



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).
Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



Selección e identificación de 20 genotipos de cacao peruano (silvestres y domesticados) e internacionales, tolerantes al estrés hídrico en condición de vivero

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo

AUTOR:

Gonzalo Torres Pezo

ASESOR:

Ing. Dr. Jaime Walter Alvarado Ramírez

CO-ASESOR

Ing. Ph. Dr. Enrique Arévalo Gardini

Ing. Abel Farfán Pinedo

Tarapoto – Perú

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



Selección e identificación de 20 genotipos de cacao peruano (silvestres y domesticados) e internacionales, tolerantes al estrés hídrico en condición de vivero

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo

AUTOR:

Gonzalo Torres Pezo

Sustentada y aprobada el día 26 de octubre del 2018 ante el honorable jurado:

A blue ink signature of Guillermo Vásquez Ramírez, written in a cursive style.

.....
Ing. M.Sc. Guillermo VÁSQUEZ RAMÍREZ
Presidente

A blue ink signature of Segundo Darío Maldonado Vásquez, written in a cursive style.

.....
Ing. M. Sc. Segundo Darío MALDONADO VÁSQUEZ
Secretario

A blue ink signature of Eybis José Flores García, written in a cursive style.

.....
Ing. Eybis José FLORES GARCÍA
Miembro

A blue ink signature of Jaime Walter Alvarado Ramírez, written in a cursive style.

.....
Ing. Dr. Jaime Walter ALVARADO RAMÍREZ
Asesor

Declaración de Autenticidad


Yo, Gonzalo Torres Pezo, egresado(a) de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Escuela Profesional de AGRONOMÍA, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, identificado con DNI N° 71008253, Domiciliada en el Jr. San Martín N° 1046, distrito Cacatachi - San Martín, con la tesis titulada: “Selección e identificación de 20 genotipos de cacao peruano (silvestres y domesticados) e internacionales, tolerantes al estrés hídrico en condición de vivero”.

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiada; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados que se presenten en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 26 de octubre del 2018


Gonzalo Torres Pezo
DNI N° 71008253



Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	Torres Pezo Gonzalo	
Código de alumno :	101129	Teléfono: 949064105
Correo electrónico :	gonzalo25061@hotmail.com	DNI: 71008253

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	Ciencias Agrarias
Escuela Profesional de:	Agronomía

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos de trabajo de investigación

Título:	Selección e identificación de 20 genotipos de cacao peruano (silvestres y domesticados) e internacionales, tolerantes al estrés hídrico en condición de vivero.
Año de publicación:	2018

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indiquen el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el Título Profesional o Grado Académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el Inciso 12.2, del Artículo 12° del Reglamento Nacional de Trabajos de Investigaciones para optar Grados Académicos y Títulos Profesionales –RENATI “**Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA**”.



Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM-T.

Fecha de recepción del documento:

15, 01, 2019



Firma del Responsable de Repositorio
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso
Abierto de la UNSM-T.

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

****Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Dedicatoria

Doy gracias a Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy. A mis queridos padres, Maximo Torres Sánchez y Maribel Pezo Rodríguez, por ser mis mejores consejeros y amigos, mi mayor ejemplo de fortaleza y dedicación, la fuerza interior que me motiva en los momentos débiles y difíciles de mi vida.

Gonzalo Torres Pezo

Agradecimiento

Al programa nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad (INNOVATE PERÚ, financiado de acuerdo al contrato 428- PNICP-PIAP-2014). Al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Investigación Agrícola (USDA- ARS) por el soporte técnico financiero.

A mi asesor Ing. Dr. Jaime W. Alvarado Ramirez por dedicar su tiempo y sus conocimientos para guiarme en el asesoramiento de mi tesis; por ser un gran docente y amigo. Al Ing. Ph. Dr. Enrique Arévalo Gardini, así como al Ing. Abel Farfán Pinedo por dedicar su tiempo, dedicación y sus conocimientos para guiarme en el desarrollo de mi tesis

Gonzalo Torres Pezo

Índice general

Dedicatoria	vi
Agradecimiento	vii
Resumen	xiii
Abstract	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I REVISION BIBLIOGRAFICA	3
1.1 Antecedente de investigaciones realizadas	3
1.2 Marco Teórico	6
CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS	13
2.1 Tipo de método de investigación	13
2.2 Diseño de investigación	13
2.3 Unidad de análisis, universo y muestra	13
2.4 Materiales biológicos	15
2.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	15
2.6 Conducción del experimento.	16
2.7 Variables.	18
2.8 Incadores evaluados	18
CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
3.1 Resultados	20
3.1.1 Tratamiento estadístico e interpretación de datos	20
a. Efecto del estrés hídrico en la planta de cacao en el indicador altura de planta.	20
b. Efecto del estrés hídrico en la planta de cacao en el indicador número de hojas.	21
c. Efecto del estrés hídrico en la planta de cacao en el indicador área radicular.	21
d. Efecto del estrés hídrico en la planta de cacao para el indicador área foliar.	22
e. Efecto del estrés hídrico en la planta de cacao en el indicador peso fresco.	23
f. Efecto del estrés hídrico en la planta de cacao para indicador peso seco.	24
g. Efecto del estrés hídrico en la planta de cacao para indicador conductancia estomatal.	25
3.2 Discusión	32
CONCLUSIONES	38

RECOMENDACIONES	39
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFIA	40
ANEXO	48

Índice de tabla

Tabla 1: Tratamiento	14
Tabla 2: Temperatura y humedad relativa registrada en el vivero.	15
Tabla 3: Análisis de varianza de la altura de cacao	20
Tabla 4: Análisis de varianza del número de hojas por planta	21
Tabla 5: Análisis de varianza del área radicular	22
Tabla 6: Análisis de varianza de área foliar	23
Tabla 7: Análisis de varianza del peso fresco total	24
Tabla 8: Análisis de varianza del peso seco total	24
Tabla 9: Análisis de varianza de la conductancia estomatal	25
Tabla 10: DTI: Índice de tolerancia a sequía,	31
Tabla 11: Análisis de varianza con respecto al Índice de tolerancia a la sequia	31

Índice de gráficos

Gráfica 1. Indicadores agronómicos estudiados con respecto a la altura de la planta.	20
Gráfica 2. Indicadores agronómicos estudiadas con respecto al número de hojas	21
Gráfica 3. Indicadores agronómicos estudiadas respecto al área radicular	22
Gráfica 4. Indicadores agronómicos estudiadas con respecto área foliar	23
Gráfica 5. Indicadores agronómicos estudiadas con respecto al peso fresco	24
Gráfica 6. Indicadores agronómicos con respecto al peso seco	25
Gráfica 7. Indicadores agronómicos estudiadas con respecto a la conductancia estomatal.	26
Gráfica.8. Altura de planta de la interacción Tratamiento * Genotipo	26
Gráfica.9. Número de hojas de la interacción Tratamiento * Genotipo	27
Gráfica.10. Área radicular de la interacción Tratamiento * Genotipo	27
Gráfica.11. Área Foliar de la interacción Tratamiento * Genotipo	28
Gráfica.12. Conductancia estomatal de la interacción Tratamiento * Genotipo	29
Gráfica.13. Peso fresco de la interacción Tratamiento * Genotipo	29
Gráfica 14. Peso seco de la interacción tratamiento* genotipo	30
Gráfica 15. Índice de Tolerancia a la Sequía	32

Índice de Anexos

Ilustración 1. Selección de las plantas madres de cacao para la extracción de ramilla. a) identificando las plantas madres. b) verificando que no tengan	48
Ilustración 2. Preparación del sustrato y llenado de las bolsas en vivero. A) Llenando las bolsas con el sustrato. B) Bolsas acomodadas en el vivero para	48
Ilustración 3. Cosecha de las ramillas para su propagación. A) identificando las ramas adecuadas. B) Cortando las ramillas.9	48
Ilustración 4. A) Rama ya cortadas las hojas. B) Imprecación de la hormona en la ramilla. C) Ramillas listas para la siembra en el vivero.	49
Ilustración 5. Siembra la ramilla y aplicación de fungicidas. A) Y B) Realizando la siembra de las ramillas. C) aplicando fungicida.	49
Ilustración 6. Cobertura o protección de las ramillas. A) y B) Tapando las ramillas con el plástico azul.). C) cama ya sellada de las ramillas.	49
Ilustración 7. Destapado de las ramillas y aclimatación	50
Ilustración 8. Preparación del sustrato y trasplante a las macetas	50

Resumen

Esta investigación se enmarca dentro de un esfuerzo que el ICT (Instituto de Cultivo Tropicales) realiza desde hace varios años tendiente a desarrollar genotipos superiores de cacao (*Theobroma cacao* L.). Es por eso que este estudio tiene el propósito de encontrar genotipos y accesiones de Cacao tolerantes o moderadamente tolerantes al estrés hídrico con resistencia a plagas y enfermedades y alta producción y calidad industrial. Se investigaron veinte genotipos de plántulas de cacao, durante el periodo de 6 meses, en un suelo con textura franco-arenoso en condiciones de vivero, de riego controlado. Se empleó un diseño de parcelas divididas, con 40 tratamientos y 3 repeticiones. Además se tomaron datos diarios de las características micro climáticas (T° , HR), en las cuales se evaluaron diferentes indicadores de variable como la conductancia estomatal (CE) que se ve muy influenciada por el T° Y HR. Los resultados obtenidos indican que los genotipos que presentaron moderada tolerancia al estrés hídrico fueron UNG – 77, UNG – 53, ICT – 1281 y ICT- 1112; las no tolerantes fueron PAS – 93, CEPEC – 2002, ICT – 2142, ICT – 1092, CP - 2005 - C10, TSH – 1188, CCN – 51, IMC – 67, PH – 17, AYP – 15, ICS – 6, BN – 34, ICT-1506, PAS – 91, PH – 990 y ICS-1. En condiciones óptimas el genotipo que más sobresalió fue el ICS-1 tanto en Altura de planta, número de hojas, y conductancia estomatal, siendo esto prueba de que este genotipo se desarrolla de excelente manera y sobresale si tiene las condiciones adecuadas y disponibilidad de agua.

Palabras clave: Estrés hídrico, cacao, sequía, genotipo.

Abstract

This research is part of an effort that the ICT (Institute of Tropical Cultivation) has been doing for several years tending to develop superior genotypes of cocoa (*Theobroma cacao* L.). That is why this study aims to find tolerant or moderately tolerant cocoa genotypes and accessions to water stress with resistance to pests and diseases and high production and industrial quality. Twenty genotypes of cocoa seedlings were investigated, during the period of 6 months, in a soil with sandy-loam texture under nursery conditions, of controlled irrigation. A split plot design was used, with 40 treatments and 3 repetitions. In addition, daily data of the micro climatic characteristics (T° , HR) were taken, in which different indicators of variable were evaluated such as the stomatal conductance (CE) that is greatly influenced by the T° and HR. The results obtained indicate that the genotypes that showed moderate tolerance to water stress were UNG - 77, UNG - 53, ICT - 1281 and ICT - 1112; the non-tolerant ones were PAS - 93, CEPEC - 2002, ICT - 2142, ICT - 1092, CP - 2005 - C10, TSH - 1188, CCN - 51, IMC - 67, PH - 17, AYP - 15, ICS - 6, BN - 34, ICT - 1506, PAS - 91, PH - 990 and ICS - 1. Under optimal conditions, the most outstanding genotype was ICS-1, both in plant height, number of leaves, and stomatal conductance, this being proof that this genotype develops excellently and stands out if it has the right conditions and water availability.

Keywords: Water stress, cocoa, drought, genotype.



INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao L.*) es una especie originaria de los bosques tropicales húmedos de América del Sur. Su hábitat y nicho ecológico se centra en la Amazonía y en donde se concentra la mayor variabilidad genética, su dispersión ha sido originada por la influencia del hombre y animales, por diversos lugares generando cruzamientos o híbridos espontáneos; así como posibles mutaciones que han creado numerosos fenotipos de cacao que hoy se cultivan (CNCH S.A. 1988).

El clima a nivel mundial, está teniendo muchas variaciones debido al cambio climático, constantemente se presentan periodos prolongados de sequía o en todo caso hay mucha frecuencia de lluvias, trayendo como consecuencia que el hábitat y nicho ecológico de los cultivos varié, modificando la fenología.

La región San Martín, también está involucrado en estos acontecimientos del cambio climático, su efecto del estrés hídrico en el cultivo de cacao, se ve reflejado en la modificación de su fenología; ya que se encontró con esta problemática que en la región no contamos con variedades genéticas que sean tolerantes a los periodos de sequía que se presentan así mismo los productores que no cuentan con riego con lo cual no puedan hacer alto a la falta de agua. La importancia del trabajo de investigación radica en que las plantaciones de cacao están teniendo nuevas adaptabilidades que afecta a la fisiología del cacao y se ve reflejado en la producción, y no se cuenta con genotipos con tolerancia al estrés hídrico con el cual hacer frente a los periodos de sequía.

Ante esta problemática se planteó como objetivo general, evaluar la identificación y selección de 20 genotipos de cacao, tolerantes, moderadamente tolerantes al estrés hídrico en condiciones de vivero, y como objetivos específicos identificar y seleccionar los genotipos de cacao tolerantes, moderadamente tolerantes y no tolerantes al estrés hídrico además de evaluar el desarrollo vegetativo. Las partes más sensibles de las plantas para determinar el estrés hídrico se fundamental en la inhibición de la expansión foliar, aumento de la profundización de las raíces, abscisión foliar y cierres estomático (Taiz y Zeiger, 2009; Lambers, 2008 y Salisbury y Ross, 2000) y en función a estas variables se

determinó la tolerancia, moderada tolerancia y no tolerancia. La hipótesis planteada fue determinar si uno o más genotipos de cacao, muestran tolerancia o moderada tolerancia al estrés hídrico en condiciones de vivero.

Las limitaciones que se encontraron en la investigación fueron que no llegó hasta el proceso de la producción y no se logró apreciar la respuesta de los genotipos al ponerlos en campo definitivo, ya que en estas condiciones se vería con mayor precisión el efecto de muchos indicadores de variables y los diferentes cambios que puede sufrir la planta, que pueden hacer que los datos varíen, además de obtener respuestas más acordes con la realidad de los agricultores cacaoteros.

El trabajo de investigación se desarrolló en las instalaciones de la Estación Experimental “Juan Bernito”, del Instituto de Cultivos Tropicales, Banda de Shilcayo, Provincia y Región de San Martín. El trabajo está compuesto por los siguientes capítulos: Capítulo 1: Revisión Bibliográfica, Capítulo 2: Materiales y Métodos, Capítulo 3: Resultado y Discusión, Conclusiones, Recomendaciones, Referencias Bibliográficas y Anexo.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Antecedente de investigaciones realizadas

Gamboa, (2010), evaluó el “Efecto de las condiciones hídricas del suelo sobre el intercambio gaseoso y el crecimiento en plantas de *Theobroma cacao*”, determinando que la disminución gradual de los contenidos de agua en el suelo, afecta gradualmente la tasa de fotosíntesis foliar, debido a la disminución de la apertura estomática, la cual limita el intercambio gaseoso, disminuyendo así sus pérdidas por transpiración. Las plantas de cacao que son sometidas a estrés hídrico, modificaron su comportamiento con respecto al intercambio gaseoso, presentándose mayores conductancias estomáticas (2 a $2.5 \text{ mol/m}^2\text{s}^{-1}$) y mayores tasas de fotosíntesis foliar (2 a $3 \text{ } \mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$) en las primeras horas de la mañana en comparación con las plantas a capacidad de campo ($1,5 \text{ } \mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$) en fotosíntesis y $1.7 \text{ mol m}_2\text{s}^{-1}$ en conductancia estomática.

Rada; Jaimez; Garcia; Nuñez; Azocar y Ramírez, (2005), evaluaron las “Relaciones hídricas e intercambio de gases en *Theobroma cacao* var. Guasare bajo períodos de déficit hídrico”, obteniendo efectos en la reducción de la apertura estomática, el cual fue relacionado por el gran déficit de agua. El cierre estomático redujo a un grado bastante significativo la pérdida de agua a través de la transpiración, el estrés severo de déficit de agua produce un cierre estomático, el cual seguramente afecta otros procesos fisiológicos como por ejemplo a la fotosíntesis. Rada, F.*et al* (2005) reporta que debido a que el estrés de agua incrementó, se observó un aumento significativo en las conductancias de la hoja. Esta reducción en la apertura de estomas de los tratamientos condujo a una menor tasa de asimilación y transpiración para las plantas estresadas. La mayor tasa de asimilación fue obtenida de plantas regadas cada tres días, a pesar de los valores menores. Sería interesante destacar que la asimilación de las tasas de CO_2 son significativamente altas si se considera que los valores PAR se encuentran por encima de $800 \text{ } \mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$.

Vespa, (2008), estudió las “Relaciones hídricas e intercambio de gases en *Theobroma cacao* L. (var. Porcelana) sobre tipos diferentes de suelos”, los resultados sostienen, que las plantas de cacao son capaces de tener un control de la conductancia estomatal que le permita alcanzar una máxima eficiencia en el uso del agua mientras que al mismo tiempo tratan de mantener una tasa fotosintética relativamente alta (Cowan 1977 citado por Farquhar y Sharkey 1982). Vespa, (2008), reporta que el contenido de agua en el suelo varía de manera significativa, estacionalmente y entre parcelas observándose un mayor contenido de humedad en la parcela arcillo-limosa que incluso llega a ser el doble en los primeros centímetros de suelo al contenido de agua que posee la parcela franco-arenosa. También para un valor de humedad dado el agua es retenida con mayor tensión en el suelo de la parcela arcillo-limosa que en el suelo de la parcela franco-arenosa.

García y Moreno (2014), evaluaron dos experimentos en Colombia, intitolados, uno sobre las “Respuestas fisiológicas de tres clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en etapa de vivero, a cuatro niveles de agua disponible en el suelo” y el segundo sobre las “Respuestas fisiológicas de tres clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) durante el primer año de establecimiento a diferentes niveles de agua disponible en el suelo”. En ambos experimentos los resultados mostraron una alta incidencia de los contenidos de agua en el suelo en el crecimiento final de las plantas, pero no existieron diferencias entre los materiales evaluados. Se investigaron con los clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) ICS-60, ICS-95 y CCN-51. También reporta que el contenido final de masa seca dependió directamente del contenido de humedad del suelo. La prioridad en la distribución de asimilados durante los 60 días de crecimiento de la planta en primer lugar fue para el área foliar en y en segundo lugar al crecimiento de la raíz. El follaje comprendió entre el 42 y el 45%, la raíz entre el 31 y el 33% y los tallos entre el 21 y 25% del peso seco total.

Nunes, (1967), determinó el “Estudio comparativo de resistencia a la sequía en cacao”, obteniendo como resultados que la variedad Amelonado Vermelho demostró ser el más resistente. Su mayor resistencia a la sequía puede interpretarse en términos de comportamiento estomático y tasa de transpiración que se ven

reflejados en el área del crecimiento del área foliar y longitud de las hojas de cacao, son factores estrechamente relacionadas al factor de estrés hídrico.

Azcón; Bieto y Talon, (2008), evaluó el “Fundamento de fisiología Vegetal”, determinando, que la disminución del crecimiento de la parte aérea es causada a su vez por el cierre de estomas, el cual es regulado por ácido abscísico (ABA); al cerrarse los estomas y disminuir la pérdida de agua por transpiración, también se reduce la entrada de CO₂ lo que disminuye de manera directa la fotosíntesis. También reporta que la función del ABA en la protección de las plantas frente a este estrés es doble: reduce la transpiración e induce la síntesis de proteínas que favorecen la resistencia a la desecación. Se ha demostrado que la aplicación de ABA a hojas de distintas especies provoca el cierre de los estomas, y que éstos permanecen cerrados, tanto con luz como en la oscuridad, durante varios días, dependiendo, probablemente, del tiempo necesario para metabolizar el ABA.

Covarrubias, (2007), estudio “Sobrevivir al estrés: cómo responden las plantas a la falta de agua”, determinando que la disminución del crecimiento (altura de la planta) se debe a una pérdida de turgencia (proceso físico). A medida que va disminuyendo el contenido hídrico de la planta lo hace también el de las propias células, de modo que disminuye el volumen celular y la turgencia de la célula. Todos estos cambios se inducen como parte de una respuesta adaptativa, de tal forma que aquellas especies que se han desarrollado en ambientes limitantes en agua inducen estas respuestas rápidamente. Reporta que las plantas en respuesta al estrés afectan su morfología, fisiología y metabolismo, así las hojas cambian su ángulo de inclinación, se enrollan o se recambian, y se incrementa la relación del peso entre la raíz y la parte aérea (la raíz mantiene su velocidad de crecimiento, en tanto que la parte aérea la disminuye). Entre los cambios fisiológicos y metabólicos que ocurren se encuentran la disminución en la síntesis de proteínas y, por tanto, en la velocidad de crecimiento.

Nilsen, y Orcutt, (1996), estudio en “Fisiología de plantas bajo estrés: Factores abióticos” Las plantas respondieron al estrés hídrico desarrollando evolutivamente adaptaciones tanto a nivel morfológico como anatómico y celular,

que les permiten vivir en condiciones de constante estrés hídrico. Las plantas también poseen mecanismos de aclimatación que se activan en respuesta a estrés hídrico, cuando el déficit hídrico se desarrolla lentamente, se dan cambios en procesos de desarrollo que tienen varios efectos sobre el crecimiento. Uno de principal importancia es la limitación específica de la expansión foliar.

Potters, Pasternak, Guisez, Palme y Jansen (2007), determinó la “Respuestas morfogénicas inducidas por estrés: ¿salir de un problema?” que la disponibilidad de agua afecta la relación entre el crecimiento de la parte aérea y la raíz; la raíz continúa su desarrollo mientras que la parte aérea deja de crecer por causa del estrés. Así, las plantas son capaces de continuar el desarrollo de sus raíces en búsqueda de agua en zonas más profundas del suelo.

1.2 Marco Teórico

Estrés hídrico

Se entiende como estrés, cualquier factor ambiental que ejerza un efecto sobre la planta que la haga cambiar de su normal funcionamiento (fisiología), debido que esta genera una respuesta adversa a los procesos filológicos de la planta, se le denomina tensión, (Ball *et al.*, 1987) y esta se puede clasificar de 2 forma: Tensión elástica: cuando la planta genera una respuesta de acuerdo a la intensidad y el tiempo del estrés, cuando este termina, la planta vuelve a su estado fenológico anterior al inicio de la respuesta. Tensión plástica: es cuando la planta genera la respuesta al estrés, al finalizar, ha generado una serie de modificaciones que no se revierten, la planta no puede volver a su estado normal antes de generarse la respuesta (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

Índice de tolerancia a la sequía.

El Índice de tolerancia a la sequía se obtuvo con la siguiente ecuación ($DTI = [(Biomasa\ seca\ de\ la\ planta\ SEQ / Biomasa\ seca\ de\ la\ panta\ de\ testigo) \times 100]$ se determinó para clasificar los genotipos como no tolerante, moderadamente tolerante y tolerante a la sequía. (Di Rienzo *et al.*, 2012).

Tabla de clasificación de DTI

No tolerante	: ≤ 70
Moderadamente tolerante	: $\geq 71 - \leq 90$
Tolerante	: > 91

Transpiración

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. (Larcher, 2003). El agua, junto con algunos nutrientes, es absorbida por las raíces y transportada a través de la planta. La vaporización ocurre dentro de la hoja, en los espacios intercelulares, y el intercambio del vapor con la atmósfera es controlado por la abertura estomática. Casi toda el agua adsorbida del suelo se pierde por transpiración y solamente una pequeña fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales (Chang y Lin, 2007).

La transpiración, igual que la evaporación directa, depende del aporte de energía, la gradiente de presión de vapor y de la velocidad del viento, por lo tanto, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y el viento también deben ser considerados en su determinación. El contenido de agua del suelo y la capacidad del suelo de conducir el agua a las raíces también determinan la tasa de transpiración, así como la salinidad del suelo y del agua de riego. La tasa de transpiración también es influenciada por las características del cultivo, el medio donde se produce y las prácticas de cultivo. (Levitt, 1980).

Factores del cultivo

El tipo de cultivo, la variedad y la etapa de desarrollo deben ser considerados cuando se evalúa la evapotranspiración de cultivos que se desarrollan en áreas grandes y bien manejadas (Mishra y Singh, 2010). Las diferencias en resistencia a la transpiración, la altura del cultivo, la rugosidad del cultivo, el reflejo, la cobertura del suelo y las características radiculares del cultivo dan lugar a

diferentes niveles de ET en diversos cultivos, aunque se encuentren bajo condiciones ambientales idénticas. La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar se refiere a la demanda evaporativa de la atmósfera sobre cultivos que crecen en áreas grandes bajo condiciones

Intercambio gaseoso y conductancia estomática.

Las plantas para llevar a cabo distintas funciones, requieren altas cantidades de agua, 50 Ton/ Ha para plantas C3 y 80 Ton/ Ha para plantas C4 en condiciones tropicales en promedio. Una planta puede llegar a necesitar 500 litros de agua procedente del suelo para poder producir 1 Kg de materia seca, lo cual da una idea de la facilidad con que la pérdida de agua excesiva por transpiración origina déficit hídrico con consecuencias negativas para el desarrollo, por lo que resulta de enorme importancia para la planta la regulación del proceso transpiratorio (Taiz y Zeiger, 2006).

Sin embargo, las plantas se encuentran con el compromiso de obtener CO_2 para mantener la fotosíntesis, a través de los estomas se lleva a cabo el intercambio más importante de H_2O y CO_2 , jugando la apertura estomática un papel crucial no sólo en la transpiración sino también en la fotosíntesis foliar. Según (Calvet *et al.* 2004) los estomas son los encargados de proveer la comida y de evitar la sed, por tanto el equilibrio entre la pérdida de agua y la obtención de CO_2 es de vital importancia para las plantas.

Disponibilidad de agua.

Cuando la disponibilidad del agua se reduce, se afecta el intercambio de CO_2 y O_2 , ocasionando que la fotosíntesis disminuya drásticamente, dado por la necesidad del agua para mantener un elevado potencial hídrico del protoplasma. La pérdida de agua inhibe directamente los procesos fotosintéticos, tanto en las reacciones primarias de transporte de electrones y los eventos bioquímicos como la actividad

enzimática en las reacciones secundarias. El principal efecto de la reducción de agua, es la disminución del potencial hídrico de las células oclusivas de los estomas, lo que ocasiona un cierre de estos e interrumpe el flujo de CO_2 al interior de las hojas. Cuando en una planta se empieza a dar una reducción de agua en los tejidos, esta disminuye su tasa fotosintética en 2 puntos críticos: el primero representa una zona de transición, desde la máxima capacidad de actividad fotosintética a una región en la que ya no hay intercambio gaseoso. Este punto crítico se presenta en el nivel de potencial hídrico en el que el estoma empieza a cerrarse, causando una gran resistencia estomática a la difusión de CO_2 por lo que se reduce la tasa de fotosíntesis. El segundo punto crítico se determina por el cierre total de las estomas, así como por el efecto de la deficiencia hídrica en la actividad enzimática de la RuBP carboxilasa. Ya no es posible la fijación de CO_2 debido a que el protoplasma resulto afectado; a pesar que se le aplique riego a las plantas, no recuperaran su nivel original de actividad fotosintética.

Crecimiento y desarrollo

Uno de los procesos fisiológicos más sensibles al déficit de agua es el crecimiento celular, de manera que la limitación hídrica reduce el crecimiento de las raíces, tallo y el área foliar. En plantas del trópico húmedo como *Theobroma cacao*, cuando el déficit hídrico es severo, se acelera la senescencia de hojas maduras (Amorín y Valle, 1993; Hsiao, 1973); además la fotosíntesis y la transpiración disminuyen debido a la reducción de la turgencia, al cierre estomático y al bloqueo a la difusión de CO_2 hacia el mesófilo (Vespa, 2008; Muller *et al.*, 1992; Kumar *et al.*, 1994). El cierre de estomas se ha asociado con una rápida síntesis de ácido abscísico (Baker *et al.*, 1975).

Para cacao los efectos causados por la deficiencia de agua sobre la producción agronómica del cacao están ampliamente comprobados (Zuidema *et al.*; Almeida y Valle, 2007), El principal efecto como se mencionó anteriormente, es la reducción del crecimiento, entre otros provocados por la disminución del potencial hídrico, lo que a su vez influye en la disminución de la presión de turgencia a nivel celular,

afectando las relaciones de intercambio a nivel del plasma, membranas, entre células y dentro de la célula a nivel de los diversos organelos. El desequilibrio osmótico y químico afecta la integridad de las proteínas y macromoléculas (Azcón-Bieto. y Talon 2008, Nilsen y Oscutt, 1996).

La utilización eficiente del agua en la producción vegetal sólo puede lograrse cuando la planificación, el proyecto, y la operación de suministro de este recurso estén orientados a atender en cantidad y tiempo, incluyendo los periodos de escasez de agua, las necesidades de agua de un cultivo necesarias para un crecimiento óptimo y altos rendimientos (Zuidema *et al.* 2006). El agua es fundamental para la producción de cultivos, y en cacao es determinante para la producción (Zuiderma *et al.*, 2006; Azocar *et al.*, 1999; Calheiros de Miranda *et al.*, 1994). Los citados autores insisten en hacer el mejor uso del agua, para lograr una producción eficiente y con altos rendimientos. Esto exige un conocimiento adecuado del efecto del agua de lluvia o riego, sobre el crecimiento del cultivo y su rendimiento final (Rosegrant *et al.*, 2009). Por ello se ha considerado un objetivo primordial, la determinación de los requerimientos hídricos, de las especies vegetales de importancia económica para aumentar su productividad y reduciendo al máximo las pérdidas en un recurso potencialmente escaso como lo es el agua. Algunos trabajos que se han realizado sobre esta especie muestran aspectos del comportamiento del cacao frente a un estrés hídrico (Joly 1987) y (Joly y Hahn 1989) han estudiado cacao tipo Trinitario y Amazónico encontrando una clara disminución entre la tasa asimilación y la transpiración, cuando el potencial de las hojas se encuentra a 0.8 Mpa. Khan *et al.*, (1987), reportó que los arboles de cacao que eran sometidos a un 75% y 100% de pérdida de humedad por evapotranspiración, presentaba un rendimiento del 28% por debajo a los árboles que se sometieron a pérdidas de humedad de 0 y 50%. Rada *et al.*, (2005), encontraron diferencia entre los materiales de cacao criollo que eran sometidos a suplemento de agua con riego con respecto al testigo.

Pérdida de agua en las plantas

La mayoría de las plantas terrestres precisan sistemas eficientes para absorber y movilizar agua, dado que su nutrición fundamental es gaseosa y poseen un sistema

de intercambio gaseoso muy eficaz. Por tanto, la pérdida del agua mediante la transpiración a través de las hojas, los órganos de intercambio de gases, debe compensarse continuamente por medio de su absorción y transporte desde el suelo (Larcher, 2004). Esta desventaja de un mal sistema hídrico de la planta puede entenderse como el resultado de un mal necesario; sin embargo, hay algunos aspectos benéficos del flujo continuo del agua a través de ella. El agotamiento del agua edáfica que rodea las raíces determina el acceso de solución fresca de las áreas circundantes del suelo y esto, sin duda, ayuda a la planta a extraer nutrimentos de volúmenes muchos mayores del suelo. La simple difusión redistribuye, eventualmente, los nutrimentos hacia las áreas agotadas por la absorción radical, pero el arrastre de solventes de flujo en masa de la solución del suelo hacia las raíces acelera considerablemente el proceso (Reigosa *et al.*, 2003).

El agua se mueve por la planta desde el suelo penetrando principalmente por raíces y saliendo por las hojas en respuesta a un gradiente de potencial el cual debe disminuir continuamente desde el suelo hacia la atmósfera. Parte de este movimiento se realiza mediante difusión, usualmente por osmosis, y la mayor parte mediante flujo en masa (Taiz y Zeiger, 2006).

Mecanismo de Resistencia a la sequía

El término “Resistencia a la sequía” es utilizado para cubrir un amplio rango de mecanismos por los cuales las plantas enfrentan y sobreviven a periodos secos o de condiciones de humedad (Jones, Turner y Osmond, 1981). Existen plantas que previenen la sequía desarrollando un sistema radicular profundo que llegue hasta el manto freático (Ehleringer, Bjorkman y Mooney, 1976). Existen plantas que previenen la sequía gracias a que presentan estomas hundidos que retrasan la transpiración, otras que presentan hojas pequeñas (cuya capa límite es delgada) que evita que la temperatura de las hojas se asemeje a la del aire y finalmente otras plantas que pierden sus hojas y entran en un estado de dormancia cuando se acerca la época de sequía (Levitt, 1980). Los principales mecanismos de resistencia a la sequía son: el escape a la sequía; la tolerancia a la sequía con altos potenciales de

agua y la tolerancia a la sequía con bajos potenciales de agua (Kramer, 1989; Turner, 1986; Levitt, 1980; Jones *et al*, 1981).

Efectos fisiológicos del estrés hídrico

El estrés hídrico puede causar diversos efectos en la planta, así como la pérdida de agua en los tejidos que puede inducir una reducción en la presión hidrostática al interior de las células originando un incremento en la concentración de macromoléculas y solutos de menor peso molecular, además, una reducción en la actividad del potencial químico del agua presente en la planta. Todos estos efectos pueden influenciar en los procesos metabólicos (Carruthers y Clark, 1981).

El proceso más sensible al estrés hídrico es el crecimiento celular. Cuando la presión de turgencia en una célula vegetal decae, la expansión celular es deprimida produciéndose por lo tanto una abierta correlación entre la disminución del tamaño celular y el grado de estrés de agua en los tejidos vegetales. Además, el crecimiento celular, la división celular, la síntesis de proteína y paredes celulares son los más afectados en tejidos de rápido crecimiento. El estrés hídrico inhibe la incorporación de aminoácidos a las proteínas y causa una disminución del contenido proteico de los tejidos. Asimismo, el crecimiento de la pared celular está muy asociado con el metabolismo de la pared celular (Kramer, 1989).

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Tipo de método de investigación

El proyecto de investigación es de nivel aplicada, perteneciendo a un tipo descriptiva -comparativa ya que se pretende describir y comparar el efecto del estrés hídrico sobre veinte genotipos diferentes de cacao (*Theobroma cacao* L.) en condición de vivero, es decir evaluar el comportamiento de los diferentes genotipos de plántulas de cacao frente al estrés hídrico y ver las respuestas de los genotipos, para clasificarlos en tolerantes, moderadamente tolerantes y no tolerantes.

2.2 Diseño de investigación

Análisis de Varianza

Se empleó un diseño de parcelas divididas, con 40 tratamientos y 3 repeticiones. Existiendo dos factores: factor "A" son los 2 niveles de riego (Sequía y testigo) y, el factor "B" son los 20 genotipos de cacao. Los datos fueron procesados con el paquete estadístico INFOSTAT. Para el análisis de medias se utilizó la prueba de Scott & Knott ($p \leq 0,05$).

2.3 Unidad de análisis, universo y muestra

Unidad de análisis: 3 Plantas por Bloque por Tratamiento.

Muestra: 60 plantas de cacao a evaluar por tratamiento durante la duración del proyecto.

Universo: vivero con 120 plantas de cacao.

Tabla 1

Tratamiento

GENOTIPOS ACCESIONES	NIVELES	TRATAMIENTOS
G1: ICT-1092	N1	G1N1
	N2	G1N2
G2: ICT-1112	N1	G2N1
	N2	G2N2
G3: ICT-1281	N1	G3N1
	N2	G3N2
G4: ICT-1506	N1	G4N1
	N2	G4N2
G5: ICT-2142	N1	G5N1
	N2	G5N2
G6: IMC – 67	N1	G6N1
	N2	G6N2
G7: TSH – 1188	N1	G7N1
	N2	G7N2
G8: CCN – 51	N1	G8N1
	N2	G8N2
G9: ICS – 6	N1	G9N1
	N2	G9N2
G10: ICS - 1	N1	G10N1
	N2	G10N2
G11: PH – 17	N1	G11N1
	N2	G11N2
G12: CEPEC-2002	N1	G12N1
	N2	G12N2
G13: CP – 2005 – C10	N1	G13N1
	N2	G13N2
G14: PH – 990	N1	G14N1
	N2	G14N2
G15: BN-34	N1	G15N1
	N2	G15N2
G16: UNG-77 *	N1	G16N1*
	N2	G16N2*
G17: AYP – 15 *	N1	G17N1*
	N2	G17N2*
G18: UNG -77 *	N1	G18N1*
	N2	G18N2*
G19: PAS – 93 *	N1	G19N1*
	N2	G19N2*
G20: PAS – 91 *	N1	G20N1*
	N2	G20N2*

G1- G20, Genotipos y * Accesiones N1= Testigo N2= Condición de Sequía

Tabla 2
Temperatura y humedad relativa registrada en el vivero.

Meses	Temperatura Media Mensual (°C)	Humedad Relativa (%)
DICIEMBRE	31.10	56.51
ENERO	28.73	64.48
FEBRERO	30.60	63.98
MARZO	32.23	57.91
ABRIL	30.63	59.74
MAYO	28.59	69.47
TOTAL	181.87	372.10
PROMEDIO	30.31	62.02

2.4 Materiales biológicos

Genotipos y accesiones de cacao.

Para las evaluaciones que se utilizó los genotipos de cacao: de la

Colección ICT: ICT – 1092, ICT – 1112, ICT – 1281, ICT – 1506, ICT – 2142,

Colección Internacional: IMC – 67, TSH – 1188, ICS-1, CCN – 51, ICS – 6.

Colección Brasil: PH – 17, CEPEC – 2002, CP - 2005 - C10, BN – 34, PH – 990.

Colección Silvestre (Accesiones): UNG-53, AYP-15, UNG-77, PAS-93, PAS-91.

Se seleccionó y recolectó ramillas de la E.E El Choclino para su propagación asexual.

Ubicación del experimento

La presente investigación se realizó en el invernadero Trudy del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT), distrito de La Banda del Shilcayo, provincia y región de San Martín, ubicado a 06° 30' 07" de latitud sur, 76° 20' 09" longitud oeste y 360 m.s.n.m.m.

2.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se recogió la información a través de la observación y el registro físico de cada una de los indicadores de variable (altura de planta, número de hojas, área radicular, área foliar, peso seco, peso fresco, conductancia estomatal y el índice de tolerancia a

la sequía), donde se consignó los datos en las fichas de registro de cada indicador de las variables.

2.6 Conducción del experimento

- a) **Preparación del sustrato para la propagación de ramillas:** El sustrato que se usó para llenar las bolsas será una mezcla, en proporción 1:1 de tierra, arena y compost ya que el sustrato es determinante para lograr un buen desarrollo de las raíces y de la planta. La bolsa utilizada fueron de polietileno color negro de 10x25 cm, esto facilitó el almacenamiento de agua y nutrientes y permitió que los excesos de líquido salgan con facilidad. Estas bolsas se ubicaron en un lugar que cuente con sombra regulada donde los rayos del sol penetren máximo el 30% una vez ya organizadas las bolsas en el vivero se procedió a realizar un agujero en el sustrato dentro de la bolsa en el cual se procedió a sembrar la ramilla.
- b) **Propagación vegetativa por ramillas:** La recolección de ramillas se realizó entre 6 y 9 de la mañana con el fin de no exponerlas a los rayos del sol evitando su deshidratación. Se cortó con una tijera podadora. Una vez ya obtenida las ramillas seleccionadas se ubicaron en un recipiente con agua. En cada ramilla se dejaron entre tres y cinco hojas y se eliminaron el resto, quitando las más cercanas al corte de la ramilla. Seleccionadas las hojas a dejar, se procedió a cortar cada hoja por la mitad con el fin de evitar una mayor deshidratación. En un recipiente limpio se depositó la hormona en la cantidad que permita impregnar bien en la base de la ramilla.

Una vez se realizó el agujero en la bolsa con sustrato se procedió a sembrar la ramilla, procurando no despegar la hormona del tallo al introducirla en el agujero realizado. Ya sembradas las ramillas y antes de taparlo con el plástico se aplicó un fungicida (*oxicloruro de cobre*, dosis de 1kg en 200 litros de agua) que proteja y prevenga la aparición de hongos como *Phytophthora* sp. y otros hongos y no permitan el pegado de las ramillas.

- c) **Cobertura y destapado de las ramillas:** Después se cubrió con un plástico de color azul de 80 micras y se selló por los cuatro lados con tierra o arena con el fin de que no entre aire ni agua y crear una cámara húmeda. De esta forma se obtiene un efecto invernadero, en donde la humedad relativa se mantiene por encima del 90% y la temperatura oscila entre 25 y 30 grados centígrados. Al destapar las ramillas, éstas presentaron emisión de futuras ramas. Para no causar traumatismos en el desarrollo de las nuevas plantas, después de destaparlas, se las dejó en el mismo lugar por un período de 15 a 25 días, Para luego ser trasladadas al otro vivero donde se realizaron las evaluaciones correspondientes.
- d) **Los invernaderos de plástico para dos niveles de agua:** Se construyó un invernadero de plástico y donde se evaluación de tanto el tratamiento de testigo cómo para la evaluación en condiciones de sequía. Se uso una pantalla de plástico para mantener el nivel de luz 50% de luz solar.
- e) **Preparación de sustrato y trasplante a las masetas principales:** El preparado del sustrato se realizó con tierra negra con un PH de 5,5 y a este se agregó urea 39,2g, superfosfato triple 32,2g y cloruro de potasio 45,6g correspondiente mente y la dolomita se pesó 1.5 kg, todo esto para 600 kg de suelo y ser saturadas con agua para la activación de la dolomita por periodo de tres días. Para hacer crecer las ramillas de cacao en el vivero principal se necesitó macetas de plástico, en cada una de ellas se agregó 5 kg del sustrato ya preparado y se realizó el pesado correspondiente en una balanza analítica para una mayor precisión.
- f) **Preparación y mezclado del sustrato para las ramillas.:** Ya teniendo el NPK y la dolomita se procedió a agregar en los 600 kg de suelo y realizar la mezcla con el suelo, se tuvo que mezclar varias veces para que tanto el N, P, K y la dolomita se mesclaran bien con el suelo y sea uniforme.
- g) **Siembra de los plantones de cacao:** Las ramillas se retiraron de las bolsas en las cuales fueron propagadas para ser colocadas en estas macetas para su desarrollo, las ramillas colocadas tuvieron un aproximado de dos meses ya enraizados y

aclimatados. Estas macetas se colocaron en el vivero de plástico para su crecimiento y evaluaciones. Las plantas se cultivaron durante 6 meses.

- h) Riego:** El riego se realizó pasando un día y se agregó 200 ml de agua por planta para que esta se mantenga a capacidad de campo esto se realizara para todas las plantas durante su periodo de evaluación y dependiendo del tratamiento.
- i) Control de insectos:** Se evaluó de acuerdo a la incidencia de la plaga (*Trips tabaco*, *Diaphania* spp.) y se aplicó el control de mediante la aplicación de *Metomil*. a dosis de 100g en 100 litros de agua.
- j) Aplicación de los tratamientos:** Los 40 tratamientos se instalaron en un vivero de dos secciones, en los tres primeros meses fueron regados por igual a capacidad de campo (200ml) y para los 3 meses restantes, 20 de los tratamientos se dejaron de regar gradualmente disminuyendo de 200 ml a 150ml, 100 ml y después a 50 ml en el riego para simular una condición de sequía y los otros 20 tratamientos restantes se siguieron regando con normalidad (200 ml pasando un día).En los métodos experimentales se determinarán para clasificar los genotipos como no tolerantes, moderadamente tolerantes y tolerante a la sequía.

2.7 Variables

a) Variables dependientes

Niveles de riegos sequía y testigo

b) Variables independientes

Genotipos de cacao

2.8 Indicadores evaluados

- a) Altura de planta.** La medición de la altura se realizó con la ayuda de una regla milimetrada y se midió en cm y se evaluó cada 15 días por el periodo que duro el experimento, se midió desde la base hasta el ápice del tallo.

- b) Número de hojas.** Se evaluó el número total de hojas de cada planta de todos los tratamientos en estudio. Las hojas demasiadas maduras que estén a punto de caer no se tomaron en cuenta.
- c) Área foliar.** Se tomaron fotos de todas las hojas de la planta ya sacrificadas con ayuda de un fondo blanco y se determinó el área foliar de las hojas con la ayuda del programa APS Assess 2.0 en la computadora.
- d) Área radicular.** Para determinar el área de la raíz se sacrificaron las plantas, luego se colocaron en un fondo en blanco y se tomaron fotografía la parte de la raíz, esto para determinar el área radicular con la ayuda del programa APS Assess 2.0 en la computadora.
- e) Apertura de los estomas (Conductancia estomatal).** La apertura de los estomas se evaluó con la ayuda del equipo Leaf Porometer (Porometro) se evaluó los 20 genotipos en estudio y las 3 repeticiones de estas, tomando 3 hojas por plantas no demasiado joven ni tampoco demasiada madura en las primeras horas de mañana.
- f) Índice de Sequía.** Estos parámetros fueron determinados con las ecuaciones. Índice de tolerancia a la sequía ($DTI = [(Biomasa\ seca\ de\ la\ planta\ SEQ / Biomasa\ seca\ de\ la\ panta\ de\ testigo) \times 100]$) se determinó para clasificar los genotipos como no tolerante, moderadamente tolerante y tolerante a la sequía. (Di Rienzo *et al.*, 2012). se determinaron para clasificar los genotipos como la no tolerante, tolerante y moderadamente tolerante a la sequía. (Baligar and Fageria, 1997).
- g) Peso fresco y peso seco de la biomasa.** Con la ayuda de una balanza analítica marca Sartorius. se determinó el peso fresco (Pf) el mismo día que las plantas serán sacrificadas, posteriormente las muestras se pondrán en una estufa por un tiempo de 5 días a 50 °C para determinar el peso seco (Ps), con los datos obtenidos se obtuvo el índice de tolerancia a la sequía.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados

3.1.1 Tratamiento estadístico e interpretación de datos

a. Efecto del estrés hídrico en la planta de cacao en el indicador altura de planta.

La altura de planta de cacao al someter al estrés hídrico, para el caso de los genotipos ($p= 0,0003$) existe diferencias significativas entre los genotipos, y existen diferencias altamente significativas en tratamientos (<0.0001), como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3 Análisis de varianza de la altura de cacao
Análisis de varianza de la altura de cacao

R ²	86		CV	11,82		
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor	Sig
TRAT	3728,56	1	3728,56	79.18	<0.0001	**
GENOTIPO	3326,33	19	175,07	3,72	0,0003	**
TRAT*GENOTIPO	776,07	19	40,85	0,87	0,6207	n.s
Error	1789,43	38	47,09			
Total	12877,98	119				

La altura de plantas (AP) de cacao, con respecto al tratamiento nos indica que existe diferencias significativas entre tratamientos teniendo el mayor valor el testigo con 63,61 cm de altura promedio y el menor valor en el tratamiento de (SEQ) con 52,46 cm de altura promedio, como se indica en la gráfica 1.



Gráfica 1. Indicadores agronómicos estudiados con respecto a la altura de la planta.

b. Efecto del estrés hídrico en la planta de cacao en el indicador número de hojas.

El número de hojas de cacao al someter a estrés hídrico, para el caso de los factores tratamiento ($p = <0,0001$) existe diferencias altamente significativas y para genotipos ($p = <0,0001$) también diferencias altamente significativas; como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4 Análisis de varianza del número de hojas por planta
Análisis de varianza del número de hojas por planta

R ²	91	CV	18,85			
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sig
TRAT	13188,03	1	13188,03	162,81	<0,0001	**
GENOTIPO	7301,8	19	384,31	4,74	<0,0001	**
TRAT*GENOTIPO	5611,63	19	295,35	3,65	0,0003	*
Error	3078,02	38	81			
Total	33229,47	119				

Número de hojas (NH) de cacao, con respecto al tratamiento nos indica que existe diferencia significativa entre tratamientos, teniendo el mayor valor en el tratamiento de testigo con 58,22 hojas por planta y el menor valor lo obtuvo el tratamiento de (SEQ) con 37,25 hojas por planta valor promedio, como indica en la gráfica 2.



Gráfica 2. Indicadores agronómicos estudiadas con respecto al número de hojas

c. Efecto del estrés hídrico en la planta de cacao en el indicador área radicular.

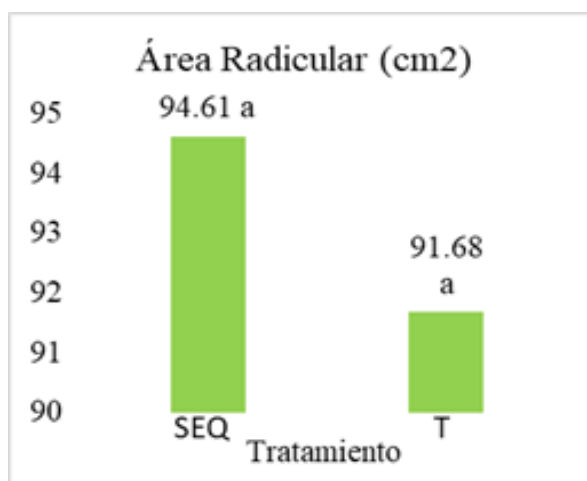
El área radicular (AR) de las plantas de cacao, para el caso del factor tratamiento ($p = 0,4557$) no existe diferencia significativa, para el factor genotipo ($p = 0,0001$) existe diferencias altamente significativas, como se muestra la tabla 5.

Tabla 5

Análisis de varianza del área radicular

R ²	85		CV	22,9		
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sig
TRAT	258.43	1	258.43	0.57	0.4557	n.s
GENOTIPO	35965.08	19	1892.9	4.16	0.0001	**
TRAT*GENOTIPO	27257.74	19	1434.62	3.15	0.0013	*
Error	17292.47	38	455.07			
Total	112703.33	119				

Área radicular (AR) de cacao, con respecto al tratamiento nos indica que no existe diferencia significativa entre tratamientos, teniendo el mayor valor en el tratamiento de testigo con $94,61\text{cm}^2$ promedio por tratamiento y el menor valor lo obtuvo el tratamiento de (SEQ) con $91,68\text{ cm}^2$ valor promedio por tratamiento, como indica en la gráfica 3.



Gráfica 3. Indicadores agronómicos estudiadas respecto al área radicular

d. Efecto del estrés hídrico en la planta de cacao para el indicador área foliar.

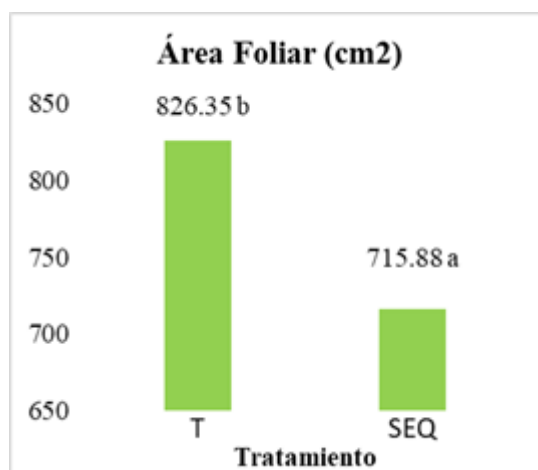
El área foliar de las plantas de cacao, para el caso del factor tratamiento ($p= 0,0001$) existe diferencia altamente significativa, para el factor genotipo ($p= 0,2501$) no existe diferencias significativas; como se indica en la tabla 6.

Tabla 6

Análisis de varianza de área foliar

R ²	79		CV	17,82		
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sig
TRAT	366131,83	1	366131,83	19,38	0,0001	**
GENOTIPO	460624,24	19	24243,38	1,28	0,2501	n.s
TRAT*GENOTIPO	1381480,99	19	72709,53	3,85	0,0002	**
Error	717874,04	38	18891,42			
Total	3496019,5	119				

Área foliar (AF) de cacao, menciona que existe diferencia significativa entre tratamientos, teniendo el mayor valor en el tratamiento de testigo con $826,35 \text{ cm}^2$ promedio por tratamiento y el menor valor lo obtuvo el tratamiento de (SEQ) con $715,88 \text{ cm}^2$ valor promedio por tratamiento, como indica en la gráfica 4.



Gráfica 4. Indicadores agronómicos estudiadas con respecto área foliar

e. Efecto del estrés hídrico en la planta de cacao en el indicador peso fresco.

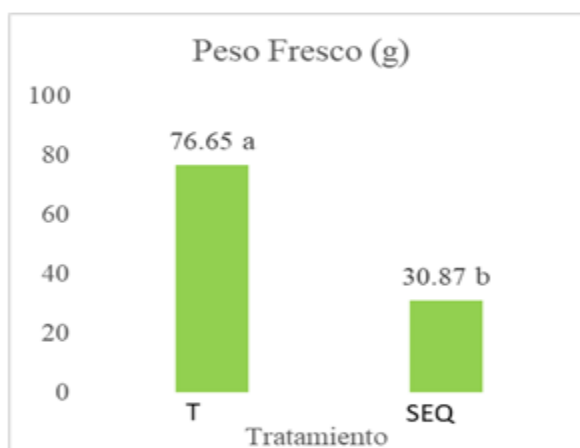
El peso fresco total evaluada de las de la biomasa de la planta de cacao al someter a estrés hídrico, para el caso del factor tratamiento y genotipo ($p = <0,0001$) existe diferencia altamente significativa, como indica en la tabla 7.

Tabla 7

Análisis de varianza del peso fresco total

R ²	98		CV	13,45		
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sig
TRAT	62892,57	1	62892,57	1202,68	<0,0001	**
GENOTIPO	7885,54	19	415,03	7,94	<0,0001	**
TRAT*GENOTIPO	5558,54	19	292,55	5,59	<0,0001	**
Error	1987,16	38	52,29			
Total	81293,05	119				

El peso fresco presento diferencias significativas entre tratamientos obteniendo el mayor peso en el tratamiento de testigo con el valor promedio de 76,65g, con como indica en la gráfica 5.



Gráfica 5. Indicadores agronómicos estudiadas con respecto al peso fresco

f. Efecto del estrés hídrico en la planta de cacao para indicador peso seco

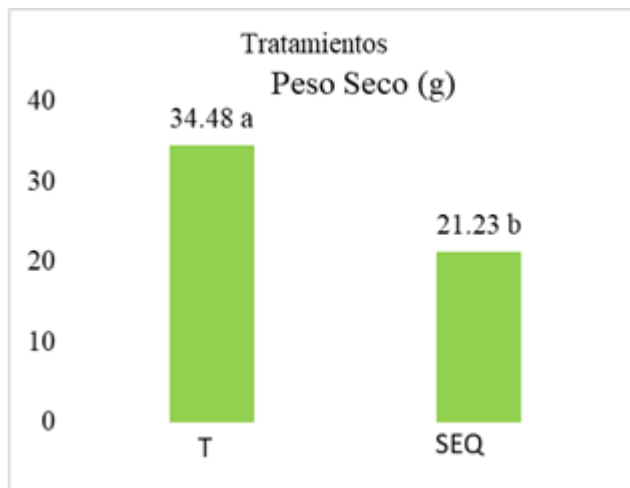
El peso seco total evaluada de las de la biomasa de la planta de cacao al someter a estrés hídrico, para el caso del factor tratamiento y genotipo ($p = <0,0001$) existe diferencia altamente significativa, como indica en la tabla 8.

Tabla 8

Análisis de varianza del peso seco total

R ²	94		CV	14,22		
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sig
TRAT	5266,87	1	5266,87	335,93	<0,0001	**
GENOTIPO	2619,15	19	137,85	8,79	<0,0001	**
TRAT*GENOTIPO	1160,59	19	61,08	3,9	0,0002	**
Error	595,79	38	15,68			
Total	10737,6	119				

Peso seco presentó diferencias significativas entre tratamientos obteniendo el mayor peso en el tratamiento de Testigo con el valor promedio de 34,48g; como indica en la gráfica 6.



Gráfica 6. Indicadores agronómicos con respecto al peso seco

g. Efecto del estrés hídrico en la planta de cacao para indicador conductancia estomatal.

La conductancia estomatal evaluada de las hojas de la planta de cacao al someter a estrés hídrico, para el factor tratamiento ($p = <0,0001$) existe diferencia altamente significativa, para el factor genotipo ($p = 0,1061$) no existe diferencias significativas; como indica en la tabla 9.

Tabla 9

Análisis de varianza de la conductancia estomatal

R ²	94		CV		31,46	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sig
TRAT	581508,02	1	581508,02	530.16	<0,0001	**
GENOTIPO	33409,41	19	1758,39	1,6	0,1061	n.s
TRAT*GENOTIPO	28638,82	19	1507,31	1,37	0,1978	n.s
Error	41680,32	38	1096,85			
Total	749198,38	119				

Conductancia estomatal (CE) de cacao, menciona que existe diferencia significativa entre tratamientos, teniendo el mayor valor en el tratamiento de testigo con 174,9 $mmol/m^2s$ promedio por tratamiento y el menor valor lo obtuvo el

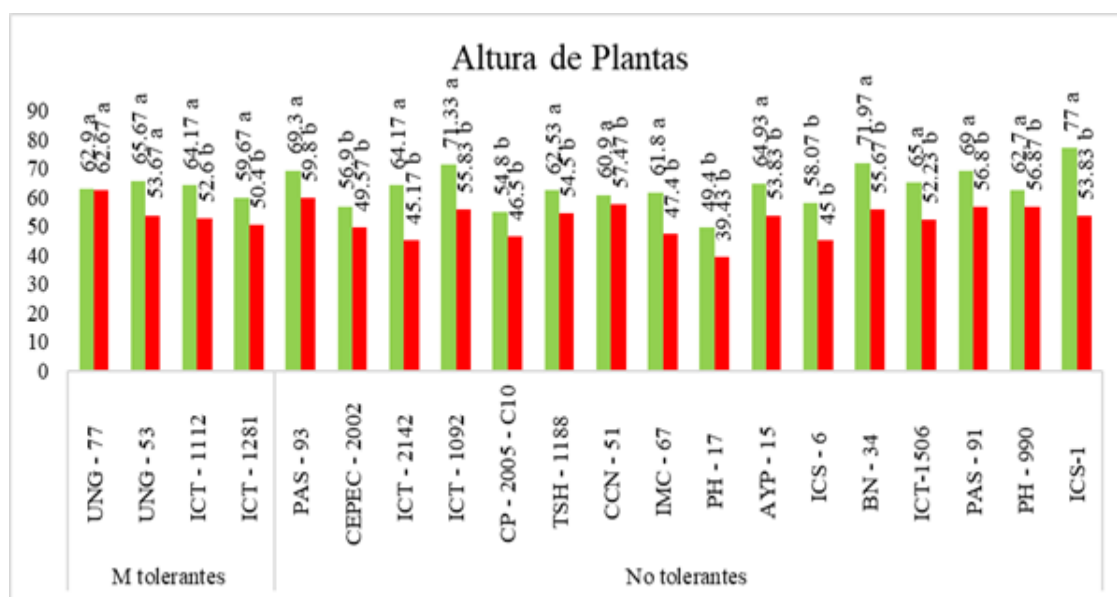
tratamiento de (SEQ) con $35,66 \text{ mmol/m}^2\text{s}$ valor promedio por tratamiento, como indica en la gráfica 7.



Gráfica 7. Indicadores agronómicos estudiadas con respecto a la conductancia estomatal.

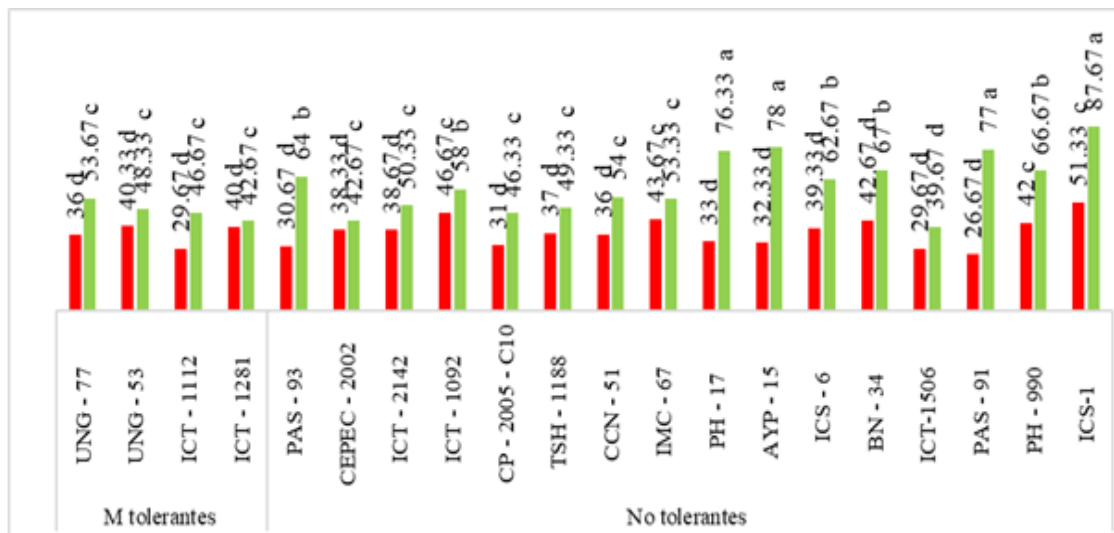
Efecto del estrés hídrico en la interacción de Tratamiento * Genotipos de cacao.

La altura de planta (AP) según la prueba estadística Scott & Knott ($p \leq 0.05$), nos indica que no existe diferencias significativas entre TRATAMIENTO*GENOTIPO, el mayor resultado obtenido en el tratamiento de Testigo con el genotipo ICS-1 con 77cm seguido por el genotipo BN- 34, con 72 cm, en cambio en el tratamiento de Sequia el mayor resultado lo obtuvo la accesión UNG-77 con 62,7cm, como se aprecia en la figura los mayores resultados se obtuvieron en el tratamiento de testigo como indica la gráfica 8.



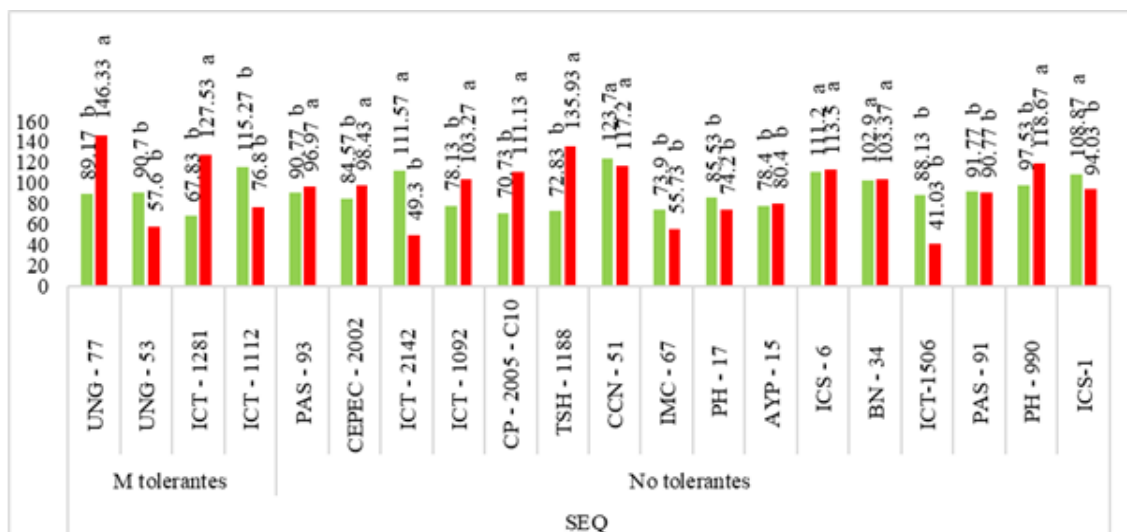
Gráfica.8. Altura de planta de la interacción Tratamiento * Genotipo

El número de hojas (NH) según la prueba estadística Scott & Knott ($p \leq 0.05$), menciona que existe diferencias significativas entre TRATAMIENTO*GENOTIPO (0,0003), en tanto los mayores resultados se obtuvieron en el tratamiento de testigo con el genotipo ICS-1 con 87,7 hojas promedio en cambio en el tratamiento de sequía el ICS-1 también obtuvo el mayor valor con 51,3 promedio de hojas como indica la gráfica 9.



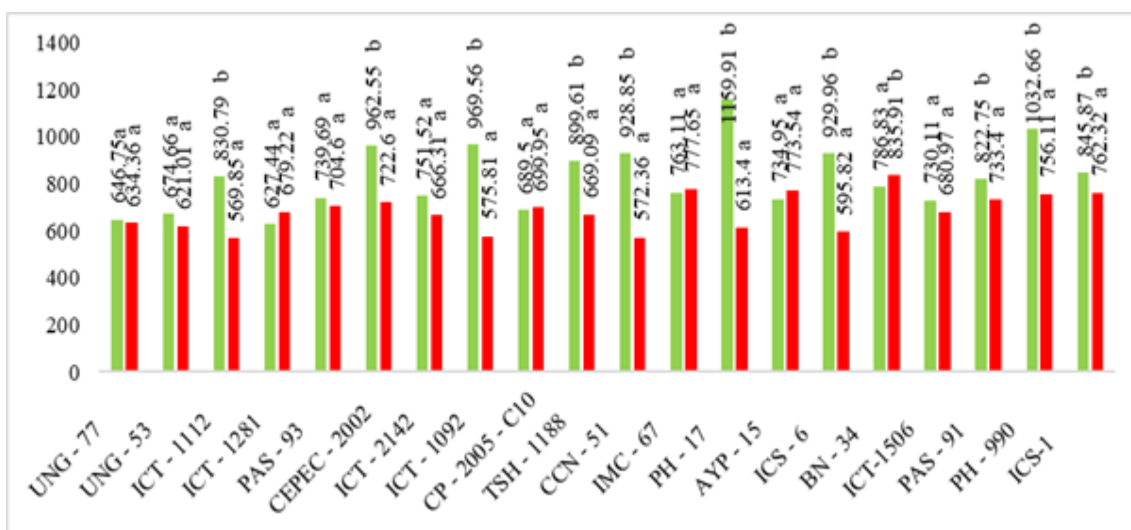
Gráfica.9. Número de hojas de la interacción Tratamiento * Genotipo

El Área radicular (AR) según la prueba estadística Scott & Knott ($p \leq 0.05$), menciona que existe diferencias significativas TRATAMIENTO*GENOTIPO, el mayor resultado se obtuvo (Sequia) la accesión UNG-77 con 146 cm^2 seguido por TSH-1188 con 136 cm^2 como indica la gráfica 10.



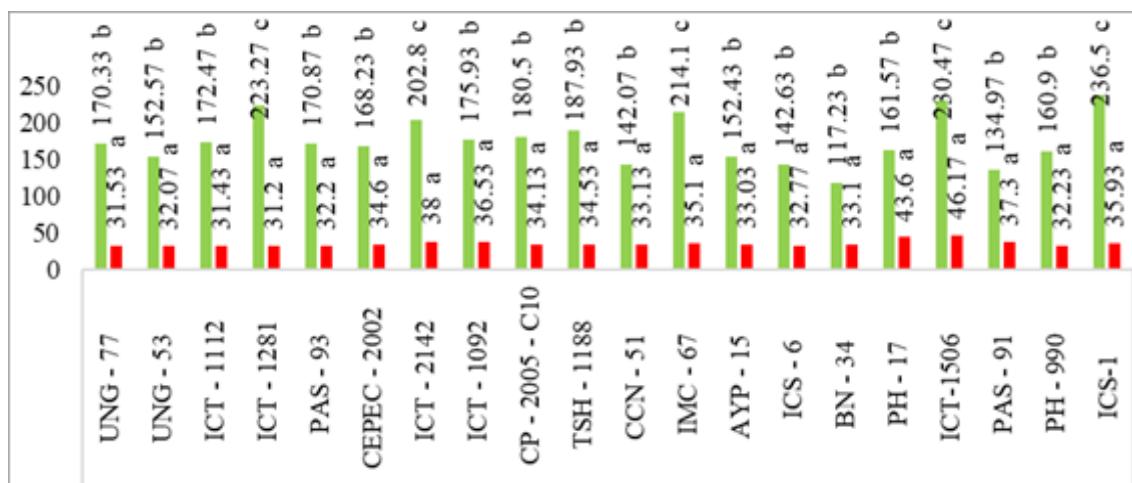
Gráfica.10. Área radicular de la interacción Tratamiento * Genotipo

El área foliar (AF) según la prueba estadística Scott & Knott ($p \leq 0.05$), menciona que existe diferencias significativas entre TRATAMIENTO*GENOTIPO, siendo los mayores resultados los del tratamiento de testigo con el Genotipo PH-17 con 1160 cm^2 seguido por el PH-990 con 1033 cm^2 en cambio los del tratamiento de sequía el mayor valor fue la accesión BN - 34 con $835,91 \text{ cm}^2$ seguido por AYP -15 con $773,54 \text{ cm}^2$ siendo estos los genotipos de mayor resultados obtenidos como indica la gráfica 11.



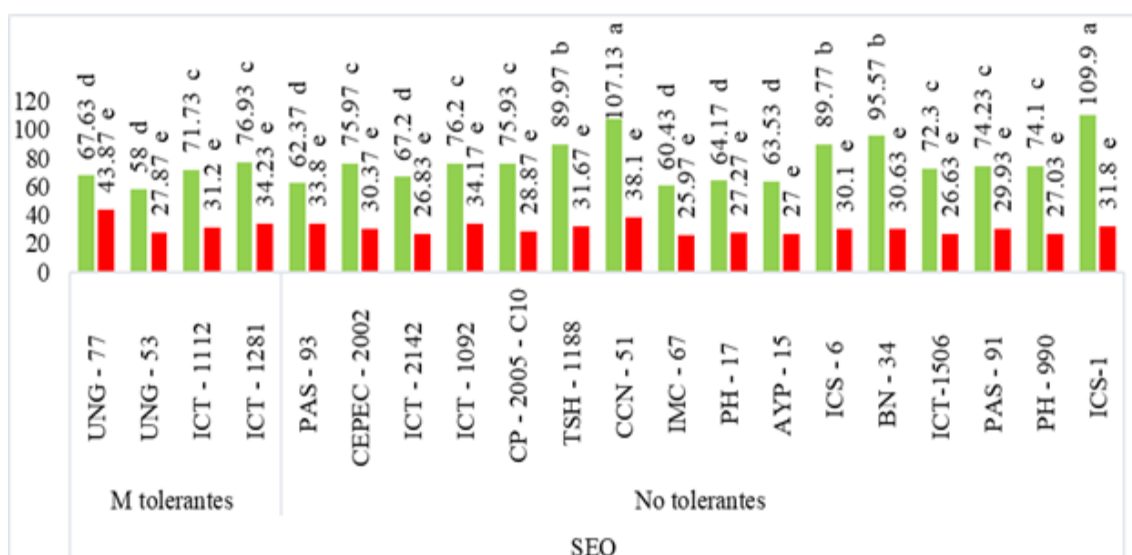
Gráfica.11. Área Foliar de la interacción Tratamiento * Genotipo

La conductancia estomatal (CE) según la prueba estadística Scott & Knott ($p \leq 0.05$), menciona que existe diferencias significativas entre TRATAMIENTO*GENOTIPO, siendo que entre los Genotipos del tratamiento de testigo ICS-1 con $236,5 \text{ mmol/m}^2\text{s}$ y ICT-1506 con $230,47 \text{ mmol/m}^2\text{s}$ en cambio en los genotipos del tratamiento de sequía se obtuvo los resultados más inferiores siendo el ICT-1506 con $46,17 \text{ mmol/m}^2\text{s}$ siendo este el valor más alto de este tratamiento como indica la gráfica 12.



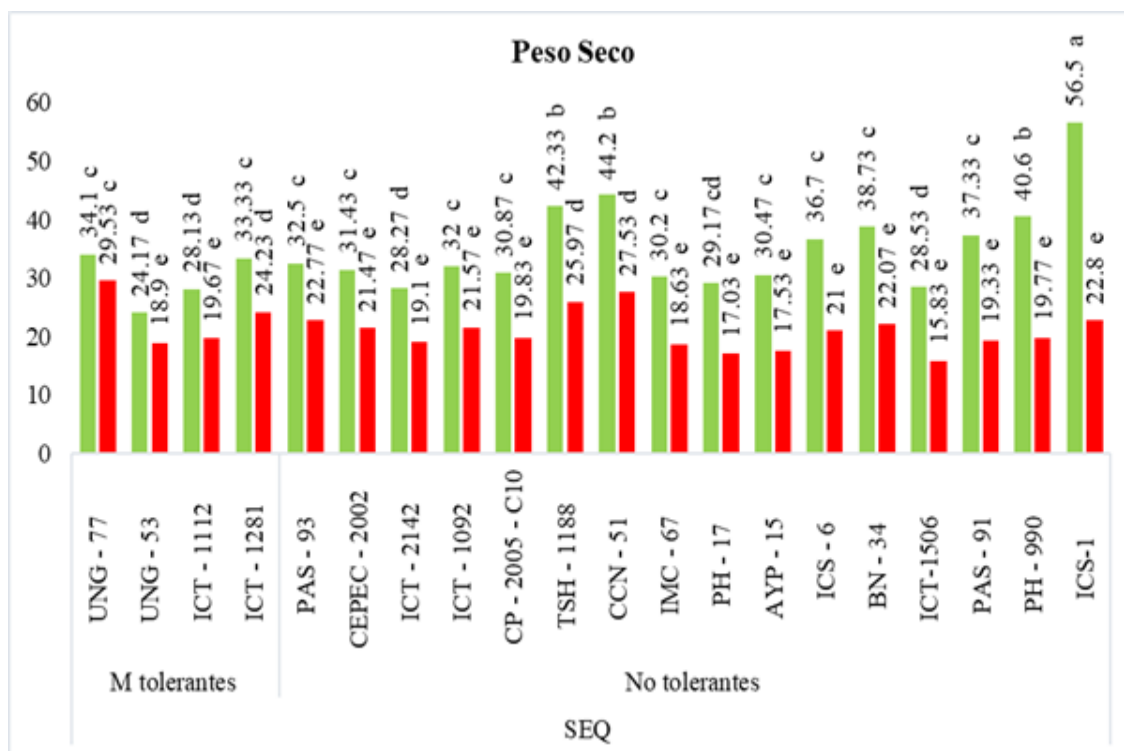
Gráfica.12. Conductancia estomatal de la interacción Tratamiento * Genotipo

A diferencia de las medidas directas de crecimiento en campo, la variación de la masa seca determina ganancia o pérdida de material acumulado producto del metabolismo primario de la planta, ya sea en la formación de un órgano en particular o de la planta completa. Se presentaron diferencias estadísticas. El peso fresco (PF) según la prueba estadística Scott & Knott ($p \leq 0.05$) menciona que existe alta significancia entre TRATAMIENTO*GENOTIPO, siendo los de mayores resultados los de testigo con el genotipo ICS-1 con 110g y el ultimo el UNG-53 con 58g. los de tratamiento de sequía (SEQ) el mayor resultado lo obtuvo la accesión UNG-77 con 43,9g y el último fue el IMC-67 con 26g como indica la gráfica 13.



Gráfica.13. Peso fresco de la interacción Tratamiento * Genotipo

El Peso Seco (PS) según la prueba estadística Scott & Knott ($p \leq 0.05$) menciona que existe alta significancia entre TRATAMIENTO*GENOTIPO, siendo los de mayores resultados los de testigo con el genotipo ICS-1 con 56,5g y el último el UNG-53 con 24,2g. Los de tratamiento de sequía (SEQ) el mayor resultado lo obtuvo la accesión UNG-77 con 29,5g como indica la gráfica 13.



Gráfica 14. Peso seco de la interacción tratamiento* genotipo

Índice de tolerancia a la sequía (DTI) de las plantas de cacao

Índice de tolerancia a la sequía (DTI) de las plantas de cacao, con respecto a los genotipos, no existe diferencias significativas entre genotipos, la accesión UNG - 77 el que obtuvo el mayor valor con 86,61 seguido de la accesión UNG - 53 y genotipo ICT - 1112 con 78,21 y 75,24, por último, el genotipo ICS - 1 que obtuvo el menor con 40,35.

Tabla 10

DTI: Índice de tolerancia a sequía, se muestran los genotipos y accesiones moderadamente tolerantes y no tolerantes a la sequía

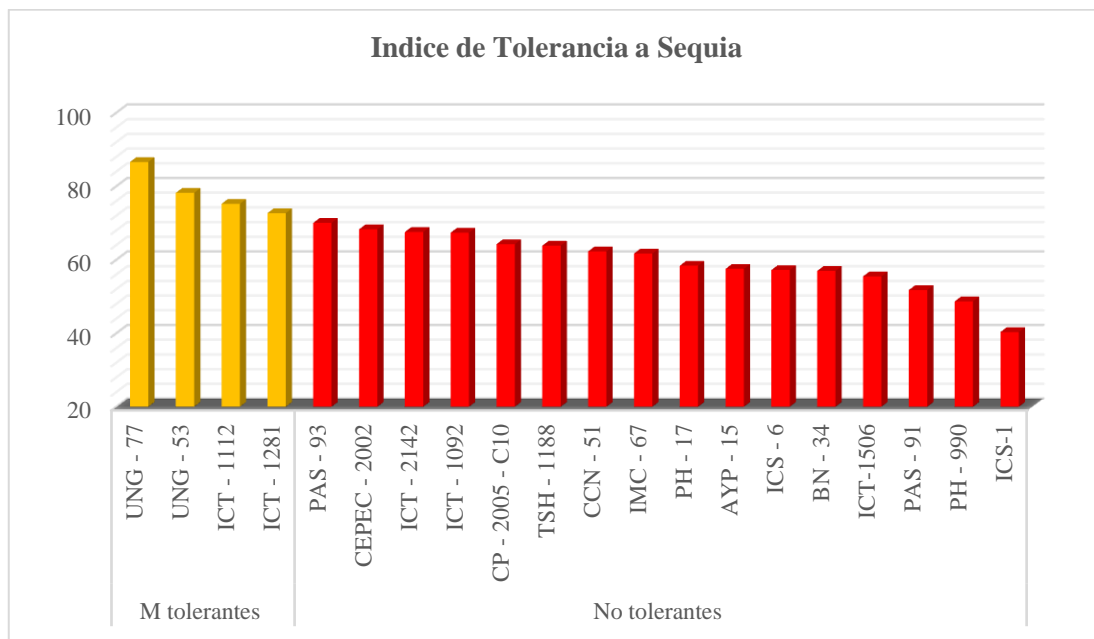
Nivel	Genotipo	DTI
M tolerantes	UNG - 77	86,61
M tolerantes	UNG - 53	78,21
M tolerantes	ICT - 1112	75,24
M tolerantes	ICT - 1281	72,70
No tolerantes	PAS - 93	70,05
No tolerantes	CEPEC - 2002	68,29
No tolerantes	ICT - 2142	67,57
No tolerantes	ICT - 1092	67,40
No tolerantes	CP - 2005 - C10	64,25
No tolerantes	TSH - 1188	63,86
No tolerantes	CCN - 51	62,29
No tolerantes	IMC - 67	61,70
No tolerantes	PH - 17	58,40
No tolerantes	AYP - 15	57,55
No tolerantes	ICS - 6	57,22
No tolerantes	BN - 34	56,97
No tolerantes	ICT-1506	55,49
No tolerantes	PAS - 91	51,79
No tolerantes	PH - 990	48,69
No tolerantes	ICS-1	40,35

Índice de tolerancia a la sequía (DTI) de la planta de cacao, para el caso de la interacción genotipo ($p= 0,0308$) existe diferencia significativa, como indica el Análisis de varianza de la interacción, con respecto al índice de tolerancia a la sequía por genotipo de cacao en estrés hídrico.

Tabla 11

Análisis de varianza con respecto al Índice de tolerancia a la sequía

R ²	53	CV	21,47			
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sig
GENOTIPO	7356,06	19	387,16	2,03	0,0308	*
REPET	928,86	2	464,43	2,44	0,1007	n.s
Error	7232,41	38	190,33			
Total	15517,32	59				



Gráfica 15. Índice de Tolerancia a la Sequía

3.2 Discusión

Altura de planta

La reducción del crecimiento de la parte aérea de las plantas es un efecto ampliamente descrito del estrés por déficit hídrico, estos efectos aparecen mucho antes que los promovidos a través de mecanismos bioquímicos, fisiológicos y genéticos (Wehner *et al*, 2003). La disminución del crecimiento (altura de la planta) se debe a una pérdida de turgencia (proceso físico). A medida que va disminuyendo el contenido hídrico de la planta lo hace también el de las propias células, de modo que disminuye el volumen celular y la turgencia de la célula (Alejandra, 2007), como se logra apreciar claramente en el genotipo ICS-1 con 77 cm del tratamiento testigo en comparación del tratamiento de Sequia (SEQ) donde los genotipos obtuvieron datos muy inferiores como ICS – 1 con 53,8 y BN – 34 con 55,7 cm; el mayor valor en este tratamiento lo tiene la accesión UNG – 77 con 62,67 cm, siendo este el valor mayor del tratamiento.

Entre los cambios fisiológicos y metabólicos que ocurren se encuentran la disminución en la síntesis de proteínas y, por tanto, en la velocidad de crecimiento, el aumento de cera en la cubierta de las hojas, cambios en la transpiración, en la

respiración, en la fotosíntesis, en la distribución de nutrientes, etc. (Herralde, 2000). Todos estos cambios se inducen como parte de una respuesta adaptativa, de tal forma que aquellas especies que se han seleccionado en ambientes limitantes en agua inducen estas respuestas rápidamente (Alejandra, 2007). Es como resultado de eso se obtuvo que la accesión UNG-77 del tratamiento Sequia tienen este mecanismo y así sean moderadamente tolerante al estrés hídrico.

Número de hojas

Las plantas han respondido al estrés hídrico desarrollando evolutivamente adaptaciones tanto a nivel morfológico como anatómico y celular, que les permiten vivir en condiciones de constante estrés hídrico (Nilsen y Orcutt, 1996). La disminución del crecimiento de la parte aérea es causada a su vez por el cierre de estomas, el cual es regulado por ácido abscísico (ABA); al cerrarse los estomas y disminuir la pérdida de agua por transpiración, también se reduce la entrada de CO₂ lo que disminuye de manera directa la fotosíntesis (Azcón-Bieto y Talon, 2008; Benavides, 2002; Roelfsema y Hedrich, 2002; Salisbury y Ross, 2000; Taiz y Zeiger, 2002; Tezara et al., 2002). El crecimiento finalmente se ve disminuido por la disminución de la presión de turgencia, que limita la expansión foliar y la proliferación de nuevos brotes (Skirycz e Inzé, 2010) como se puede apreciar en los resultados de los tratamientos de Testigo el mismo genotipo ICS-1 con 87,67 hoja promedio obtuvo el mayor resultado seguido por la accesión PAS-91 con 77 hojas promedios a diferencia de los genotipos de Sequia (SEQ) que los resultados fueron inferiores con ICS-1 con 51,33 hojas promedio y PAS-91 con 26,67 hojas promedio como se tenía esperado obtener los resultados.

Área radicular

Otro proceso que se modifica es el crecimiento radicular. Se plantea que este es uno de los sitios primarios de percepción del daño (Stepuhn, 2005). Las raíces son un órgano clave para la adaptación a la sequía. En muchas circunstancias la sensibilidad de las raíces al estrés limita la productividad de las plantas (Stepuhn, Raney, Labate, 2005). La planta necesita un sistema radical con una arquitectura (densidad, tamaño, proliferación) que responda a la demanda de agua de los órganos aéreos (Lakshmi, 2009). La disponibilidad de agua afecta la relación entre el crecimiento de la parte

aérea y la raíz; la raíz continúa su desarrollo mientras que la parte aérea deja de crecer por causa del estrés. Así, las plantas son capaces de continuar el desarrollo de sus raíces en búsqueda de agua en zonas más profundas del suelo (Potters, Pasternak, Guisez, 2007). La división celular, aunque resulta afectada por el estrés hídrico, normalmente es menos sensible que la expansión celular. Además de una inhibición del crecimiento, el déficit hídrico modifica el desarrollo y la morfología vegetal como cambios en la relación raíz/parte aérea (Peleg.; Apse, y Blumwald, 2011). Y es precisamente eso lo que se muestra en los resultados teniendo menores resultados en el tratamiento de Testigo con ICT-1281 con un área de $115,27 \text{ cm}^2$ a diferencia de los del tratamiento de Sequia con UNG-77 con $146,33 \text{ cm}^2$ seguido por ICT-1281 con $127,53 \text{ cm}^2$ lo cual nos indicaría que estos genotipos mostrarían tolerancia a la sequía.

Área foliar

Las plantas también poseen mecanismos de aclimatación que se activan en respuesta a estrés hídrico (Nilsen y Orcutt, 1996). Cuando el déficit hídrico se desarrolla lentamente, se dan cambios en procesos de desarrollo que tienen varios efectos sobre el crecimiento. Uno de principal importancia es la limitación específica de la expansión foliar. Como se aprecia que en el tratamiento de capacidad de campo se obtuvo los mayores resultados como PH-17 con $1159,91 \text{ cm}^2$, siendo este el mayor valor obtenido en el experimento, el área foliar es importante, pues de ella depende la fotosíntesis, una rápida expansión foliar puede afectar negativamente la adaptación a la poca disponibilidad de agua. (Potters et al., 2007; Shao et al., 2008). (Shinohara y Leskovar, 2014) consideran al ABA (Ácido abscísico) como un antitranspirante metabólico para proteger las plantas bajo condiciones de estrés hídrico. La fotosíntesis y el consumo de asimilados en hojas, en crecimiento son afectadas por el déficit hídrico al disminuir el potencial hídrico en el floema durante el periodo de estrés, se limita el movimiento de asimilados, pero su efecto se considera posterior a la inhibición de la fotosíntesis (Azcón-Bieto y Talon, 2008; Nilsen y Orcutt, 1996; Taiz y Zeiger, 2002). El estrés hídrico reduce el área foliar, el número de hojas (Fini *et al.*, 2013). Como se muestra en los genotipos de tratamiento Sequia que los resultados fueron inferiores que los de Testigo como el ICT - 1112 con $569,85 \text{ cm}^2$ siendo este el

menor valor obtenido en el experimento lo cual demuestra que el estrés hídrico disminuye la el área foliar.

Peso seco y peso fresco

Al disminuir el contenido de agua en la planta, las células pierden turgencia, en consecuencia, la expansión celular se detiene y con ello disminuye el crecimiento de las hojas. Con menor área foliar (superficie de la hoja) la planta transpira menos, conservando el agua limitante en el suelo para su uso por períodos más prolongados. El descenso en el crecimiento de las plantas produce disminución en la biomasa, no sólo viene determinado por la no expansión de las células, sino que también intervienen otros factores. La biomasa total del vegetal no es sólo materia orgánica, sino también depende de la absorción de elementos nutritivos inorgánicos (sales minerales). La materia inorgánica, en peso, es cuantitativamente poco importante, pero lo es cualitativamente porque un déficit perjudica al vegetal. La materia seca total también depende de las salidas, gracias a la respiración. Además, una parte de la materia seca total sale por abscisión (caen hojas, frutos). La abscisión de las hojas es también promovida por el estrés hídrico. El proceso de abscisión es un mecanismo de adaptación ya que reduce la superficie de absorción para mantener el agua de reserva. En déficit hídrico las sales son transportadas de las hojas al bulbo por eso quedan las hojas secas. En cacao se ha identificado como primer efecto del estrés hídrico, el aumento en la resistencia estomática y la disminución del potencial hídrico foliar al medio día, lo que afecta la floración y renovación de hojas en las plantas (Machado et al., 1979). Esto se ve reflejado en los resultados obtenidos en el trabajo ya que se encontró gran diferencia entre en material peso de materia seco y fresco entre los dos tratamientos, es peso fresco en tratamiento de Testigo el genotipo que obtuvo el mayor resultado fue ICS-1 con 109,9 g seguido por CCN-51 con 107,13 g y en el tratamiento de Seguía el mayor resultado lo obtuvo la accesión UNG-77 con 43,87 g seguido por ICT-1281 con 34,23 g, estos resultados son muy inferiores en comparación a los de tratamiento se Capacidad de Campo y es lo que esperaba.

Es cuento a la materia seca los resultados obtenidos son parecidos teniendo mayores resultados en los genotipos del tratamiento de Testigo con ICS-1 con 56,5 g seguido por CCN-51 con 44,2 g, los genotipos de tratamiento de Sequia fueron datos

menores como la accesión UNG-77 con 29,53 g seguido por el genotipo TSH-1188 con 25,97g, lo cual concuerda con la literatura citada.

Respuesta de la conductancia estomática a los diferentes parámetros.

Entre los factores externos que influyen en la apertura y cierre estomático se encuentran la densidad del flujo de fotones, DPV, temperatura y contenido de agua en suelo (Jones 1998 citado por García 2003; Salisbury y Ross 1994; Lambers 1998). Estudios sobre estrés hídrico en cacao reportan que la conductancia estomática decrece rápidamente una vez que los potenciales hídricos foliares caen más allá de los -1,5 MPa (Hutcheon 1977 citado por Joly 1987; Balasimha 1999) , en los resultados obtenidos podemos apreciar que los genotipos ICS-1, ICT-1506, ICT-1281 que se encuentran en el tratamiento de Testigo la conductancia es alta como lo cita el autor Raja Harun y Hardwick (1986) que en plantas juveniles de cacao variedad Amelonado creciendo bajo condiciones controladas reporta un incremento de la apertura estomática con un incremento de la intensidad de luz que conlleva a un incremento en la tasa fotosintética. Otro mecanismo de resistencia a nivel fisiológico es el cierre de estomas, ya que estos son los responsables de la mayor proporción de pérdida de agua en las plantas (Taiz y Zeiger, 2006).

El proceso de cierre de los estomas, cuando el mesófilo comienza a sufrir deshidratación, está regulado por el ácido abscísico (ABA) (Leung y Giraudat, 1998). El contenido de ABA en la hoja se incrementa debido a la redistribución desde los cloroplastos de las células del mesófilo y a la síntesis y transporte desde las raíces, siendo liberado al apoplasto para llegar a las células guarda a través de la corriente de transpiración (Zhang y Outlaw, 2001). Esto se puede apreciar en los resultados que mostraron en el tratamiento de Sequía obteniendo datos muy bajos en cuanto a la conductancia estomatal disminuyendo aún más a medida que el periodo de la sequía aumentada como se muestra en los genotipos ICT-1506 con $46,17\text{mmol}/\text{m}^2\text{s}$, el PH-17 con $43,6\text{mmol}/\text{m}^2\text{s}$ y ICT – 2142 con $38\text{mmol}/\text{m}^2\text{s}$ siendo estos los genotipos con mayores resultados; los que menores datos nos mostraron fueron ICT – 1281 con $31,2\text{mmol}/\text{m}^2\text{s}$, ICT – 1112 con $31,43\text{mmol}/\text{m}^2\text{s}$, UNG-77 con $31,53\text{mmol}/\text{m}^2\text{s}$ respectivamente.

Índice de tolerancia a la sequía (DTI)

La reducción de la pérdida de agua se consigue a través de cambios en la conductancia epidermal (cierre de los estomas y protección efectiva contra la transpiración cuticular) y a través de cambios en la morfología externa o interna y orientación de las hojas a fin de reducir la absorción de la radiación y cambiar las características de reflexión (Ehleringer *et al*, 1976). El mantenimiento o incremento de la absorción de agua lo consiguen a través de un mayor tamaño del sistema radicular y de una mayor eficiencia en la captación del agua del suelo incrementando la conductancia hidráulica a nivel de raíces (Jones *et al*, 1981). Lo cual se puede apreciar en la Accesoión UNG 77 la cual obtuvo los mayores resultados en área radicular y altura de planta, también se ve reflejado en los resultados obtenidos en el (Índice de Tolerancia a la Sequía) DTI con 86,61 seguido por UNG-53 con 78,21, ICT-1112 con 75,24 y ICT-1281 con 72,7 siendo estos los genotipos moderadamente tolerantes al estrés hídrico.

CONCLUSIONES

Los genotipos que presentaron moderada tolerancia al estrés hídrico fueron UNG – 77, UNG – 53, ICT – 1281 y ICT- 1112; las no tolerantes fueron PAS – 93, CEPEC – 2002, ICT – 2142, ICT – 1092, CP - 2005 - C10, TSH – 1188, CCN – 51, IMC – 67, PH – 17, AYP – 15, ICS – 6, BN – 34, ICT-1506, PAS – 91, PH – 990 y ICS-1.

En condiciones óptimas el genotipo que más sobresalió fue el ICS-1 tanto en Altura de planta, número de hojas, y conductancia estomatal, siendo esto prueba de que este genotipo se desarrolla de excelente manera y sobresale si tiene las condiciones adecuadas y disponibilidad de agua.

RECOMENDACIONES

Se recomienda seguir evaluando los veinte genotipos en otros hábitat y nichos ecológicos para poder apreciar las diferentes respuestas de los genotipos.

Seguir evaluando el mismo trabajo, pero en diferentes fechas además de evaluar otros indicadores de variables que no se tomaron en cuenta en el actual experimento con la finalidad de obtener mejores datos que nos acerquen más a la realidad del cultivo.

Realizar el experimento en campo definitivo donde los genotipos de cacao se enfrenten a los cambios que se ven afectadas las plantaciones de cacao y se pueda apreciar todos los cambios que puede presentar al ser sometida o enfrentarse a climas adversos, además de poder apreciar como esto afecta en lo más importante que es la producción para agricultor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Aldana, G. M. (2009) *La multiplicación por estaca o enraizamiento de ramilla*.
- Ahmed, A. K., Tawfik, K., y Zinab, A. (2008). *Tolerance of Seven Faba Bean Varieties to*
- Alvin y Grangior J, A. (1966). *Estudio sobre análisis de crecimiento de plántulas de cacao de diferente origen genético de Cacao*. (Costa Rica) 11: 2, 1-3.
- Amorin, S. and R. Valle. (1993). *Absorción e resistencia ao movimento da agua no cacaueiro*. Acta Botanica Brasileira 6: 55-64.
- Alejandra, A. (2007). *Tolerance of mannitol-accumulating transgenic wheat to water stress and salinity*. Plant Physiol. 131, 1748-1755.
- Baligar, VC, Fageria, NK (2014). *Nutrientes eficiencia en el uso de las plantas: una visión general*. En: Rakshit, A., Singh, HB, Sen, A., editores. La eficiencia del uso de nutrientes: de Fundamentos de avances. Nueva Delhi, India, Springer Publicaciones. Pp.1-14.
- Balasingh, D.; Daniel E. y Bhat, P. (1991). *Influence of environmental factors on photosynthesis in cocoa trees*. Agricultural and Forest Meteorology 55: 15-21.
- Ball, J. T.; Woodrow, I. E. and Berry, J. A. (1987). *A Model Predicting Stomatal Conductance and its contribution to the control of Photosynthesis under Different Environmental Conditions*, (ed.), Progress in Photosynthesis Research, Vol. IV, Martinus Nijhoff Publishers, The Netherlands.
- Barrera, G. (2006). *Respuestas de la clorofila a y la fotosíntesis al déficit hídrico y diferentes condiciones de luz en dos variedades de cacao (Theobroma cacao L.)*. Trabajo especial de grado. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 66 p.

- Benito, J. (1991). *Tecnificación del cacao en la amazonia peruana*. Fundación para el desarrollo de la amazonia peruana (FUNDEAGRO). Lima, Perú. 156 pág.
- Calvet, J. C., V. Rivalland, C. Picon-Cochard and J-M. Guehl. (2004). *Modelling forest transpiration and CO₂ fluxes-response to soil moisture stress*. Agric. For. Meteorol. 124.
- Chang, J. C and T-S. Lin. (2007). *Gas exchange in litchi under controlled and field conditions*. Scientia Horticulturae 114. 268-274.
- Drought and Salt Stresses. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 4, 175-186.
- Ehleringer, J., and O. Björkman. (1976). *Carbon dioxide and temperature dependence of the quantum yield for CO₂ uptake in C₃ and C₄ plants*. Carnegie Institution of Washington Yearbook 75:418-421.
- Enríquez, G. (2004). *Cacao orgánico. Guía para productores ecuatorianos*. Manual N°54. Instituto Nacional Autónomo de investigaciones Agropecuarias. Quito, EC. 360 p.
- Enríquez, G. (1966). *Selección y estudio de las características de la flor, la hoja y la mazorca, útiles para la identificación y descripción de cultivares de cacao*. Tesis Mag.Sc. Turrialba, CR, IICA. 97 p.
- FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo*. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Cuaderno Técnico 56. Versión actualizada de la publicación N° 24. Roma, 298 p.
- Farquhar, G. D., & Sharkey, T. D. (1982). *Stomatal Conductance and Photosynthesis*. *Annual Review of Plant Physiology*, 33, 317–345. doi:10.1146/annurev.pp.33.060182.001533

- Fini, A., Bellasio, C., Pollastri, S., Tattini, M., y Ferrini, F. (2013). *Water relations, growth, and leaf gas exchange as affected by water stress in Jatropha curcas*. Journal of Arid Environments 89, 21-29.
- Foolad, M. Tolerance to Abiotic Stresses. En: Razdan, M. y Matoo, A. K. Eds. Genetic Improvement of Solanaceous Crops, vol 2 (2007). *Tomato*. Science Publishers, Enfield, USA. pp. 521-590.
- García, C. (2003). *Aspectos ecofisiológicos del establecimiento de dos especies de árboles siempre verdes de las sabanas estacionales*. Tesis doctoral. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias. Postgrado de Ecología Tropical. Mérida, Venezuela.
- García, C. L. (2007). *Guía de campo: Identificación de cultivares de cacao*. USAID/PERU - ACDI/VOCA/UNAS. Lima. 32 p.
- Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I. & Lorito, M. (2004). *Trichoderma species – opportunistic, avirulent plant symbionts*. Nat Rev Microbiol 2, 43–56.
- Herralde, F. (2000). *Estudio integral de las respuestas ecofisiológicas al estrés hídrico: caracterización de variedades de almendro 1*: 24.
- Isla, E. (2009). *Propuesta para el manejo de cacao orgánico. Proyecto “paz y conservación binacional en la cordillera del cóndor, Ecuador – Perú – fase II (componente peruano)”*. Primera edición. Editorial Fundación Conservación Internacional. 7 pág.
- García, L. J. y Moreno F. L.P. (2015). *Respuestas fisiológicas de Theobroma cacao L. en etapa de vivero a la disponibilidad de agua en el suelo*
- Gamboa, M. (2010). *Efecto de las condiciones hídricas del suelo sobre el intercambio gaseoso y el crecimiento en plantas de Theobroma cacao*. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales Facultad de Ingeniería Agronómica.

- Joly R. And Hahn. D (1989). *Net Co2 assimilaïion of cacao seedlings during pedods of plant wáter deficit*. Photoaynh. Res. 21: 151 - 159.
- Jones, R.B. (1998). *Is the change of plant–plant interactions with abiotic stress predictable? A meta-analysis of field results in arid environments*
- Lima, J; Pacheco, R; Rosa, I; Silva, R; Aguilar, M; Valle, R. (2001). *Recomendações para o plantio de mudas de cacau propagadas por estaquia*. Ed. Marqués, J. CEPLAC/CEPEC. Ihéus-Bahia, BR. 34 p.
- Labate, J.; Grandillo, A. S.; Fulton, T. /et al./. Tomato. En: Kole, C. Eds. *Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. (2007). pp. 1-95.
- Lakshmi, P.; Satish, K.; Tran, L. y Nguyen, H. *Physiological and molecular aproaches to improve drought resistance in soybean*. *Plant & Cell. Physiol*, (2009), vol. 50, no. 7, pp. 1260-1276.
- Larcher, W. (2003). *Physiological Plant Ecology*. Springer Verlag, Berlfn. 512 p.
- Leung, J. y J. Giraudat. (1998). *Abscisic acid signal transduction*. *Ann. Rev. plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49, 199-222.
- Levitt, J. (1980). *Responses of Plants to Environmental Stresses*. Water radiation, salt and other stresses. *Physiological Ecology series*. Academic Press. New York.
- Lira, R. (2007). *Fisiología vegetal*, 5: 59-75.
- Machado, R. C. R., Alvim, P. D. T., y Milde, L. C. E. (1979). *Reações fisiológicas do cacaueiro adeficiencia de agua no solo*. En "7 International cocoa research conference", Douala Cameroun.

- Mauricio G. A (2010). *Efecto De Las Condiciones Hídricas Del Suelo Sobre El Intercambio Gaseoso Y El Crecimiento En Plantas De Theobroma cacao*.
- Mesén, F. (1998). *Enraizamiento de estacas juveniles de especies forestales: uso de propagadores de sub-irrigación*. Turrialba, CR. Proyecto de Semillas Forestales, CATIE. 36 p.
- Motamayor, J., A., P. Risterucci., C. López, A Ortiz, C Moreno and C Lanaud. (2002). *Cacao domestication I, The origin d the cacao cultivated by The Mayas*. Heredity 89: 38G386.
- Nilsen, E. T., y Orcutt, D. M. (1996). *Physiology of plants under stress*. Abiotic factors. Physiology of plants under stress. Abiotic factors.
- Nobel, P.S. (1991). *Physicochemical and environmental plant physiology*. Academic Press. San Diego. 435 P.
- Nolte, K.D., Hanson, A.D. y Gage, D.A. (1997). *Proline accumulation and methylation to prolina betaine in citrus: implications for genetic engineering of stress resistance*. Journal of American society of Horticultural Science, 122(1):8-13.
- Nunes, M. A. (1967). *Estudio comparativo de resistencia a la sequía en cacao*. Estudios Agronómicos (Portugal) 8(3): 113 – 118.
- Organización Internacional del Cacao ICCO. (1991). *Resumen Estadístico*. (Boletín del Cacao GB 21).
- Palacios, J; Monteiro, W. (2001). *Mass Multiplication on a Semi-industrial Scale of Cocoa Clones by Rooted Cuttings in Brazil*. En: Proceedings of the International Workshop on New Technologies and Cocoa Breeding. Kota Kinabalu, MY. p. 184-190.

- Palencia, G. (2000). *Propagación del árbol de cacao*. En: Tecnología para el Mejoramiento del Sistema de Producción de Cacao. Mejía L; Argüello, O. comps. CORPOICA. Bucaramanga, CO. p. 65-72.
- Paredes, J; Canals, M; González, A; Ventura, M. (2003). *Evaluación de sustratos en el enraizamiento de estacas de cacao (Theobroma cacao L.)*. En: *14th International Cocoa Research Conference Ghana 2003*. Actas. Cocoa Producers' Alliance. MY. p. 497-500.
- Paredes, M. (2004). *Manual de cultivo del cacao*. Programa para el desarrollo de la amazonia. Ministerio de Agricultura. 46 pág.
- Pearcy, R. W. (1989). *Plant Physiological Ecology*. Chapman & Hall London 456p.
- Peleg, Z.; Apse, M. P. y Blumwald, E, (2011). *Engineering Salinity and Water-Stress Tolerance in Crop Plants: Getting Closer to the Field*. Advances Bot. Res, vol. 57, pp. 407-443.
- Potters, G., Pasternak, T., Guisez, Y.; Palme, K. y Jansen M. A. (2007). *Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble? Trends Plant Sci.*, vol. 12, no. 3, pp. 99-105.
- Rada, F., R. Jaimez, C. Garcia-Nuñez, A. Azocar y M. Ramírez. (2005). *Water relations in Theobroma cacao var. Guasare under periods of water deficits*. Revista de la Facultad de Agronomía de la universidad del Zulia 22(2): 112- 120.
- Raja R. M., y Hardwick, K. (1988). *The effect of different temperatures and water vapour pressure deficits on photosynthesis and transpiration of coca leaves*. pp. 211-214 En "Proceedings 10 International coca research conference".
- Reyes, E; María, A. (2003). *Frecuencia de riego y niveles de fertilización en el desarrollo de plántulas de cacao (Theobroma cacao L.)*. En: p. 253-258.

- Roelfsema, M. y R. Hedrich. (2002). *Studying guard cell in the intact plant: modulation of stomatal movement by apoplastic factors*. New Phytol. 153, 425-431.
- Rodriguez, R, M (1972). *Nutritional requirements of the cacao en la Zona Atlántica de Costa Rica*. Tesis Mag. Sc . Turrialba, Costa Rica, IICA, 84 p.
- Rosegrant, M. W., C. Ringler, and T. Zhu. (2009). *Water for Agriculture: Maintaining Food Security under Growing scarcity*. Annu. Rev. Environ. Resour. 2009.34:205-22.
- Skirycz, A., y Inzé, D. (2010). *More from less: plant growth under limited water*. Current Opinion in Biotechnology 21, 197-203.
- Skriver, K. y J. Mundy. (1990). *Gene expression in response to abscisic acid and osmotic stress*. Plant Cell 2, 505-512.
- Silva, P. Acevedo, E. y Silva H. (2000). *Manual de estudio y ejercicios*. Universidad de Chile, facultad de ciencias agronómica, laboratorio de suelos. 1:5-6.
- Singh, D, y P., S. (1994). *Influence of water stress on photosynthesis, transpiration, water use efficiency and yield of Brassica juncea L*. Field Crop Res 37, 95-101.
- Siqueira, P; Almeida, H DE. (2003). *Determinación de las principales propiedades físico-hídricas dos substratos utilizados na produção de mudas de cacao no IBC*. En: *14th International Cocoa Research Conference Ghana 2003*. Actas. Cocoa Producers' Alliance. MY. P.1295-1300.
- Cope, FW. 1976. *Cacao*. Theobroma cacao L. (Sterculiaceae). Evolution of crop Plants. London, UK and New York, US Longman, Ed. NW Simmonds. p. 285-289.
- Smirnoff N. The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. (1993).
- Stepuhn, H. y Raney, J. (2005). *Emergence, height, and yield of canola and barley grown in saline root zones*. Canadian J. Plant Sci., vol. 85, pp. 815-827.

- Souzaa, V.L., De Almeidaa, P.S., De Souzaa, J.S., Mangabeira, P.A., De Jesus, R.M., Pirovani, C.P., Ahnesrt, D., Baligar, V.C., Loguercio, L.L. (2013). *Altered physiology, cell structure and gene expression of Theobroma cacao seedlings submitted to Cu toxicity*. Environmental Science and Pollution Research. DOI: 10.1007/s11356-013-1983-4.
- Taiz, L.; Zeiger, E. (2006). *Plant Physiology*. 4th ed. Sinauer Associates. Inc Publishers. Sunderland, Massachussets. USA. 764 p.
- Tecnología para el Mejoramiento de Sistemas de Producción de Cacao. (2000). *Compiladores Luis Antonio Mejía Florez; Orlando Argüello Castellanos*. Publicación CORPOICA Ministerio de Agricultura. Ed. Impresiones Colombianos. Bucaramanga, CO. 2000. p. 144.
- Thomas, G y Balasimha, D. (1992). *Canopy architecture, photosynthesis and yield of cocoa trees*. *Café Cacao*, the 36: 103- 108.
- Vespa, A. (2008). *Relaciones hídricas e intercambio gaseoso en Theobroma cacao en dos tipos de suelos*. Trabajo especial de grado. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.69 p.
- Wehner, F., H. Olsen, H. Tinel, E. Kinne-Saffran y R.K.H. Kinne. (2003). *Cell volume regulation: osmolytes, osmolyte transport, and signal transduction*. *Rev. Physiol. Biochem. Pharmacol.* 148, 1-80.

ANEXO



Ilustración 1. Selección de las plantas madres de cacao para la extracción de ramilla. a) identificando las plantas madres. b) verificando que no tengan

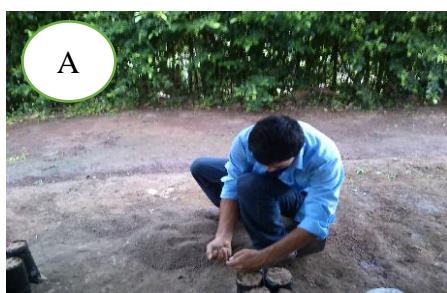


Ilustración 2. Preparación del sustrato y llenado de las bolsas en vivero. A) Llenando las bolsas con el sustrato. B) Bolsas acomodadas en el vivero para



Ilustración 3. Cosecha de las ramillas para su propagación. A) identificando las ramas adecuadas. B) Cortando las ramillas.9



Ilustración 4. A) Rama ya cortadas las hojas. B) Impregnación de la hormona en la ramilla. C) Ramillas listas para la siembra en el vivero.



Ilustración 5. Siembra la ramilla y aplicación de fungicidas. A) Y B) Realizando la siembra de las ramillas. C) aplicando fungicida.



Ilustración 6. Cobertura o protección de las ramillas. A) y B) Tapando las ramillas con el plástico azul. C) cama ya sellada de las ramillas.

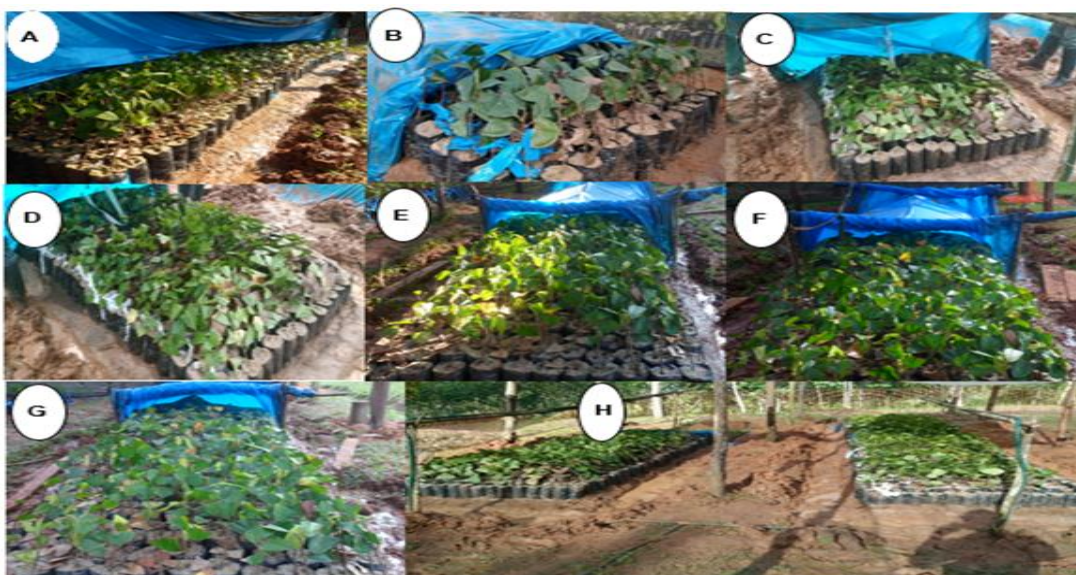


Ilustración 7. Destapado de las ramillas y aclimatación

A) apertura de la cama al pasar los 6 meses B) y H) los primero 7 días de aclimatación



Ilustración 8. Preparación del sustrato y trasplante a las macetas

A) Tierra negra para el sustrato B) Aplicación de NPK y Dolomita a la tierra negra C) Mesclado del sustrato D) Llenado de las macetas E) y F) remojo del sustrato para la activación de la dolomita G) y H) Trasplante de las plantas de cacao.

Análisis de Suelo

SOLICITANTE: **Abel Farfan Pinedo**
 PROCEDENCIA: **San Martín - San Martín - La Banda de Shilcayo - EE.El Chocloino**
 CULTIVO: **Cacao**

FECHA DE MUESTREO : **8/8/2016**
 FECHA DE RECEP. LAB : **8/8/2016**
 FECHA DE REPORTE : **20/8/2016**

Número de la muestra				pH	C.E dS/m	CaCO ₃ (%)	M.O (%)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	ANÁLISIS MECÁNICO				CIC	CATIONES CAMBIABLES					Suma de bases	% Sat. de bases	% Sat. de Al ³⁺
											Arena	Limo	Arcilla	CLASE		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ +H ⁺			
Lab.	Campo														cmol/kg								
16	08	508	S-SQ01-16	6.05	0.39	0.00	2.10	0.09	13.64	37	72.96	11.12	15.92	Fra-Are	0.39	0.09	0.13	0.07	0.10	0.00	0.39	100.0	0.0

MÉTODOS :

TEXTURA : HIDROMETRO
 pH : POTENCIOMETRO SUSPENSION SUELO- AGUA RELACION 12.5
 CONDUCT. ELECTRICA : CONDUCTIMETRO SUSPENSION SUELO- AGUA 12.5
 CARBONATOS : GAS - VOLUMETRICO
 FOSFORO : OLSEN MODIFICADO EXTRACT. NaHCO₃=0.5M, pH 8.5 Esp. Vis
 POTASIO : OLSEN MODIFICADO EXTRACT. NaHCO₃=0.5M, pH 8.5 ó (NH₄)CH₃COOH=1N, pH 7, Absorción Atómica
 MATERIA ORGANICA : WALKLEY y BLACK
 CALCIO Y MAGNESIO : EXTRACT. KCl=0.1N ó (NH₄)CH₃COOH=1N, pH 7, Absorción Atómica
 ACIDES INTERC. : EXTRACT. KCl 1N, VOLUMETRIA

Nota: el laboratorio no se responsabiliza por la metodología aplicada para la toma de la muestra del presente reporte

La Banda de Shilcayo, 20 de agosto del 2016

Número de la muestra				Fe (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	B (ppm)	S (ppm)
Lab.	Campo								
16	08	508	S-SQ01-16	225.5	2.0	1.6	12.0	1.3	2.1

METODOLOGIA :

Fe, Cu, Zn y Mn : OLSEN Modificado extrac. NaHCO₃=0.5M, pH 8.5 Absorción Atómica
 BORO : Extracción / Espectrometría UV-Vis (λ=555 nm)
 AZUFRE : Extracción / Turbidimetría (λ=420 nm)
 Metales Pesados : EPA 3050B

Nota: el laboratorio no se responsabiliza por la metodología aplicada para la toma de la muestra del presente reporte

La Banda de Shilcayo, 20 de agosto del 2016