

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE
CHIAPAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
SUBSEDE VILLA CORZO**

**ESTRÉS HÍDRICO EN EL CULTIVO DE *Coffea*
arabica L**

**CURSO ESPECIAL DE TITULACIÓN
COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN DESARROLLO SUSTENTABLE**



PRESENTA

ADA LUZ DE LA CRUZ JUÁREZ

Villa Corzo, Chiapas.

Septiembre de 2019



**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE
CHIAPAS**

FACULTAD DE INGENIERÍA

SUBSEDE VILLA CORZO

**ESTRÉS HÍDRICO EN EL CULTIVO DE *Coffea*
arabica L**

CURSO ESPECIAL DE TITULACIÓN

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN DESARROLLO SUSTENTABLE**



PRESENTA

ADA LUZ DE LA CRUZ JUÁREZ

ASESOR

ALDER GORDILLO CURIEL

Villa Corzo, Chiapas.

Septiembre de 2019



**ESTRÉS HÍDRICO EN EL
CULTIVO DE *Coffea arabica* L**



Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Dirección de Servicios Escolares
Departamento de Certificación Escolar
Autorización de impresión



Villa Corzo, Chiapas
5 de Septiembre de 2019

C. Ada Luz De la Cruz Juárez

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería en Desarrollo Sustentable

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

Estrés hídrico en el cultivo de *Coffea arabica L.*

En la modalidad Curso especial de titulación
de:

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Firmas:

Dra. Rady Alejandra Campos Saldaña

Dr. Vidal Hernández García

Ing. Alder Gordillo Curiel

Ccp. Expediente

Agradecimientos

Agradezco ante todo a Dios por permitirme lograr mis metas y estar conmigo en todo momento por su infinito amor, gracias Dios por todo lo que me has regalado principalmente por mis padres y mis hermanos el mejor regalo.

Gracias a mis padres por estar a mi lado y apoyarme siempre. Especialmente a mi madre que estuvo conmigo en cada circunstancia aún en las que nadie creía en mí, ella me animo para seguir mis sueños a pesar de que no hubiese la mínima esperanza en lograrlo.

Mi agradecimiento para el profesor por su apoyo y consejos, pero sobre todo por animarme y su paciencia para la elaboración de mi monografía.

Dedicatoria

Dedico mi monografía a Dios por haberme permitido lograr una meta más en mi vida y que en todo momento ha estado guiando mi camino.

A mi madre, a esa señora con todo mi amor y mi respeto, por su sacrificio y esfuerzo por creer en mí y por su amor.

Tabla de contenido

Resumen	1
I. Introducción	2
II. Objetivos	4
2.1 Objetivo general	4
2.2 Objetivos específicos	4
III. Justificación	5
VI. Antecedentes	6
4.1 Origen del cultivo del café	6
4.2 Principales especies económicas de café en América latina y el Caribe	7
4.3 Principales países productores de café	7
4.4 Café en México, Chiapas y la Frailesca	8
4.5 Factores agroecológicos del cultivo del café	8
4.6 Características ambientales en la planta del café	10
V. Estrés hídrico en la producción de café	11
5.1 Factores de estrés abióticos de las plantas	11
5.2 Importancia del agua en las plantas	11
5.3 Evapotranspiración	13
5.4 Sequía	14
5.5.1 Tipos de sequía	15
5.5.2 Sequías en México	15
5.5 Disponibilidad hídrica en el café	16
5.6 Cambios en las plantas en respuesta al estrés hídrico	17
5.7 Evapotranspiración en los cultivos de café	18
5.8 El cambio climático y el estrés hídrico	20
5.9 Estrés hídrico y CO ₂	22
5.10 Déficit hídrico en los cafetales	24
5.11 Humedad del suelo en cafetales	26
5.12 Respuesta del café a la pérdida de agua	27
5.13 Nitrógeno y potasio en la planta de café	28
VI. Conclusiones	33

VII. Bibliografía.....	35
------------------------	----

Resumen

El presente trabajo se plasmó con el objetivo de realizar una revisión bibliográfica de los avances científicos de los procesos de estrés hídrico en el cultivo del café. Relacionando al estrés hídrico con las sequías, el cambio climático, además de cómo la falta de agua afecta la obtención de los nutrientes específicamente del Nitrógeno y Potasio.

El estrés hídrico es la insuficiencia de agua que no puede ser aprovechable por la planta; esta depende de la humedad del suelo y sus propiedades físicas no solo del nivel de precipitación que se presente en cada lugar.

Palabras claves

Potencial hídrico, café, evapotranspiración, nutrición mineral, potasio.

I. Introducción

La caficultura es fuente de trabajo para muchas personas en nuestro país, México siendo uno de los principales productores de café se preocupa en producir un producto de buena calidad y este mejore su valor económico en el mercado. La producción de café ha sido afectada principalmente por las sequias y las plagas como la roya y broca.

México produce cafés de excelentes calidades, ya que su topografía, altura, climas y suelos le permiten cultivar y producir variedades clasificadas dentro de las mejores del mundo, la variedad genérica que se produce en México es la “arábiga”. México es el primer productor mundial de café orgánico, y uno de los primeros en cafés “Gourmet”. El café se cultiva en doce estados de la República Mexicana, situados en la parte centro-sur del país. Estos estados son: Colima, Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tabasco y Veracruz. Más de 80% de la producción se destina para la exportación, y Chiapas es el estado principal productor nacional. El sistema de cultivo del café se realiza mayoritariamente con el sistema de sombra, (Canet et al., 2016).

Según Kozlowski & Pallardy, (1997), citado por Varela (2010) nos dice que; estrés es el conjunto de respuestas bioquímicas o fisiológicas que definen un estado particular del organismo diferente al observado bajo un rango de condiciones óptimas (optimo fisiológico) en las cuales el límite de estabilidad ha sido sobrepasado, y que un factor de estrés es cualquier agente que produce un menor crecimiento respecto al óptimo de la planta.

En general los factores de estrés pueden ser clasificados en físicos, químicos y bióticos, siendo los dos primeros agrupados bajo el término de abióticos. Ciertos factores, como por ejemplo la temperatura, pueden generar estrés en tan solo unos minutos. Otros como el contenido de agua en el suelo pueden tardar días a semanas y algunos factores como la deficiencia en contenido de minerales del suelo pueden tardar meses en generar estrés, (Varela, 2010).

De acuerdo a Passioura, (1996); Savé et al., (1999), citado por Varela (2010), en términos biológicos y aplicados a la ecofisiología de plantas, el término sequía puede ser definido como el conjunto de circunstancias bajo las cuales las plantas sufren una reducción del crecimiento o producción por causa de insuficientes recursos hídricos o, porque a pesar de que aparentemente hay suficiente agua en el suelo, el déficit hídrico es demasiado elevado (la demanda evaporativa es muy alta y supera la capacidad de la planta de aprovisionar agua a las hojas) o bien el agua no está físicamente disponible (por ej. por estar congelada o fuertemente retenida por sales o partículas de suelo muy finas).

El objetivo de esta investigación se fundó en la Revisión científica de los avances científicos de los procesos de estrés hídrico en el cultivo de café; basado en la disponibilidad de agua y el proceso de estrés hídrico en el cultivo de café, afectando con ello la producción provocando pérdidas económicas.

Dos formas importantes para medir el estrés hídrico son la cantidad de agua en el suelo y la pérdida de agua por evapotranspiración. Siendo esta causante de daños a la floración, frutos y el desarrollo de la planta.

II. Objetivos

2.1 Objetivo general

Realizar Revisión bibliográfica de los avances científicos de los procesos de estrés hídrico en el cultivo de café.

2.2 Objetivos específicos

2.2.1 Analizar los factores de estrés abióticos en las plantas

2.2.2 Identificar la respuesta de la planta de café al estrés hídrico

2.2.3 Participación de la nutrición mineral en el estrés hídrico de las plantas

III. Justificación

El tema planteado del estrés hídrico en el café, se debe a la importancia económica que representa en Chiapas, por lo que es necesario conocer que daños provoca el déficit hídrico.

Como se sabe en todo el mundo se presentan cambio de temperatura y precipitación provocadas por el cambio climático afectando a cultivos en su producción. *Coffea arabica* L. una de las especies cultivadas en Chiapas, con los cambios climáticos presentados en los últimos años se ha vuelto susceptibles a algunas plagas.

El cultivo del café juega un papel importante en la conservación de fauna ya que regularmente este cultivo se maneja bajo sombra.

En Chiapas muchos productores se dedican a la producción de café pero no solo la importancia para la venta, también para consumo propio quien no degusta una taza de café en las mañanas o en la noche además esta bebida es consumida a cualquier hora del día y reúne a familias.

VI. Antecedentes

4.1 Origen del cultivo del café

Fueron los árabes los primeros en cultivar el cafeto y propagar la bebida. Esto hizo creer a los historiadores durante mucho tiempo que era arábica la planta. Las primeras investigaciones históricas posteriores, sin embargo, han comprobado que el cafeto es originario de las montañas de Abisinia (Etiopía). También ha habido confusión en cuanto a los orígenes de su nombre, el cual ha sufrido numerosas modificaciones a través de la historia. Parece que los abisinios, y los árabes primitivos, llamaron Bunn la cereza y el arbusto, y bunchun la bebida. Posteriormente, y por prepararse entonces la bebida en forma de un vino, los árabes le dieron al café el nombre de qahwah, genérico de los vinos, y este degeneró en cahueh. De allí lo tomaron los turcos para llamarlo cahve origen etimológico que le da a la palabra Real Académica Española, (Ospina, 1958).

Existen muchas leyendas sobre el origen del café, pero la más fuerte y aceptada sobre el origen del café es la de un pastor de Abisinia, llamado Kaldi, quien observó el extraño comportamiento de las cabras luego de que las mismas consumieran unos pequeños frutos rojos de arbustos en los montes, efecto que luego fue comprobado por él mismo al renovarse su energía después de su consumo. Kaldi, llevó unas muestras de frutos, hojas y ramas a un monasterio, donde los monjes por curiosidad las pusieron a cocinar. Al probar la bebida la encontraron de tan mal sabor, que arrojaron a la hoguera lo que quedaba en el recipiente. Los granos a medida que se fueron quemando, despidieron un agradable aroma. Fue así como uno de los monjes se les ocurrió preparar la bebida a base de granos tostados, (Mariel & Noel, 2010).

Por su importancia comercial en el mundo sobresalen dos especies de café: la de los cafés arábigos y las de los cafés robustas. La primera especie abarca las tres cuartas partes de la producción mundial y se cultiva esencialmente en el Centro y Sur de América, (Mariel & Noel, 2010).

4.2 Principales especies económicas de café en América latina y el Caribe

El café pertenece a la familia Rubiaceae y al género *Coffea*. Dos especies son de importancia económica en el mundo: *Coffea arabica* Linneo y *C. canephora* Pierre ex *Froehner*, las cuales se conocen en el mercado como cafés arábigos y robustas, respectivamente. En general, el café de la especie *C. arabica* presenta aroma y acidez pronunciadas, mientras que el café Robusta se caracteriza por tener mayor cuerpo. Ambas especies se distinguen por sus características botánicas, genéticas, agronómicas, químicas y morfológicas. El 80 % de la producción mundial corresponde a la especie arábiga que se cultiva principalmente en los países centroamericanos, Colombia, Brasil, en algunos países asiáticos como la India y del África como en Kenia y Etiopía. La mayoría del café de la especie *C. canephora* se cultiva en el África, Indonesia y Brasil, (Canet et al, 2016).

4.3 Principales países productores de café

Las principales regiones productoras de café son América del Sur (particularmente Brasil y Colombia), Vietnam, Kenia y Costa de Marfil. Hawái posee una pequeña producción de café de gran calidad y de muy alto precio, pero dentro de las numerosas variedades, el café más caro y famoso sigue siendo el Blue Mountain procedente de Jamaica. Actualmente Colombia posee numerosas plantaciones de cafés orgánicos de altísima calidad que están comenzando a ganar reconocimiento mundial. Durante varias décadas en los siglos XIX y XX Brasil fue el mayor productor

y monopolista en el comercio de café, hasta que una política de mantenimiento de altos precios generó oportunidades de negocios a otros productores, como Colombia, Guatemala, México, Costa Rica e Indonesia, (Mariel & Noel, 2010).

4.4 Café en México, Chiapas y la Frailesca

México produce cafés de excelentes calidades, ya que su topografía, altura, climas y suelos le permiten cultivar y producir variedades clasificadas dentro de las mejores del mundo, la variedad genérica que se produce en México es la “arábiga”, que se clasifica dentro del grupo de “otros suaves”. Destacan por su calidad las variedades Coatepec, Pluma Hidalgo, Jalatenango, Marago y Natural de Atoyac, sólo por citar algunas. México es el primer productor mundial de café orgánico, y uno de los primeros en cafés “Gourmet”. El café se cultiva en doce estados de la República Mexicana, situados en la parte centro-sur del país. Estos estados son: Colima, Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tabasco y Veracruz. Más de 80% de la producción se destina para la exportación, y Chiapas es el estado principal productor nacional. El sistema de cultivo del café se realiza mayoritariamente con el sistema de sombra, (Canet et al., 2016).

4.5 Factores agroecológicos del cultivo del café

Barva, (2011), habla sobre los factores agroecológicos del cultivo del café que son los siguientes:

Altitud

La altitud óptima para el cultivo de café se localiza entre los 500 y 1700 msnm. Por encima de este nivel altitudinal se presentan fuertes limitaciones en relación con el desarrollo de la planta.

Precipitación

La cantidad y distribución de las lluvias durante el año son aspectos muy importantes, para el buen desarrollo del cafeto. Con menos de 1000 mm anuales, se limita el crecimiento de la planta y por lo tanto la cosecha del año siguiente; además, un período de sequía muy prolongado propicia la defoliación y en última instancia la muerte de la planta. Con precipitaciones mayores de 3000 mm, la calidad física del café oro y la calidad de taza puede comenzar a verse afectada; además el control fitosanitario de la plantación resulta más difícil y costoso.

Humedad relativa

Cuando alcanza niveles superiores al 85%, se propicia el ataque de enfermedades fungosas que se ven notablemente favorecidas.

Temperatura

La temperatura promedio anual favorable para el cafeto se ubica entre los 17 a 23 °C. Temperaturas inferiores a 10 °C., provocan clorosis y paralización del crecimiento de las hojas jóvenes. Vientos fuertes inducen a la desecación y al daño mecánico de tejido vegetal, asimismo favorecen la incidencia de enfermedades. Por esta razón es conveniente escoger terrenos protegidos del viento, o bien establecer rompe vientos para evitar la acción de éste.

Precipitación pluvial

De acuerdo a Ojien et al., (2010) citado por Espinosa et al., (2016), el café se produce en México con una precipitación pluvial de 750 a 3000 mm, temperaturas de entre 16°C y 22°C.

4.6 Características ambientales en la planta del café

Se conoce que el cafeto es un cultivo de fotoperíodo corto, es decir, que requiere para florecer, menos de 13 horas sol por día. Los valores más frecuentes en la zona cafetalera colombiana están entre 1600 y 2000 horas sol por año (4.4 – 5.6 horas por día). La temperatura media debe estar entre 17 y 23 °C, que se consigue a una altura que va de 1000 y 2000 metros sobre el nivel del mar (msnm), la precipitación media anual debe ser bien distribuida y superior a 1200 mm (no se deben presentar déficit hídricos prolongados) y la humedad relativa debe estar sobre 70%. Estos límites permiten las mayores posibilidades de éxito con el cultivo, sin que ello signifique que el cafeto no pueda vegetar fuera de ellos, (Valencia, 2000).

V. Estrés hídrico en la producción de café

5.1 Factores de estrés abióticos de las plantas

Los factores de estrés abiótico que más influyen en el rendimiento de la planta incluyen deficiencias o excesos de agua, (Sequía e inundación), extremos de irradiación, excesivamente baja o alta temperatura, o deficiencias o excesos de Varios nutrientes, incluyendo macro y micronutrientes, alta salinidad, (Rhodes & Orczyk, 2001).

El estrés abiótico también puede incluir tensiones mecánicas (por ejemplo, viento, granizo, impedancia mecánica de crecimiento radicular en suelos compactados, y heridas), y Las tensiones asociadas con sustancias químicas tóxicas, hechas por el hombre, incluyendo contaminantes gaseosos (dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, ozono), metales pesados y xenobióticos (por ejemplo, herbicidas), (Rhodes & Orczyk, 2001).

Como se menciona en los 2 párrafos anteriores existen diferentes tipos de factores de estrés abiótico que afectan el desarrollo de la planta, el factor que más interviene en el rendimiento de la planta es la deficiencia y excesos de agua. Cuando una planta sufre de estrés hídrico puede causar daños irreversibles en las hojas, tallo o raíces e incluso la muerte de la plántula.

5.2 Importancia del agua en las plantas

El agua es la molécula esencial para la vida; en las plantas constituye típicamente del 80 al 95% de la masa de los tejidos en crecimiento y desempeña varias funciones únicas. Es el solvente más abundante y mejor conocido y, como tal, permite el movimiento de moléculas dentro y entre las células, (Moreno, 2009).

El agua como se menciona en el párrafo anterior conforma a una planta en un porcentaje muy alto; además es de vital importancia para que se lleven a cabo los distintos procesos que dan lugar al desarrollo de la planta. Pero si el porcentaje de agua se excede en los óptimos para la planta o está por debajo de los límites requeridos los procesos y tejidos de las plantas se verán afectados.

En términos generales, la humedad ambiental apropiada para el cafeto es de 65 a 80%. Si es excesiva, cercana a 100%, por períodos largos, se hace propicia la aparición de enfermedades fungosas, y si es deficiente, inferior a 60% los procesos básicos de la planta se ven afectados negativamente según, Pentón & Cabrera, (1988), citado por Cisneros et al, (2015).

Según estudios de Rena y Maestri (2000), el agua es responsable de la expansión del endocarpio a través de la presión de turgencia ejercida antes de la lignificación, influyendo en el tamaño de la semilla. Por otra parte Camargo (1985), plantea que la ocurrencia de estrés hídrico en la planta durante la fase de fructificación-desarrollo del fruto, atrasa su crecimiento y aumenta el porcentaje de granos vanos. El efecto del estrés hídrico fue observado también por Bomfim-Neto (2006), en un experimento en Minas Gerais donde comprobó que las parcelas regadas tuvieron un incremento del 35% de productividad de granos de mayor tamaño. Todo lo anterior se corresponde con lo planteado por Carvajal (1984), refiriéndose a que en el surgimiento de granos vanos juega un papel importante la desnutrición (fertilización y absorción de nutrientes por vía hídrica), citado por González et al, (2017).

La finalidad del productor y para el mercado al producir café es obtener frutos de mejor calidad, las características serían frutos de tamaños más grandes y completos;

por lo cual se da importancia al agua, la cual es la responsable de la expansión del endocarpio y la formación de los demás tejidos de la planta.

5.3 Evapotranspiración

Según FAO (1997), en evotranspiracion del cultivo encontrado en: www.fao.org/3/a-x0490s.pef; Se conoce como evapotranspiración (ET) la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo. La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada. La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden agua predominantemente a través de los estomas. Estos son pequeñas aberturas en la hoja de la planta a través de las cuales atraviesan los gases y el vapor de agua de la planta hacia la atmósfera.

La evapotranspiración es la combinación del proceso de evaporación y transpiración que se da por dos factores el contenido de humedad del suelo y el desarrollo de la planta. La pérdida de agua en forma de vapor a través de las hojas de las plantas asía la atmosfera permiten que se lleven a cabo diferentes procesos como el transporte de nutrientes, además genera el enfriamiento de las plantas. También por medio de ello nos permite que se genere la fotosíntesis. El agua por medio del proceso de la osmosis le permite a las plantas rigidez a la estructura de la planta.

La transpiración es un proceso de naturaleza físico-fisiológica y consiste en la pérdida de agua en forma de vapor por los órganos aéreos, especialmente desde las

hojas a través de los estomas y en menor cuantía de la epidermis foliar. A través de los años los fisiólogos han reconocido que el vapor de agua escapa a la atmósfera principalmente por los estomas y a ésta se le denomina transpiración estomatal, mientras la que ocurre a través de la epidermis de las hojas, flores, frutos y ramas jóvenes se conoce como transpiración cuticular. Existe una tercera forma de pérdida de agua en forma de vapor, que se produce a través de las lenticelas, pequeñas aberturas existentes en el tejido suberoso que recubre a los tallos y ramitas de algunos tipos de plantas; esta recibe el nombre de transpiración lenticular, (Torres, et al., 2018).

5.4 Sequía

En términos biológicos y aplicados a la ecofisiología de plantas, el término sequía puede ser definido como el conjunto de circunstancias bajo las cuales las plantas sufren una reducción del crecimiento o producción por causa de insuficientes recursos hídricos o, porque a pesar de que aparentemente hay suficiente agua en el suelo, el déficit hídrico es demasiado elevado (la demanda evaporativa es muy alta y supera la capacidad de la planta de aprovisionar agua a las hojas) o bien el agua no está físicamente disponible (por ej. por estar congelada o fuertemente retenida por sales o partículas de suelo muy finas) según Passioura, (1996); Savé et al., (1999), citado por Varela, (2010).

La sequía es la insuficiente cantidad de agua aprovechable para las plantas en cierto tiempo; esto está estrechamente ligado a la demanda evaporativa de la planta y de las características físicas del suelo pudiendo haber suficiente agua en el suelo pero si esta no puede ser absorbida por las raíces la planta tendrá deficiencia para realizar la fotosíntesis y con ello generara estrés hídrico.

5.5.1 Tipos de sequía

Según Wilhite & Glantz (1985) citado por Valiente (2001); nos dice que detectaron más de 150 definiciones de este tipo, categorizándolas en cuatro grupos según la disciplina científica desde la que se ha analizado el fenómeno: sequía meteorológica, sequía hidrológica, sequía agrícola y sequía socioeconómica.

Sequía meteorológica directamente relacionada con la falta de precipitación con duración de meses o años esto dependiendo de la climatología de cada lugar.

Sequia hidrológica depende del volumen de agua captada por ríos, embalses ya que la escasez de lluvias genera la disminución de estos caudales. Sequia agrícola de principal importancia para agricultura, la producción de cultivos depende de la humedad en el suelo para permitir el desarrollo de las plantas y sequia socioeconómica esto sucede cuando la disponibilidad de agua no es suficiente para abastecer las necesidades humanas en sus actividades.

5.5.2 Sequías en México

En México, donde la agricultura de riego y de temporal es una fuente importante de empleo y de ingreso económico, las sequías representan un alto riesgo para el sector agropecuario, principalmente, ya que propician severos desajustes a la economía regional y nacional, como ocurrió durante la sequía más reciente de 2011-2012, “la más severa de los últimos 70 años”, según apreciaciones de diversos actores INEGI, 2011; CONAGUA, 2012; SAGARPA (2012), citado por Ortega, (2013).

Es importante conocer la frecuencia con que se presentan las sequias en nuestro país ya que como se sabe los cafetales depende de la lluvia de temporada, siendo el agua el principal factor de crecimiento de una planta al presentarse escasez de esta provocara disminución en la producción agrícola.

5.5 Disponibilidad hídrica en el café

El estudio se desarrolló en Viçosa (20° 45' S, 42° 54' O) a 650 m.s.n.m. en el estado de Minas Gerais, Brasil. Se utilizaron plantas de *C. arabica* cv. *Catuaí Vermelho* IAC 44 propagadas por semillas y cultivadas en macetas de polipropileno con capacidad de 8 lt. En total fueron cultivadas 48, la mitad de ellas a pleno sol y la otra mitad en ambiente sombreado, aproximadamente 15% de la radiación solar. Después de 6 meses, se tomaron 12 plantas de cada tratamiento lumínico y fueron sometidas a ciertos tratamientos hídricos: la mitad de las plantas continuaron con irrigación permanente, recibiendo el 100% del agua evapotranspirada (Capacidad de Campo, CC) y, la otra mitad fue irrigada con cantidades decrecientes de agua transpirada por las plantas a CC (cálculo estimado por gravimetría, con balanza de precisión 0,1 g) hasta alcanzar 35% de humedad disponible en el suelo (plantas con déficit hídrico, DH), durante 76 días según Días et al., (2007) citadas por Mariño,(2014).

El potencial hídrico fue determinado en hojas individuales en las primeras horas del día y al medio día, utilizando una bomba de presión tipo Scholander. La transpiración (E) se determinó por gravimetría según la metodología de Nagakura et al, (2004). La conductividad hidráulica (KL) fue estimada a partir de la transpiración de las plantas entre las primeras horas del día y el medio día y la diferencia del potencial hídrico ($\Delta\Psi_w$) [variación del potencial hídrico entre ambas mediciones ($\Psi_{am} - \Psi_{md}$) observado en ese intervalo de tiempo] según la metodología de Tausend et al. (2000) citado por Mariño, (2014).

Donde se obtuvieron los siguientes resultados : En la época de invierno, las plantas de cafeto cultivadas a pleno sol, independiente de la disponibilidad hídrica, presentan reducciones en la tasa de fotosíntesis asociada con limitaciones difusivas, debido a

bajas tasas de conductancias estomáticas y a limitaciones fotoquímicas, debido a foto-inhibición crónica. El sombreamiento permitió una mejor aclimatación de las plantas contra los efectos de las bajas temperaturas nocturnas, reduciendo los efectos negativos del exceso de energía de los días soleados. No obstante, el sombrío no mitigó los impactos de la sequía en el cultivo de café. En la época de verano, los incrementos en la tasa de fotosíntesis en las plantas al sol se deben al aumento de la abertura estomática cuando se presentan buenas condiciones hídricas. En la sombra las reducciones de conductividad hidráulica e transpiración, indican una optimización del uso del agua. De cualquier manera, la recomendación del uso de sombrío como práctica cultural debe ser tomada con precaución, (Mariño, 2014).

La sombra de las plantas sobre el café mejora el microclima de las estas permitiéndoles resistencia sobre las altas temperaturas en el día y bajas temperaturas en la noche sin embargo esto no contrarresto los impactos de la falta de agua en las plantas.

5.6 Cambios en las plantas en respuesta al estrés hídrico

En la estrategia evitadora del estrés hídrico las plantas previenen o minimizan la penetración del estrés en sus tejidos, ya que éstos son muy sensibles a la deshidratación. Las especies que siguen esta estrategia o bien maximizan la absorción de agua (ej. sistemas radicales profundos) o bien minimizan las pérdidas de agua (cierre de estomas rápido y sensible a ligeros descensos del contenido hídrico de los tejidos o al potencial hídrico, valores en general bajos de conductancia estomática, paredes celulares poco elásticas que inducen cambios rápidos de potencial hídrico en respuesta a pequeñas pérdidas de agua, hojas pequeñas, bajas

tasas de transpiración), por lo que dentro de esta estrategia encontraríamos dos mecanismos evitadores: uno por derroche de agua, el cual permite mantener hidratados los tejidos en plena sequía siempre que el acceso al agua del suelo y su distribución interna por el xilema no sea limitante, y otro por ahorro de agua. Ambos mecanismos mantienen a las plantas dentro del estado de turgor, con potenciales hídricos relativamente altos, (Valladares & Vilagrosa, 2014).

Para resistir a la deficiencia de agua las plantas generan dos estrategias maximizan la absorción de agua por medio de sistemas radicales profundos que le permita a la planta obtener mayor cantidad de agua además, generan cierre estomático esto le permitirá a la planta perder agua sin embargo el cierre de los estomas imposibilita el enfriamiento de la planta y el intercambio de gases.

5.7 Evapotranspiración en los cultivos de café

El presente trabajo se llevó a cabo durante cuatro años consecutivos en un área experimental de 1,4 hectáreas plantada de cafeto variedad Caturra Rojo con una edad de 12 años (Plantación establecida). Para la aplicación del agua, se utilizó un sistema de riego localizado por micro aspersion bajo el principio de cobertura total. El emisor fue de la serie C 2 x140° con diámetro de salida $f = 1,0$ mm, caudal de 37,36 L h⁻¹, espaciados a 1,00 m; con un lateral por hilera de plantas. El diseño experimental utilizado fue el de bloques al azar con seis (6) tratamientos y cuatro (4) repeticiones, el área de cada tratamiento fue de 960 m². Los tratamientos consistieron en: 1. Riego todo el año a 85% del Limite Superior de Agua disponible en el suelo (LSAD). 2. Riego a 85% del LSAD con suspensión en diciembre. 3. Riego a 85% del LSAD con suspensión en diciembre y enero. 4. Riego a 85% del LSAD con

suspensión en diciembre, enero y febrero. 5. Riego a 85% de LSAD con suspensión en diciembre, enero, febrero y marzo. 6. Sin riego, (Cisneros et al, (2015).

De acuerdo a Cisneros, (2015), En el experimento del párrafo antes mencionado consistió en control en los riegos suspendiéndolos en los meses diciembre, diciembre- enero, diciembre- enero-febrero y diciembre- enero y marzo; midiendo la evapotranspiración con el objetivo de conocer el consumo hídrico del café en sus diferentes fases del cultivo en el cual se demostró que la necesidad de cantidad de agua para la planta dependerá en qué estado se encuentre la planta.

Donde se obtuvieron los siguientes resultados de acuerdo a Cisneros et al, (2015), el consumo hídrico del cafeto varía según las fases de desarrollo y la demanda evaporativa de la atmosfera, mostrándose la etapa de mayor necesidad de agua para las condiciones biofísicas de la región, la floración – fructificación, seguida de la fase maduración–cosecha, la evapotranspiración promedio diaria anual resulto ser de $3,24 \text{ mm día}^{-1}$. Los valores de coeficiente de cultivo obtenidos responden a las necesidades hídricas en cada fase de desarrollo del cafeto, por lo que pueden ser utilizados para el diseño y la planificación del riego en la zona de estudio, el coeficiente de cultivo único global fue de 0,86.

Donde se encontró que la etapa del café en la cual requiere niveles de agua más altos seria en la floración-fructificación seguida de la maduración- cosecha, esto es muy importante para obtener productos de mejor calidad. También se vio que en los diferentes tratamientos; aun con déficit de recurso hídrico los niveles de estrés fueron muy bajos por lo cual no se presentaron daños de acuerdo a los resultados obtenidos: Las variaciones de humedad durante los cuatro años reflejan que en ocasiones la misma descendió por debajo del Límite Inferior de Agua Disponible en

el suelo (LIAD) planificado, pero aun así, no se observaron síntomas de estrés hídrico en la planta, por lo que en sentido general el cultivo se desarrolló sin limitaciones de agua significativas, (Cisneros, 2015).

Canet et al, (2016), nos dice que el cultivo del café esta aclimatado al patrón de lluvias, que presenta un periodo lluvioso de mayo a octubre en la mayoría de las regiones de producción. El café también ha tenido un proceso de adaptación a la topografía, conducido por la producción de diferentes variedades según la altitud, obteniéndose mejor calidad en las zonas altas. Aunque la región se caracteriza por la variabilidad de las lluvias, hay creciente evidencia de que los cambios en los extremos de lluvia intensa y sequía y alza progresiva de la temperatura (especialmente la nocturna) están provocando efectos directos e indirectos en el cultivo del café los cuales incluyen una mayor incidencia de enfermedades, degradación de suelos y la reducción de servicios ambientales como control de plagas y polinización.

5.8 El cambio climático y el estrés hídrico

Según Rivera et al, (2013), el cambio climático que se espera en el transcurso del siglo XXI puede afectar la productividad de diferentes cultivos agrícolas, incluyendo el café. Camargo (2010), menciona que la variación anual de la producción de café está relacionada principalmente con la variación climática, debido a que los factores climáticos afectan el desarrollo de las fases fenológicas del cultivo. Por ejemplo, el proceso de la fotosíntesis se limita cuando se produce el estrés hídrico, debido al cierre de estomas y a la reducción de actividades fisiológicas de la planta.

Ramírez, (2010) realizó lo siguiente, durante tres años, se midió la humedad del suelo, en dos localidades, y en cada una de ellas en un lote sembrado con café

variedad Colombia, con densidades superiores a 6.000 plantas/ha y a libre exposición solar. En la localidad 1 (Cenicafé), el lote tenía, en el primer año de medición, cuatro años de edad; la medición de humedad del suelo (valor observado), se realizó con un equipo de dominancia de tiempo real (TDR), a 20 cm de profundidad, semanalmente, durante los años 1997 y 1998. En la localidad 2 (El Jazmín), el lote tenía seis años de edad y la medición de humedad (valor observado), se hizo a partir de muestras disturbadas de suelo a 20 cm, semanalmente, durante enero a agosto del 2004. Para la estimación de la humedad, de acuerdo con las expresiones descritas anteriormente (valor estimado), en cada una de las localidades, se tomó la información meteorológica registrada a nivel diario, de las estaciones más cercanas.

Las diferencias relativas, en promedio, fueron del 15,6%, 27,5% y 11,2%, para la localidad 1, años 1997-1998, y localidad 2, respectivamente, con límites superiores para el intervalo de 4,2%, 5,7% y 8,8%, respectivamente. El coeficiente de regresión, para la relación lineal simple, entre valores observados y estimados, con un estimación de 0,95, es estadísticamente igual a 1, según prueba de t al 5%, lo cual implica una relación uno a uno entre valores observados y estimados, es decir, la expresión utilizada para estimar la humedad del suelo en cafetales a libre exposición, ni sobrestima ni subestima la humedad del suelo observada. Con estos resultados, se considera que la expresión para estimar la humedad del suelo es confiable y puede ser utilizada en la valoración de la disponibilidad hídrica en cafetales, construcción de mapas de riesgo y análisis regionales de disponibilidad hídrica para el cultivo del café. Con respecto al secado y humedecimiento del suelo, los resultados evidenciaron un comportamiento no lineal, de tal manera que la pérdida

de agua en el suelo es un proceso más lento que la ganancia a través del tiempo, es decir, se confirmó el patrón histéresis, lo cual indica la aproximación al fenómeno real, (Ramírez, 2010)

5.9 Estrés hídrico y CO₂

La pérdida de agua desde las hojas hacia la atmósfera (transpiración) está asociada al intercambio de CO₂ necesario para el crecimiento y desarrollo de la planta, siendo los estomas la principal vía de intercambio de carbono y agua. Así, la transpiración tiene efectos positivos y negativos. Dicho proceso proporciona la energía capaz de transportar agua, minerales y nutrientes a las hojas en la parte superior de la planta, mientras que al mismo tiempo es la mayor fuente de pérdida de agua. Esta pérdida puede amenazar la supervivencia de la planta, especialmente en climas muy secos y cálidos. Casi toda el agua se transpira por los estomas de las hojas y del tallo, por lo tanto una planta al abrir y cerrarlos mismos debe lograr un equilibrio entre la absorción de dióxido de carbono para la fotosíntesis y la pérdida de agua por transpiración. De esta manera, se logra un flujo unidireccional desde el sistema de absorción de agua hasta las superficies por las cuales los individuos transpiran, (Varela, 2010).

El párrafo anterior habla de la importancia que tiene los estomas para el intercambio de CO₂ y agua, y como en este proceso debe existir un equilibrio para que las plantas generen todos sus funcionamientos pero el cual se ve afectado cuando el cierre de los estomas se genera al protegerse de la pérdida de agua por la transpiración.

Aunque el cierre estomático suponga una gran ventaja a la hora de evitar pérdidas de agua, tiene como contrapartida una reducción en la captación de CO₂ y el

calentamiento de la hoja, que pueden conducir a la debilidad de la planta, a daños en la estructura celular e incluso a la muerte del individuo según Bohnert & Jensen, (1996) citado por Varela, (2010).

Menciona el párrafo antes escrito que al momento de que los estomas se cierran para evitar la pérdida de agua y mantener a la planta fresca provoca a su vez un calentamiento de las hojas por la reducción de CO₂, el cual afecta el proceso de la fotosíntesis.

El impacto negativo del déficit hídrico sobre la productividad de plantas ha sido estudiado extensivamente (Kozlowski, 1982; Jones, 1998). En muchos casos, a medida que el déficit hídrico se incrementa durante la sequía la limitación del crecimiento es primero ejercida a través de una reducción en el crecimiento de la superficie asimilatoria y luego a través de la inhibición de la fotosíntesis (Ephrath & Hesketh, 1991). La fotosíntesis es el proceso más importante en la productividad vegetal y la habilidad para mantener la tasa de asimilación de CO₂ en condiciones de estrés ambiental es fundamental para el crecimiento y la producción de la planta (Lawlor, 2002). Dicha tasa de asimilación se ve reducida por el déficit hídrico, principalmente y como se mencionó anteriormente, por su efecto sobre la apertura o cierre estomático. En condiciones de déficit hídrico, dependiendo de la especie y la intensidad del estrés, la tasa de asimilación puede disminuir hasta valores cercanos a cero, sin que se detecte daño de la maquinaria fotosintética del mesófilo (Chaves, 1991). Los daños permanentes en dicha capacidad suelen desarrollarse cuando además se superponen a éste otros factores de estrés, como por ejemplo excesos de radiación y altas temperaturas, que se traducen en procesos inhibitorios de las

enzimas fotosintéticas y en la cadena de transporte de electrones, Boyer et al., (1987). citado por Varela, (2010).

Cuando una planta está sometida a unas condiciones significativamente diferentes de las óptimas para la vida se dice que está sometida a estrés, si bien las diferentes especies o variedades difieren en sus requerimientos óptimos y por tanto en su susceptibilidad a un determinado según Hsiao (1973), Levitt (1980), citado por Valladares et al, (2014).

Según lo expresado en el párrafo anterior nos dice que una planta sufre estrés cuando sus condiciones óptimas se ven afectadas por los diferentes factores agua, luz, temperatura, falta de nutrientes entre otros los límites pueden variar dependiendo de las especies.

5.10 Déficit hídrico en los cafetales

Según, Ramírez et al, (2010), con el propósito de contar con un índice que permita evaluar el exceso hídrico en el suelo, se propuso el siguiente modelo que se acopla al balance hídrico. Para el cálculo de este índice se debe conocer la humedad a saturación del suelo (θ_s , que es el agua retenida a una presión de succión de 0 kPa y que es más o menos igual a la porosidad del suelo- ϕ) y la humedad del suelo a capacidad de campo (θ_{cc} , que es el agua retenida a una succión de -33 kPa).

De acuerdo a Ramírez et al, (2010), las medidas de humedad del suelo se tomaron con un equipo de reflectometría (TDR), a 20 y 40 cm de profundidad simultáneamente, para un total de 49 medidas por profundidad. Para efectos de este estudio, se tomaron las medidas a 20 cm de profundidad, y se tomaron los datos de la estación meteorológica de Cenicafé, cercana a los lotes donde se realizaron las

medidas de humedad. Se estimó la evapotranspiración de referencia (ETo) empleando el modelo de García y López modificado por Jaramillo (18) para zona cafetera, y el coeficiente de cultivo (Kc) empleado fue de 1,1 para un cafetal denso y adulto.

Se obtuvieron los siguientes resultados; El déficit hídrico en café puede ser monitoreado empleando tanto el índice de evapotranspiración relativa o déficit hídrico, como el índice de humedad del suelo. Se observa que los índices mantienen la tendencia de la humedad del suelo; en la medida en que la humedad volumétrica se acerca al valor correspondiente a capacidad de campo (θ_{cc}), el índice de déficit hídrico es cercano a uno (1,0), y en la medida en que la humedad disminuye, el índice también disminuye. Una vez la humedad del suelo alcanza valores inferiores a la humedad del punto de marchitez permanente (θ_{PMP}), el índice alcanza su límite inferior ($IDH = 0,2$). Para la serie de lecturas de humedad empleadas, se observa que la humedad volumétrica medida, en ningún caso excedió o igualó a la capacidad de campo (θ_{cc}), por lo tanto, el índice de humedad del suelo (IHS) fue inferior a 0,6. Cuando los valores de humedad medida estuvieron por debajo de los niveles inferiores (humedad de punto de marchitez) el índice fue cero o cercano a cero, (Ramírez et al, 2010).

Del párrafo anterior son resultados de los índices para evaluar el estado hídrico en los cafetales de Colombia donde los cultivos mencionados no son de riego sino dependen de las lluvias, con el propósito de conocer la disponibilidad hídrica del cultivo.

5.11 Humedad del suelo en cafetales

Durante tres años, se midió la humedad del suelo, en dos localidades, y en cada una de ellas en un lote sembrado con café variedad Colombia, con densidades superiores a 6.000 plantas/ha y a libre exposición solar. En la localidad 1 (Cenicafé), el lote tenía, en el primer año de medición, cuatro años de edad; la medición de humedad del suelo (valor observado), se realizó con un equipo de dominancia de tiempo real (TDR), a 20 cm de profundidad, semanalmente, durante los años 1997 y 1998 (18). En la localidad 2 (El Jazmín), el lote tenía seis años de edad y la medición de humedad (valor observado), se hizo a partir de muestras disturbadas de suelo a 20 cm, semanalmente, durante enero a agosto del 2004. Para la estimación de la humedad, de acuerdo con las expresiones descritas anteriormente (valor estimado), en cada una de las localidades, se tomó la información meteorológica registrada a nivel diario, de las estaciones más cercanas. (Ramírez; Montoyar, et al, 2010).

Con respecto al secado y humedecimiento del suelo, los resultados evidenciaron un comportamiento no lineal, de tal manera que la pérdida de agua en el suelo es un proceso más lento que la ganancia a través del tiempo, es decir, se confirmó el patrón histéresis, lo cual indica la aproximación al fenómeno real, (Ramírez; Montoyar et al, 2010).

Para conocer la humedad del suelo se tomaron en cuenta la evapotranspiración del cultivo la escorrentía y la lluvia los resultados expuestos en el párrafo anterior indican que la capacidad del suelo para ganar y retener agua es un proceso más rápido a diferencia de perderlo.

5.12 Respuesta del café a la pérdida de agua

Los trabajos experimentales se desarrollaron en la localidad de Pueblo Nuevo, de la Empresa Forestal Integral (EFI) La Palma, provincia Pinar del Río, ubicada en las coordenadas, conforme LAMBERT, Cuba Norte de latitud 22°46' N y longitud 82°52' E. La altura sobre el nivel medio del mar varió entre 150 m y 180 m. La topografía es regularmente llana con pendientes que van hasta el orden del 1%. Las investigaciones se ejecutaron en plantaciones de cafeto (*Coffea arabica. L.*) var. Caturra rojo, en fase de producción de 12 años de edad, con un área de 1,40 hectáreas netas, el marco de plantación fue de 2,00 m x 1,00 m, para una densidad de 5 000 plantas ha⁻¹, bajo sombra controlada de piñón (*Gliricidia Spediun. Sp.*) Típico de la zona, (González, 2017).

El diseño experimental utilizado fue bloques al azar con seis (6) tratamientos y cuatro (4) repeticiones. El área de cálculo fue de 24 m² (6 x 4 m) y se tomaron 8 plantas por réplicas para un total de 32 plantas por tratamiento. Los tratamientos estuvieron en función de la aplicación del déficit hídrico en diferentes fases de desarrollo del cultivo: T1, sin déficit hídrico en ninguna de las fases; T2, déficit en la fase de floración-fructificación; T3, déficit en la fase de fructificación desarrollo del fruto; T4, déficit en la fase de maduración-cosecha, T5 déficit en la fase vegetativa y T6 déficit en todas las fases, (González, 2017).

Se puede observar que los valores medios de K_y en los tratamientos 4 y 5, sometidos a déficit hídrico en las fases de maduración-cosecha y vegetativa, respectivamente, fueron los más bajos, donde el déficit hídrico tuvo poco efecto sobre el rendimiento del cafeto.

Se obtuvieron los siguientes resultados Los valores del factor de respuesta del rendimiento (Ky) del cafeto, en todos los tratamientos estudiados, fueron inferiores a 1, indicando que el cafeto es tolerante al déficit hídrico y se recupera parcialmente del estrés. La sensibilidad al déficit hídrico (Ky) en las diferentes fases de desarrollo del cafeto varió en el siguiente orden: déficit en todas las fases > déficit en la fase de fructificación desarrollo del fruto > déficit en la fase de floración-fructificación > déficit en la fase vegetativa > déficit en la fase de maduración-cosecha. El factor de respuesta del rendimiento o factor de sensibilidad (Ky) obtenido para este cultivo resulta menos que proporcional al déficit hídrico, factor no publicado en la literatura por lo que constituye un aporte y un valor de referencia para otros estudios en las condiciones edafoclimáticas de Cuba, (González, 2017).

En el párrafo anterior nos presenta los resultados obtenidos aplicando el déficit hídrico en las diferentes fases de la planta obteniendo como resultado que la planta es resistente al estrés hídrico no obstante provoca cambios en esta como; semillas pequeñas, disminuye la floración pero en general en todas sus etapas la planta es tolerante al déficit hídrico.

5.13 Nitrógeno y potasio en la planta de café

Con el fin de determinar la acumulación de N, P y K durante el desarrollo de los frutos de café y las variaciones de sus concentraciones en las hojas, se realizó una investigación entre los meses de abril y noviembre de 2010, en las siguientes Estaciones Experimentales de Cenicafé: Naranjal (Chinchiná, Caldas), El Rosario (Venecia, Antioquia), Líbano (Líbano, Tolima) y Pueblo Bello (Pueblo Bello, Cesar). Se seleccionaron lotes de café Variedad Castillo en buen estado fitosanitario, sembrados o zoqueados entre los años 2006 y 2007 (segunda o tercera cosecha),

con densidades entre 5.000 y 10.000 plantas por hectárea. En Pueblo Bello, la plantación se encontraba bajo sombrero regulada, en tanto que las demás estaban a plena exposición solar. El suministro de nutrientes se realizó en dos ocasiones durante los meses de marzo–abril y septiembre–octubre, basado en el análisis de suelos realizados previo a la iniciación del trabajo, En cada localidad se identificó el día pico de la floración y, a partir de esta fecha, se tomaron mensualmente muestras de frutos y de hojas, en las ramas productivas de 100 plantas que se seleccionaron de manera aleatoria al iniciar la investigación. Tanto en los frutos como en las hojas (tercero o cuarto par, contadas a partir del ápice) se analizaron las concentraciones de N, P y K, (Sadeghian K. et al, 2013).

Donde se obtuvo lo siguiente: En el fruto de café, la mayor acumulación de nutrientes (alrededor del 62%) ocurre entre los 60 y 180 días después de la floración y, en los dos meses antes de la cosecha, se presenta cerca del 25%. Esta condición sugiere que para la formación de los frutos tiene mayor injerencia la fertilización que se realiza durante los primeros dos a tres meses a partir de la floración que aquella que se realiza en los últimos dos meses previos a la recolección. Es por esta razón que al suspender el suministro de nutrientes con alta demanda, como el nitrógeno y potasio, se afecta más la producción del año siguiente que la actual, (Sadeghian K. et al, 2013).

Se debe hacer énfasis en que todo plan de fertilización está sujeto a la disponibilidad de lluvia, dado que el agua además de disolver los fertilizantes, es el insumo indispensable para la absorción de los nutrientes desde la solución del suelo. Esta condición prevalece por encima de las épocas de mayor acumulación de los

elementos en el fruto. Esto quiere decir que no se debe realizar una práctica de fertilización en temporadas secas, aun cuando el fruto se encuentre en los primeros dos meses de su formación o en los últimos dos meses previos a la recolección, (Sadeghian K. et al, 2013).

En la investigación descrita en los párrafos anteriores nos dice que la necesidad de Nitrógeno y Potasio es más demandada en la floración en la planta de café, sin embargo si aplicamos la fertilización necesitaremos mayor cantidad de agua para la disolución de estos.

La mayor parte de los nutrimentos que la planta requiere para satisfacer las exigencias del crecimiento y de la ontogenia, procede del contenido presente en la parte superior del suelo. Si esta llega a perder mucha agua, a pesar de que algo obtiene la planta de los estratos inferiores, el arbusto sufre de una deficiencia de minerales, ya que no se induce una corriente transpiraría que atraiga los nutrimentos a la superficie de las raíces y en consecuencia su velocidad de difusión es muy baja en un suelo seco. Esta situación es menos detrimental para los nutrimentos más móviles, como en el caso del nitrógeno, pero sería importante para otros elementos entre los que se citan Potasio, Fosforo y Boro, (Carvajal, 1984).

Entre las diversas funciones del Nitrógeno, se destacan: a) forma parte de las moléculas de las proteínas; b) es elemento constitutivo de los ácidos nucleicos responsables de la transferencia de la información genética; c) forma parte de la clorofila y de los citocromos. La materia seca de los vegetales contiene del 2 al 4% de nitrógeno. Este nutrimento es absorbido mayoritariamente por el cafeto en la

forma de NO_3^- y NH_4^+ , que se convierten continuamente en compuestos orgánicos, (Carvajal, 1984).

El Nitrógeno es absorbido por la planta en forma NO_3^- o NH_4^+ . Los compuestos de Nitrógeno comprenden del 40 al 50% en el peso de la materia seca en la sustancia del protoplasma y consecuentemente de la sustancia viviente de las células de las plantas. Es por esta razón que de Nitrógeno se requiere por lo general en cantidades relativamente grandes durante todo el proceso de desarrollo de las plantas. De ahí se deduce que sin un adecuado abastecimiento de este nutrimento no puede llevarse a cabo un desarrollo apreciable en las plantas según, INTECAP; ANACAFE, (1978), citado por Jerónimo, (2006).

La mayor demanda de Potasio se presenta en el proceso de crecimiento y maduración de frutos; además influye en los rendimientos; calidad del grano y resistencia a plagas y sequías. El nivel de Potasio en el suelo debe ser de un 5% en relación con el 65% de Calcio y 18% de Magnesio, dentro de la capacidad de intercambio catiónico total (capacidad productiva del suelo). Otras funciones que se atribuyen al Potasio, de éstas se pueden mencionar las siguientes: participa en la activación de más de 60 sistemas enzimáticos, en los procesos fotosintéticos, en la síntesis de almidones y aminoácidos, apertura de estomas y traslocación de carbohidratos. El Potasio participa en el tamaño, forma, color, fragancia y sabor del café. Contribuye al endurecimiento de los tejidos de sostén y resistencia a enfermedades, de acuerdo a Torres Arias, G; (1997), citado por Jerónimo, (2006).

Las raíces de las plantas toman el K^+ del suelo por intercepción (intercambio de H por K de la solución, de la materia orgánica o de la superficie de arcillas), por flujo de

masas (flujo de agua que se mueve hacia las raíces) y por difusión (movimiento a través del film húmedo por diferencias de concentración), (Coronel, 2003).

El Potasio se mueve desde estructuras viejas hacia los puntos de crecimiento, por lo tanto es acumulada tempranamente en el período de crecimiento y posteriormente se reparte para colaborar: en la fotosíntesis, regulando la apertura de los estomas permitiendo la asimilación del CO_2 y la salida del O_2 , manteniendo una buena relación del agua en la planta por reducción de evapotranspiración (crea resistencia a la sequía y frío); fortalece la pared, estructuras, componentes celulares y por ende los tejidos hasta de las raíces (desarrollándolas y multiplicándolas), creando resistencia al ataque de enfermedades y plagas y evitando el acame; también interviene en el desarrollo normal de lignina y celulosa; ayuda a la conversión de los azúcares simples a complejos y almidones, dándole buen sabor al producto y crecimiento de la planta; colabora en la formación de proteínas (evitando el aumento en la presencia de nitrógeno en forma libre), ofreciendo pastos de calidad; incrementa el tamaño de frutos, flores, coloración y mantenimiento de la calidad en post-cosecha en hortalizas; son requeridos por más de cincuenta enzimas para aumentar la velocidad de reacción y por cuarenta procesos enzimáticos para su normal actividad en la síntesis de fotofosforización (sintetiza ATP), glicólisis, fosforilización oxidativa, respiración (influye en la ATP), síntesis de proteínas y síntesis de glicógeno y almidones, (Coronel, 2003).

VI. Conclusiones

Los factores de tipo abiótico que pueden producir estrés en una planta serían: altas o bajas temperaturas, excesos o insuficiencia de nutrientes, radiación solar y exceso o escasa disponibilidad de agua, además de tensiones mecánicas y tensiones asociadas con sustancias químicas tóxicas.

El estrés abiótico de importancia para investigar en este documento fue el estrés hídrico en las plantas como se vio está relacionado con la disponibilidad de agua extraída del suelo por las raíces para que esto se dé necesitamos precipitación pluvial las cuales se ven afectadas últimamente por los periodos largos de sequías derivado esto del cambio climático que vivimos en nuestros días.

Las plantas de café cuando sufren estrés hídrico producen en las hojas enrollamiento además las hojas pierden su color verde, la actividad fotosintética se ve afectada, la planta no puede obtener sus nutrientes por las raíces, genera además un sobrecalentamiento por el cierre de los estomas, el tallo pierde la rigidez, se acelera la generación de frutos pero estos son de un color negro porque no se desarrollan bien por los nutrientes que no puede obtener la planta.

Utilizar café bajo sombra demostró que produce mejora en el clima presentado en los cafetales, permitiéndoles resistencias a las altas y bajas temperaturas sin embargo no disminuye los impactos en el cultivo por déficit hídrico pero sí genera optimización del uso del agua por las plantas de café.

La humedad del suelo juega un papel importante pues por medio de las raíces la planta obtiene el agua pero además nutrientes. Esto se ve afectado por la estructura

y composición del suelo; el suelo puede retener agua pero son las propiedades del suelo que facilitara la extracción del agua por las raíces.

Respuesta de la planta de café al estrés hídrico

La producción de café siendo una de las principales actividades del sector primario del país, demandada en su consumo en muchos países es por eso que México necesita mayor producción de este producto cada vez con mejor calidad.

Nuestro estado Chiapas siendo uno de los primeros productores a nivel nacional, pero afectado este producto por el cambio climático con las sequias provocando con ello estrés hídrico en las plantas del cafeto, como sabemos las plantas en toda su duración sufre grados de estrés pero estas tienen la capacidad de recuperarse, lo que el productor busca es que el estrés hídrico no dañe el desarrollo del fruto y con ello la producción y calidad del café.

Todas las plantas tienen un estado óptimo de temperatura, altitud, precipitación, humedad relativa entre otros para su crecimiento, pero también sabemos de los diferentes tipos de adaptación de cualquier planta para subsistir por lo cual en lo personal no descarto una evolución a la planta de café para poder crecer expuesta al sol en nuestro país siempre que la planta obtenga los niveles óptimos de agua.

VII. Bibliografía

- Barva H. (2011). Guía técnica para el cultivo del café. Instituto del café de Costa Rica. Costa Rica.
- Canet Brenes G., Soto Viquez C., Ocampo Thomasom P., Rivera Ramírez J., Navarro Hurtado A., Guatemala Morales G.M., Y Villanueva Rodríguez S. (2016). La Situación y tendencias de la producción de café en América Latina y El Caribe. Disponible en formato electrónico (PDF) en el sitio Web institucional en [http:// www.iica.int](http://www.iica.int).
- Carvajal, J. F. (1984). Cafeto, Cultivo y Fertilización (Segunda Edición ed.). Costa Rica, América Central: Instituto Internacional de la Potasa P.O Box 121.
- Cisneros E., Garcíal R., Martínez R., López T., y González F. (2015). Evapotranspiración y coeficientes de cultivo para el cafeto en la provincia de Pinar del Río. Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 24, No. 2.
- Coronel, I. A. (2003). Síntesis de la importancia del Potasio en el suelo y en las plantas. Dialnet.
- Estudio FAO riego y drenaje 56, evotranspiración del cultivo. (1997). recuperado el día 15 de agosto del 2019 en www.fao.org/3/a-x0490s.pef.
- González Robainal F., Cisneros Zayas E., Y Montillall E. (2017). Respuesta al déficit hídrico del cafeto (*Coffea arabica* L.) en diferentes fases de desarrollo. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 26. No. 3.
- Jerónimo Lemus S. (2006). Evaluación de niveles de nitrógeno, fosforo y potasio sobre el rendimiento del cultivo de café, durante dos años, en dos localidades de la parte alta del municipio de Quezaltepeque, departamento de Chiquimula. Chiquimula, Guatemala.

- Ortega Gaucin Y Velasco I. (2013). Aspectos socioeconómicos y ambientales de las sequías en México. México.
- Ospina Pérez M. (1958). Manual del cafetalero Colombiano. Bogotá, Colombia: ARGRA Ltda.
- Mariel D.A., & Noel N.M., (2010). El café y sus diversas aplicaciones en la pastelería. 2010. Santa Fe.
- Mariño Yesid A. (2014). Respuesta fotosintética de *Coffea arabica* a diferentes niveles de luz y disponibilidad hídrica. São Paulo, Brasil.
- Moreno P.L. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Departamento de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Ramírez Builes V.H., Jaramillo Robledo A., y Arcila Pulgarín J. (2010). Índices para evaluar el estado hídrico en los cafetales. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.
- Ramírez Builes V.H., Jaramillo Robledo A., Arcila Pulgarín J., y Montoya Restrepo E.C. (2010). Estimación de la humedad del suelo en cafetales a libre exposición solar. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.
- Rivera Silva M.R., Nikolskii Gavrilov I., Castillo Alvarez M., Ordaz Chaparro V.M., Díaz Padilla G., y Guajardo Panes R.A, (2013). Vulnerabilidad de la producción del café (*coffea arabica l.*) al cambio climático global. México.
- Rhodes D. y Orczyk A.N. (2001). Plant Stress Physiology.
- Sadeghian S., Mejía B., y González H. (2013). Acumulación de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en los frutos de Café. Manizales, Caldas, Colombia

- Torres A., Héctor A., Cué J., y Cevallos M. (2018). Fisiología vegetal, volumen 1: nutrición hídrica y mineral de las plantas. Ediciones UTM Universidad Técnica de Mbabé.
- Valencia G.A. (2000). Fisiología, nutrición y fertilización del café. International Plant Nutrition Institute.
- Valiente O.M. (2001). Sequía: definiciones Tipológicas y Métodos de cuantificación. Brasil.
- Valladares F., Vilagrosa A., Peñuelas J., Ogaya R., Camero J.J., Corcuera L., Sisó S., Y Gil-Pelegrín E. (2014). Estrés hídrico: ecofisiología y escalas de la sequía. Madrid.
- Varela Santiago A. (2010). Aspectos básicos de la fisiología en respuesta a estrés y el clima como condicionante del mismo en las plantas. Instituto nacional de tecnología agropecuaria.