</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	737.05	3	245.68	11.54	<0.0001
<b>Tratamiento %</b>	737.05	3	245.68	11.54	<0.0001
<b>Error</b>	1448.19	68	21.30		
<b>Total</b>	2185.24	71			

**Apéndice 11.** Test de Tukey de la altura de la planta de café, a los 228 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

<b>Tratamiento %</b>	<b>Medias (cm)</b>	<b>Significancia</b>
50	34.76	a
25	33.25	a
75	28.58	b
0	27.01	b
<b>Media general</b>	30.90	
<b>Error estándar</b>	1.09	
<b>Coefficiente de varianza</b>	14.94	

**Apéndice 12.** Análisis de varianza de altura de la planta de café, a los 258 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>GI</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	769.79	3	256.60	11.83	<0.0001
<b>Tratamiento %</b>	769.79	3	256.60	11.83	<0.0001
<b>Error</b>	1474.44	68	21.68		
<b>Total</b>	2244.23	71			

**Apéndice 13.** Test de Tukey de la altura de la planta de café, a los 258 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

<b>Tratamiento %</b>	<b>Medias (cm)</b>	<b>Significancia</b>
50	36.32	a
25	34.89	a
75	29.64	b
0	28.71	b
<b>Media general</b>	32.39	
<b>Error estándar</b>	1.10	
<b>Coefficiente de varianza</b>	14.38	

**Apéndice 14.** Análisis de varianza de altura de la planta de café, a los 289 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>GI</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	856.57	3	285.52	11.34	<0.0001
<b>Tratamiento %</b>	856.57	3	285.52	11.34	<0.0001
<b>Error</b>	1712.52	68	21.18		
<b>Total</b>	2569.08	71			

**Apéndice 15.** Test de Tukey de la altura de la planta de café, a los 289 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

<b>Tratamiento %</b>	<b>Medias (cm)</b>	<b>Significancia</b>
50	39.34	a
25	36.18	ab
75	32.53	bc
0	30.32	c
<b>Media general</b>	34.59	
<b>Error estándar</b>	1.18	
<b>Coefficiente de varianza</b>	14.51	

**Apéndice 16.** Análisis de varianza de altura de la planta de café, a los 337 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>GI</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	1345.88	3	448.63	15.07	<0.0001
<b>Tratamiento %</b>	1345.88	3	448.63	15.07	<0.0001
<b>Error</b>	2024.06	68	29.77		
<b>Total</b>	3369.95	71			

**Apéndice 17.** Test de Tukey de la altura de la planta de café, a los 337 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

<b>Tratamiento %</b>	<b>Medias (cm)</b>	<b>Significancia</b>
50	45.08	a
25	39.04	b
75	36.81	bc
0	33.18	c
<b>Media general</b>	32.53	
<b>Error estándar</b>	1.29	
<b>Coefficiente de varianza</b>	14.16	

**Apéndice 18.** Análisis de varianza del número de ramas plagiotrópicas de la planta de café, a los 337 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>Gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	50.15	3	16.72	21.98	<0.0001
<b>Tratamiento %</b>	50.15	3	16.72	21.98	<0.0001
<b>Error</b>	51.72	68	0.76		
<b>Total</b>	101.88	71			

**Apéndice 19.** Test de Tukey del número de ramas plagiotrópicas de la planta de café, a los 337 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

<b>Tratamiento %</b>	<b>Medias</b>	<b>Significancia</b>
50	5.17	a
25	4.00	b
75	3.39	bc
0	2.94	c
<b>Media general</b>	3.88	
<b>Error estándar</b>	0.21	
<b>Coefficiente de varianza</b>	22.51	

**Apéndice 20.** Análisis de varianza del número de hojas totales de la planta de café, a los 337 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>Gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	18583.56	3	6194.52	37.96	<0.0001
<b>Tratamiento %</b>	18583.56	3	6194.52	37.96	<0.0001
<b>Error</b>	11096.44	68	163.18		
<b>Total</b>	29680.00	71			

**Apéndice 21.** Test de Tukey del número total de hojas de la planta de café, a los 337 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

<b>Tratamiento %</b>	<b>Medias</b>	<b>Significancia</b>
50	70.11	a
25	39.56	b
75	36.11	bc
0	27.56	c
<b>Media general</b>	43.34	
<b>Error estándar</b>	3.01	
<b>Coefficiente de varianza</b>	29.48	

**Apéndice 22.** Análisis de varianza del área foliar de la planta de café, a los 166 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>GI</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	3272885.10	3	1090961.70	15.82	<0.0001
<b>Tratamiento %</b>	3272885.10	3	1090961.70	15.82	<0.0001
<b>Error</b>	4689119.14	68	68957.63		
<b>Total</b>	7962004.23	71			

**Apéndice 23.** Test de Tukey del área foliar de la planta de café, a los 166 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

<b>Tratamiento %</b>	<b>Medias</b>	<b>Significancia</b>
50	875.34	a
75	583.38	b
25	518.27	b
0	276.89	c
<b>Media general</b>	563.72	
<b>Error estándar</b>	61.89	
<b>Coefficiente de varianza</b>	46.60	

**Apéndice 24.** Análisis de varianza del área foliar de la planta de café, a los 197 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>GI</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	5162391.56	3	1720797.19	26.14	<0.0001
<b>Tratamiento %</b>	5162391.56	3	1720797.19	26.14	<0.0001
<b>Error</b>	4476340.40	68	65828.54		
<b>Total</b>	9638731.96	71			

**Apéndice 25.** Test de Tukey del área foliar de la planta de café, a los 197 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

<b>Tratamiento %</b>	<b>Medias</b>	<b>Significancia</b>
50	967.42	a
75	731.49	b
25	405.98	c
0	288.75	c
<b>Media general</b>	598.41	
<b>Error estándar</b>	60.47	
<b>Coefficiente de varianza</b>	42.88	

**Apéndice 26.** Análisis de varianza del área foliar de la planta de café, a los 228 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>Gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	7871649.45	3	2623883.15	29.18	<0.0001
<b>Tratamiento %</b>	7871649.45	3	2623883.15	29.18	<0.0001
<b>Error</b>	6114767.88	68	89923.06		
<b>Total</b>	13986417.33	71			

**Apéndice 27.** Test de Tukey del área foliar de la planta de café, a los 228 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

<b>Tratamiento %</b>	<b>Medias cm<sup>2</sup></b>	<b>Significancia</b>
50	1124.14	a
75	748.15	b
25	376.77	c
0	290.66	c
<b>Media general</b>	634.93	
<b>Error estándar</b>	70.68	
<b>Coefficiente de varianza</b>	47.23	

**Apéndice 28.** Análisis de varianza del área foliar de la planta de café, a los 258 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>Gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	5802850.49	3	1934283.50	28.97	<0.0001
<b>Tratamiento %</b>	5802850.49	3	1934283.50	28.97	<0.0001
<b>Error</b>	4539834.15	68	66762.27		
<b>Total</b>	10342684.64	71			

**Apéndice 29.** Test de Tukey del área foliar de la planta de café, a los 258 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

<b>Tratamiento %</b>	<b>Medias cm<sup>2</sup></b>	<b>Significancia</b>
50	991.70	a
75	629.24	b
25	373.88	c
0	249.22	c
<b>Media general</b>	561.01	
<b>Error estándar</b>	60.90	
<b>Coefficiente de varianza</b>	46.06	

**Apéndice 30.** Análisis de varianza del área foliar de la planta de café, a los 289 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>GI</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	18964936.42	3	6321645.47	34.68	<0.0001
<b>Tratamiento %</b>	18964936.42	3	6321645.47	34.68	<0.0001
<b>Error</b>	12395486.85	68	182286.57		
<b>Total</b>	31360423.27	71			

**Apéndice 31.** Test de Tukey del área foliar de la planta de café, a los 289 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

<b>Tratamiento %</b>	<b>Medias cm<sup>2</sup></b>	<b>Significancia</b>
50	1772.93	a
75	955.43	b
25	795.52	b
0	354.98	c
<b>Media general</b>	969.72	
<b>Error estándar</b>	100.63	
<b>Coefficiente de varianza</b>	44.03	

**Apéndice 32.** Análisis de varianza del área foliar de la planta de café, a los 337 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>GI</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	30691065.99	3	10230355.33	30.77	<0.0001
<b>Tratamiento %</b>	30691065.99	3	10230355.33	30.77	<0.0001
<b>Error</b>	22606750.86	68	332452.22		
<b>Total</b>	53297816.85	71			

**Apéndice 33.** Test de Tukey del área foliar de la planta de café, a los 337 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

<b>Tratamiento %</b>	<b>Medias cm<sup>2</sup></b>	<b>Significancia</b>
50	2498.79	a
25	1349.59	b
75	1254.93	b
0	703.69	c
<b>Media general</b>	1451.75	
<b>Error estándar</b>	135.90	
<b>Coefficiente de varianza</b>	39.72	

**Apéndice 34.** Análisis de varianza de masa total de las plantas de café, a los 340 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>GI</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	1018.09	3	339.36	6.01	0.0023
<b>Tratamiento %</b>	1018.09	3	339.36	6.01	0.0023
<b>Error</b>	1805.90	32	56.43		
<b>Total</b>	2823.99	35			

**Apéndice 35.** Test de Tukey de masa total de las plantas de café, a los 340 DDT, San Antonio de las Aradas, 2015.

<b>Tratamiento %</b>	<b>Medias</b>	<b>Significancia</b>
50	26.64	a
25	19.86	ab
75	14.63	b
0	13.02	b
<b>Media general</b>	18.54	
<b>Error estándar</b>	2.50	
<b>Coefficiente de varianza</b>	40.52	

**Apéndice 36.** Análisis de varianza densidad estomática de las plantas de café, a los 166 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>GI</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	5297.49	3	1765.83	39.77	<0.0001
<b>Tratamiento %</b>	5297.49	3	1765.83	39.77	<0.0001
<b>Error</b>	3019.17	68	44.40		
<b>Total</b>	8316.65	71			

**Apéndice 37.** Test de Tukey de densidad estomática de las plantas de café, a los 166 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

<b>Tratamiento %</b>	<b>Medias</b>	<b>Significancia</b>
25	89.89	a
0	81.61	b
50	79.22	b
75	66.00	c
<b>Media general</b>	79.18	
<b>Error estándar</b>	1.57	
<b>Coefficiente de varianza</b>	8.42	

**Apéndice 38.** Análisis de varianza densidad estomática de las plantas de café, a los 337 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>GI</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	36331.83	3	12110.61	128.86	<0.0001
<b>Tratamiento %</b>	36331.83	3	12110.61	128.86	<0.0001
<b>Error</b>	6390.78	68	93.98		
<b>Total</b>	42722.61	71			

**Apéndice 39.** Test de Tukey de densidad estomática de las plantas de café, a los 337 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

<b>Tratamiento %</b>	<b>Medias</b>	<b>Significancia</b>
0	135.11	a
50	94.39	b
25	85.89	b
75	76.06	c
<b>Media general</b>	97.86	
<b>Error estándar</b>	2.28	
<b>Coefficiente de varianza</b>	9.91	

**Apéndice 40.** Análisis de varianza contenido de clorofila total de las plantas de café, a los 174 DDT, San Antonio de las Aradas, 2015.

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>GI</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	2493975.82	3	831325.27	32.22	<0.0001
<b>Tratamiento %</b>	2493975.82	3	831325.27	32.22	<0.0001
<b>Error</b>	1754727.08	68	25804.81		
<b>Total</b>	4248702.90	71			

**Apéndice 41.** Test de Tukey de contenido de clorofila total de las plantas de café, a los 174 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

Tratamiento %	Medias	Significancia
75	1567.03	a
50	1540.86	a
25	1306.53	b
0	1111.10	c
<b>Media general</b>	1381.38	
<b>Error estándar</b>	37.86	
<b>Coefficiente de varianza</b>	11.63	

**Apéndice 42.** Análisis de varianza contenido de clorofila total de las plantas de café, a los 342 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

F.V	SC	GI	CM	F	p-valor
<b>Modelo</b>	230459.10	3	76819.70	9.38	<0.0001
<b>Tratamiento %</b>	230459.10	3	76819.70	9.38	<0.0001
<b>Error</b>	557063.75	68	8192.11		
<b>Total</b>	787522.85	71			

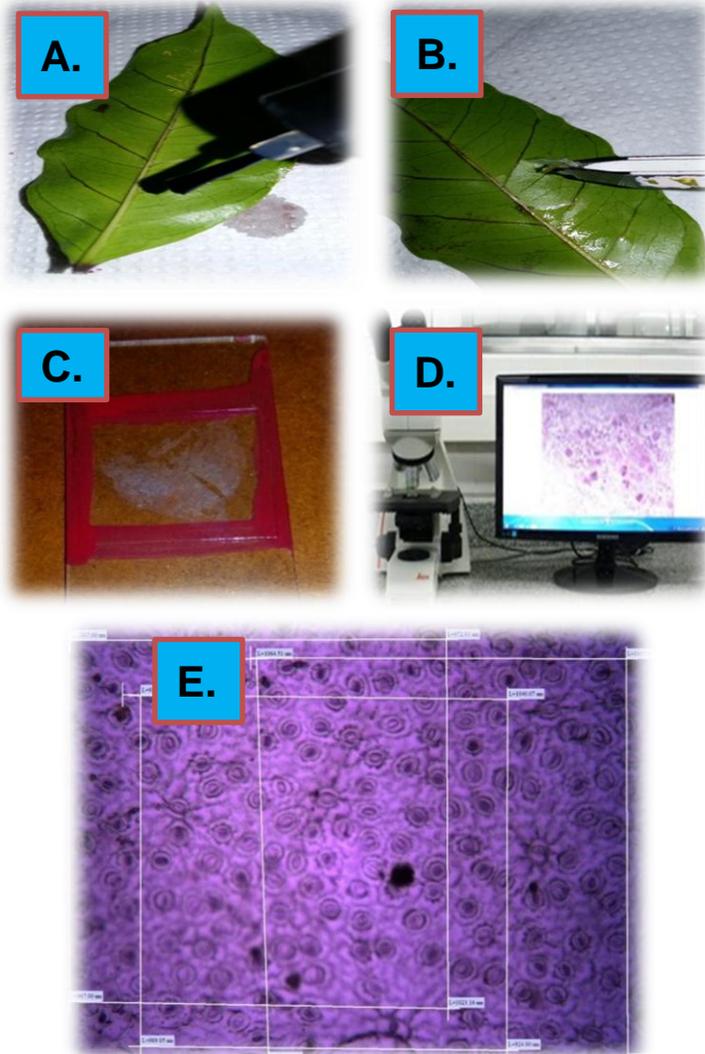
**Apéndice 43.** Test de Tukey de contenido de clorofila total de las plantas de café, a los 342 DDT, San Antonio de las Aradas, 2016.

Tratamiento %	Medias	Significancia
50	886.53	a
25	763.16	b
75	753.35	b
0	752.23	b
<b>Media general</b>	638.82	
<b>Error estándar</b>	21.33	
<b>Coefficiente de varianza</b>	11.47	

**Apéndice 44.** Establecimiento de la sombra con malla poli-sombra (sarán)



**Apéndice 45.** Determinación de la densidad estomática (Técnica de Turner)



**A.** Colocación de esmalte transparente; **B.** Extracción la lámina de esmalte; **C.** Montaje de la lámina; **D.** Observación en el microscopio; **E.** Conteo de los estomas por  $\text{mm}^2$ .  
Plantas de café al final del experimento

**Apéndice 46.** Plantas de café al final del experimento



**A.** Tratamiento a plena exposición solar; **B.** Tratamiento al 25 % de sombra; **C.** Tratamiento al 50 % de sombra; **D.** Tratamiento al 75 % de sombra.

**Apéndice 47.** Socialización de resultados a estudiantes y egresados de la carrera de Ingeniería Agronómica.

