

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE
CARRERA DE INGENIERO AGRÓNOMO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN



**TESIS
MULTIPLICACIÓN CLONAL DE CACAO (*Theobroma cacao*) POR
EL MÉTODO DE ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS, EN LA ALDEA
SALACUÍM, COBÁN, A.V.**

ILSE RENATE KLUG HENGSTENBERG

COBÁN, ALTA VERAPAZ, JULIO DE 2016

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE
CARRERA DE INGENIERO AGRÓNOMO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**TESIS
MULTIPLICACIÓN CLONAL DE CACAO (*Theobroma cacao*) POR
EL MÉTODO DE ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS, EN LA ALDEA
SALACUÍM, COBÁN, A. V.**

**PRESENTADO AL HONORABLE CONSEJO DIRECTIVO DEL
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE**

**POR
ILSE RENATE KLUG HENGSTENBERG
CARNÉ 200740157**

**COMO REQUISITO PREVIO A OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
AGRÓNOMO**

COBÁN, ALTA VERAPAZ, JULIO DE 2016

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR MAGNÍFICO

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

CONSEJO DIRECTIVO

PRESIDENTE:	Lic. Zoot. Erwin Gonzalo Eskenasy Morales
SECRETARIO:	Ing. Geól. César Fernando Monterroso Rey
REPRESENTANTE DOCENTES:	Lcda. T.S. Floricelda Chiquin Yoj
REPRESENTANTE EGRESADOS:	Lic. admón. Fredy Fernando Lemus Morales
REPRESENTANTES ESTUDIANTILES:	Br. Fredy Enrique Gereda Milián PEM. César Oswaldo Bol Cú

COORDINADOR ACADÉMICO

Lic. Zoot. Erwin Fernando Monterroso Trujillo

COORDINADORA DE LA CARRERA

Ing. Agr. M.Sc. Sandra Tello Coutiño de Argueta

COMISIÓN DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

COORDINADOR:	Ing. Agr. M.Sc. Ángel Arce Canahuí
SECRETARIO: Cruz	Ing. Agr. M.Sc. Edgar Armando Ruiz
VOCAL:	Ing. Agr. M.Sc. David Salomón Fuentes

REVISOR DE REDACCIÓN Y ESTILO

Ing. Civil M.Sc. Julio Enrique Reynosa Mejía

REVISOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Ing. Agr. M.Sc. Rodolfo Antonio Reyes Villatoro

ASESORA

Ing. Agr. M.Sc. Sandra Tello Coutiño de Argueta



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

**CENTRO UNIVESITARIO DEL
NORTE – CUNOR –
CARRERA AGRONOMÍA**

Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz
PBX 79 56 66 00 Ext. 208
Finca Sachamach, Km. 110.5 Ruta Cobán, A.V.
Guatemala, C. A.
E-mail: agrocunora@unad.com

Cobán, A.V., 13 de julio de 2016.
Ref.: 15-A-179/2016.

Ingeniero Agrónomo:
Rodolfo Antonio Reyes Villatoro
Presidente Terna Evaluadora
Carrera de Agronomía
Centro Universitario del Norte –CUNOR–

Respetable Ing. Reyes:

Me dirijo a ustedes para informarles que he revisado el trabajo de graduación titulado “**Multiplicación clonal de cacao (*Theobroma cacao*) por el método de enraizamiento de estacas, en la aldea Salacuím, Cobán, Alta Verapaz.**”, elaborado por la estudiante **T. U. Ilse Renate klug Hengstenberg.**

A mi criterio dicho trabajo cumple con las observaciones realizadas por la terna en la presentación oral de Seminario II, lo indicado en el acta que levantó la terna, así como las sugerencias y anotaciones que le hacen en los documentos que presentó.

En tal sentido, por este medio doy el aval al trabajo que he asesorado, para que continúe con el trámite respectivo.

Atentamente,



Id y enseñad a todos


Ing. Agr. M. C. Sandra Anabella Tello Coutiño
Asesor Principal.



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

**CENTRO UNIVESITARIO DEL
NORTE – CUNOR –
CARRERA AGRONOMÍA**

Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz.
PBX 79 56 66 00 Ext. 208
Finca Sachamach, Km. 110.5 Ruta Cobán, A.V.
Guatemala, C. A.
E-mail: agrocunor@gmail.com

Cobán, A.V., 13 de julio de 2016.
Ref.: 15-A-180/2016.

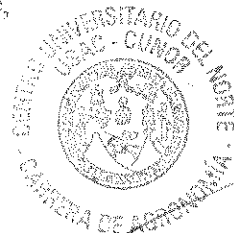
Señores:
Miembros de la Comisión de Trabajos de Graduación
Carrera de Agronomía
Centro Universitario del Norte –CUNOR–

Señores:

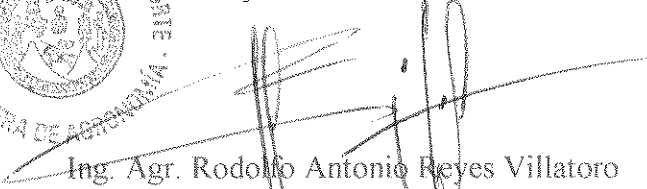
Por este medio me permito informar que la **T.U. Ilse Renate klug Hengstenberg**, si incorporó a su informe final de Trabajo de Graduación las correcciones y sugerencias que se le mandaron hacer en el documento y en la presentación del Seminario II.

Con base a lo anterior, se recomienda que dicho trabajo continúe con el trámite respectivo.

Atentamente,



Id y enseñad a todos


Ing. Agr. Rodolfo Antonio Reyes Villatoro
Revisor del Informe Final de Trabajos de Graduación y
Presidente Terna Evaluadora Seminario II
Carrera Agronomía

c.c. Archivo.



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

**CENTRO UNIVESITARIO DEL
NORTE – CUNOR –
CARRERA AGRONOMÍA**

Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz
PBX 79 56 66 00 Ext. 208
Finca Sachamach, Km. 110.5 Ruta Cobán, A.V.
Guatemala, C. A.
E-mail: agrocunor@gmail.com

Cobán, A.V., 14 de julio de 2016.
Ref.: 15-A-181/2016.

Señores:
Miembros de la Comisión de Trabajos de Graduación
Carrera de Agronomía
Centro Universitario del Norte –CUNOR-


Señores Comisión de Trabajos de Graduación:

Por este medio me permito informar que he revisado el trabajo de graduación presentado por la T.U. Ilse Renate klug Hengstenberg, titulado: “**Multiplicación clonal de cacao (*Theobroma cacao*) por el método de enraizamiento de estacas, en la aldea Salacuim, Cobán, Alta Verapaz.**”, y después de corroborar que se hicieron las observaciones formuladas, me permito dictaminar que dicho trabajo es satisfactorio en cuanto a las normas de redacción y estilo y puede continuar con el trámite respectivo.

Atentamente,



Id y enseñad a todos


Ing. M.Sc. Julio Enrique Reynosa Mejía
Revisor de Redacción y Estilo
Comisión de Trabajos de Graduación
Carrera de Agronomía - CUNOR

c.c. archivo



**CENTRO UNIVESITARIO DEL
NORTE – CUNOR –
CARRERA AGRONOMÍA**

Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz
PBX 79 56 66 00 Ext. 208
Finca Sachamach, Km. 110.5 Ruta Cobán, A.V.
Guatemala, C. A.
E-mail: agrocunor@gmail.com

Cobán, A.V., 20 de julio de 2016.
Ref.: 15-A-190/2016.

Licenciado:

Erwin Gonzalo Eskenasy Morales
Director del CUNOR
Edificio.


Señor Director:

Por este medio me permito informar que después de haber sido revisado y evaluado por el Asesor, el Revisor de Informes Finales y el Revisor de Redacción y Estilo, la Comisión de Trabajos de Graduación, emite su dictamen favorable para que el trabajo de graduación de la T.U. **Ilse Renate klug Hengstenberg**, titulado: **“Multiplicación clonal de cacao (*Theobroma cacao*) por el método de enraizamiento de estacas, en la aldea Salacuím, Cobán, Alta Verapaz.”**, siga el trámite correspondiente a efecto se autorice el Imprimase.

Atentamente,



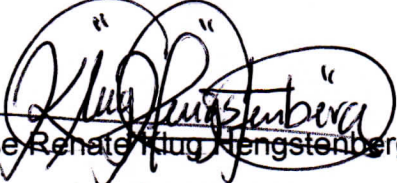
Id y enseñad a todos


Ing. Agr. Angel Arce Canahui
Presidente Comisión Trabajos de Graduación
Carrera Agronomía - CUNOR -

c.c. archivo

HONORABLE COMITÉ EXAMINADOR

En cumplimiento de lo establecido por los estatutos de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a consideración de ustedes el trabajo de graduación titulado: Multiplicación clonal de cacao (*Theobroma cacao*) por el método de enraizamiento de estacas, en la aldea Salacuím, Cobán, A. V. como requisito previo a optar al título profesional de Ingeniero Agrónomo.


Ilse Renate Hing Hengstenberg
Carné 200740157

RESPONSABILIDAD

“La responsabilidad del contenido de los trabajos de graduación es del estudiante que opta al título, del asesor y del revisor; la Comisión de Redacción y Estilo de cada carrera, es la responsable de la estructura y la forma.”

Aprobado en punto SEGUNDO, inciso 2.4, subinciso 2.4.1 del Acta No. 17-2012 de Sesión extraordinaria de Consejo Directivo de fecha 18 de julio del año 2012.

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS

Por permitirme la vida y culminar esta etapa de mi vida y por darme a una familia maravillosa.

MIS PADRES

Por su amor, trabajo, apoyo y sacrificios en el transcurso de toda mi vida, gracias a ustedes he llegado hasta aquí, este esfuerzo ha sido mutuo, porque siempre se involucraron en cada práctica. Fueron solidarios en mis tareas, desvelos y viajes a Salacuím, de los cuales tenemos muchas anécdotas; hemos aprendido juntos. Gracias por ser unos padres ejemplares y este esfuerzo es para ustedes con todo mi amor.

MI HERMANA

Por compartir días, noches, madrugadas de estudios y ser mi más fiel amiga.

MIS ABUELOS

Por ser formadores de una linda familia, por sus enseñanzas y haber compartido conmigo cada instante de sus vidas.

AGRADECIMIENTOS A:

MI ASESORA	Ing. Agr. M.Sc. Sandra Tello Coutiño por su valiosa asistencia en la elaboración de este trabajo de graduación.
MI TERNA EVALUADORA	Por su buena disposición y apoyo en la revisión de este trabajo de graduación.
JOSUE MILIÁN	Por su cariño, consejos, ayuda y apoyo incondicional en la elaboración de este trabajo de graduación.
NESTOR CAAL	Por su ayuda en la elaboración de este trabajo de graduación.
MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS	Por su motivación y apoyo en el transcurso de mi carrera universitaria en especial a mi amigo Jared Juárez.
AL CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE	A todos los catedráticos por ser pieza fundamental en mi formación profesional.
FUNDALACHÚA, CACAO VERAPAZ, Ing. CARLOS DEL CID Y CHARLY TORREBIARTE	Por su valiosa ayuda en el desarrollo de este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

	Página
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS	ix
RESUMEN	xi
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3

CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO

1.1	Antecedentes	5
1.2	Revisión de literatura	7
1.2.1	Historia del cacao (<i>Theobroma cacao</i>)	7
1.2.2	Cultivo de cacao (<i>Theobroma cacao</i>) en Guatemala	8
1.2.3	Clasificación taxonómica	9
1.2.4	Descripción botánica	9
1.2.5	Condiciones ecológicas	12
1.2.6	Propagación del cacao (<i>Theobroma cacao</i>)	12
a)	Propagación sexual	13
b)	Propagación asexual	14
1.2.7	Ventajas de la propagación asexual	18
1.2.8	Hormonas vegetales o fitohormonas	18
1.2.9	Auxinas	19
1.2.10	Requerimientos estructurales para la actividad auxínica	21
1.2.11	Miel de abeja (<i>Apis mellifera</i>)	25
1.2.12	Usos de la miel de abeja (<i>Apis mellifera</i>)	26
1.2.13	Propiedades fisicoquímicas de la miel de abeja	29
1.3	Hipótesis	32

CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA

2.1	Diseño experimental	33
2.2	Descripción de los tratamientos	35

2.2.1	Reguladores de crecimiento	35
2.2.2	Concentraciones	35
2.2.3	Uso de miel de abeja en tratamientos	36
2.2.4	Tiempos de inmersión	36
2.2.5	Tratamientos	37
2.2.6	Variables respuesta	38
2.3	Instalaciones	38
2.4	Material vegetal	38
2.5	Manejo del experimento	39
a)	Elaboración del sustrato	39
b)	Preparación de las bolsas enraizadoras	39
c)	Los reguladores se prepararon así	39
d)	Manejo del material vegetal	42
1)	Corte de las estacas	42
2)	Recorte del área foliar y tallo	43
3)	Desinfección de las estacas	43
4)	Aplicación de reguladores de crecimiento	44
5)	Siembra de estacas	44
6)	Limpias y riego	45
e)	Toma de datos	45
1)	Porcentaje de enraizamiento por tratamiento (%)	45
2)	Longitud de raíces/planta (cm)	46
3)	Número de raíces/planta (unidad)	46
4)	Peso fresco de raíces (gr)	46
5)	Peso seco de raíces (gr)	46
6)	Número de brotes (unidad)	47
7)	Tiempo al enraizamiento (día)	47
2.6	Análisis de resultados	47
2.7	Material y equipo	48

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1	Porcentaje de enraizamiento por tratamiento (%)	49
3.2	Longitud de raíces (cm)	58
3.3	Número de raíces (unidad)	65
3.4	Peso seco de raíces (gr)	73
3.5	Tiempo al enraizamiento (día)	82
3.6	Número de brotes	82

CONCLUSIONES	85
RECOMENDACIONES	87
BIBLIOGRAFÍA	89
ANEXOS	93

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
1. Tratamientos	37
2. Concentración de reguladores de crecimiento utilizados para el enraizamiento de estacas de cacao (<i>Theobroma cacao</i>) en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015	42
3. Análisis de varianza de porcentaje de enraizamiento de estacas de cacao (<i>theobroma cacao</i>) con Ácido Indolbutirico -IBA- y Ácido Naftalenacético –ANA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015	50
4. Prueba Tukey, de tipo de hormona, concentración hormonal, tiempo de inmersión y miel de abeja para porcentaje de enraizamiento de estacas de cacao (<i>theobroma cacao</i>) con Ácido Indolbutirico -IBA- y Ácido Naftalenacético –ANA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015	51
5. Prueba Tukey de la concentración hormonal en la variable porcentaje de enraizamiento de estacas de cacao (<i>theobroma cacao</i>) con Ácido Indolbutirico -IBA- y Ácido Naftalenacético –ANA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015	53
6. Prueba Tukey de la interacción de concentración hormonal y miel de abeja en la variable porcentaje de enraizamiento de estacas de cacao (<i>theobroma cacao</i>) con Ácido Indolbutirico -IBA- y Ácido Naftalenacético –ANA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015	54

7. Prueba Tukey del tiempo de inmersión en la variable porcentaje de enraizamiento de estacas de cacao (*theobroma cacao*) con Ácido Indolbutirico -IBA- y Ácido Naftalenacético –ANA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015 55
8. Prueba Tukey de la interacción de concentración hormonal y tiempo de inmersión en la variable porcentaje de enraizamiento de estacas de cacao (*theobroma cacao*) con Ácido Indolbutirico -IBA- y Ácido Naftalenacético –ANA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015 56
9. Análisis de varianza de la longitud de raíces en estacas de cacao (*theobroma cacao*) con Ácido Indolbutirico -IBA- y Ácido Naftalenacético –ANA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015 58
10. Prueba Tukey, de tipo de hormona, concentración hormonal, tiempo de inmersión y miel de abeja para longitud de raíces en estacas de cacao (*theobroma cacao*) con Ácido Indolbutirico -IBA- y Ácido Naftalenacético –ANA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015 60
11. Prueba Tukey del tipo de hormona para la variable longitud de raíces en estacas de cacao (*theobroma cacao*) con Ácido Indolbutirico -IBA- y Ácido Naftalenacético –ANA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015 61
12. Prueba Tukey de la concentración hormonal para la variable longitud de raíces en estacas de cacao (*theobroma cacao*) con Ácido Indolbutirico -IBA- y Ácido Naftalenacético –ANA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015 62

13. Prueba Tukey de la interacción de tipo de hormona y concentración hormonal para la variable longitud de raíces en estacas de cacao (*theobroma cacao*) con Ácido Indolbutírico -IBA- y Ácido Naftalenacético –ANA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015 63
14. Análisis de varianza del número de raíces en estacas de cacao (*theobroma cacao*) con Ácido Indolbutírico -IBA- y Ácido Naftalenacético –ANA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015 65
15. Prueba Tukey, del tipo de hormona, concentración hormonal, tiempo de inmersión y miel de abeja para número de raíces en estacas de cacao (*theobroma cacao*) con Ácido Indolbutírico -IBA- y Ácido Naftalenacético –ANA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015 67
16. Prueba Tukey del tipo de hormona en la variable número de raíces en estacas de cacao (*theobroma cacao*) con Ácido Indolbutírico -IBA- y Ácido Naftalenacético –ANA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015 68
17. Prueba Tukey de la concentración hormonal en la variable número de raíces en estacas de cacao (*theobroma cacao*) con Ácido Indolbutírico -IBA- y Ácido Naftalenacético –ANA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015 69
18. Prueba Tukey del tiempo de inmersión en la variable número de raíces en estacas de cacao (*theobroma cacao*) con Ácido Indolbutírico -IBA- y Ácido Naftalenacético –ANA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015 70

19. Prueba Tukey de la interacción de tipo de hormona y concentración hormonal en la variable número de raíces en estacas de cacao (*theobroma cacao*) con Ácido Indolbutirico -IBA- y Ácido Naftalenacético –ANA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015 71
20. Prueba Tukey de la interacción de concentración hormonal y tiempo de inmersión en la variable número de raíces en estacas de cacao (*theobroma cacao*) con Ácido Indolbutirico -IBA- y Ácido Naftalenacético –ANA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015 72
21. Análisis de varianza del peso seco de raíces en estacas de cacao (*theobroma cacao*) con Ácido Indolbutirico -IBA- y Ácido Naftalenacético –ANA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015 73
22. Prueba Tukey, del tipo de hormona, concentración hormonal, tiempo de inmersión y miel de abeja para peso seco de raíces en estacas de cacao (*theobroma cacao*) con Ácido Indolbutirico -IBA- y Ácido Naftalenacético –ANA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015 75
23. Prueba Tukey del tipo de hormona de la variable peso seco de raíces en estacas de cacao (*theobroma cacao*) con Ácido Indolbutirico -IBA- y Ácido Naftalenacético –ANA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015 76
24. Prueba Tukey de la concentración hormonal en la variable peso seco de raíces en estacas de cacao (*theobroma cacao*) con Ácido Indolbutirico -IBA- y Ácido Naftalenacético –ANA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015 77

25. Prueba Tukey de la miel de abeja en la variable peso seco de raíces en estacas de cacao (*theobroma cacao*) con Ácido Indolbutirico -IBA- y Ácido Naftalenacético –ANA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015 77
26. Prueba Tukey de la interacción del tipo de hormona y miel de abeja en la variable peso seco de raíces en estacas de cacao (*theobroma cacao*) con Ácido Indolbutirico -IBA- y Ácido Naftalenacético –ANA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015 78
27. Prueba Tukey de la interacción del tiempo de inmersión y miel de abeja en la variable peso seco de raíces en estacas de cacao (*theobroma cacao*) con Ácido Indolbutirico -IBA- y Ácido Naftalenacético –ANA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015 78
28. Prueba Tukey de la interacción del tipo de hormona, concentración hormonal y miel de abeja en la variable peso seco de raíces en estacas de cacao (*theobroma cacao*) con Ácido Indolbutirico -IBA- y Ácido Naftalenacético –ANA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015 80
29. Prueba Tukey de la interacción del, concentración hormonal, tiempo de inmersión y miel de abeja en la variable peso seco de raíces en estacas de cacao (*theobroma cacao*) con Ácido Indolbutirico -IBA- y Ácido Naftalenacético –ANA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015 81
30. Medias del porcentaje de raíces en estacas de cacao (*theobroma cacao*) con Ácido Indolbutirico –IBA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015 95

31.	Medias del porcentaje de raíces en estacas de cacao (<i>theobroma cacao</i>) con Ácido Naftalenacético –ANA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015	96
32.	Medias del número de raíces en estacas de cacao (<i>theobroma cacao</i>) con Ácido Indolbutirico –IBA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015	97
33.	Medias del número de raíces en estacas de cacao (<i>theobroma cacao</i>) con Ácido Naftalenacético –ANA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015	98
34.	Medias de la longitud de raíces en estacas de cacao (<i>theobroma cacao</i>) con Ácido Indolbutirico –IBA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015	99
35.	Medias de la longitud de raíces en estacas de cacao (<i>theobroma cacao</i>) con Ácido Naftalenacético –ANA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015	100
36.	Medias del peso seco de raíces en estacas de cacao (<i>theobroma cacao</i>) con Ácido Indolbutirico –IBA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015	101
37.	Medias del peso seco de raíces en estacas de cacao (<i>theobroma cacao</i>) con Ácido Naftalenacético –ANA- con y sin miel de abeja, a 24 h y 48 h de inmersión en la aldea Salacuím, Cobán, A.V., 2015	102

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Ácido indol-3ácetico	AIA
Ácido 2,4 diclorofenoxiacético	2,4-D
Ácido 4-cloroindol-3-acético	4-CI-AIA
Alta Verapaz	A.V.
Antes de Cristo	AC
Ácido naftalenacético	ANA
Centímetros	cm
Día	d / D
Después de Cristo	DC
Gramo	gr
Hora	h / H
Ácido Indolbutírico	IBA
Kilogramo	kg
Kilometro	km
Litro	lt / L
Metros cuadrados	m ²
Miligramo	mg
Minuto	min
Mililitro	ml
Metros sobre el nivel del mar	msnm
Partes por millón	ppm

RESUMEN

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao*), ha tomado auge en los últimos años en el municipio de Cobán, especialmente en la eco-región Laguna Lachúa, que posee las condiciones climáticas, régimen de lluvia y suelo adecuados para el óptimo desarrollo de dicho cultivo; lo que la hace una eco-región de gran potencial para mejorar significativa y permanentemente los estándares de vida de las comunidades.

La propagación vegetativa de cacao (*Theobroma cacao*), se ha llevado a cabo a través de injertos, debido a que se han querido conservar los genotipos de alta productividad y calidad, con la desventaja de que no se ha producido la cantidad de material vegetal necesario por la poca incidencia de pegue.

Por lo que, para aumentar la producción del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*), el presente trabajo de investigación, proporciona como alternativa para la propagación vegetativa de cacao (*Theobroma cacao*), el método de enraizamiento de estacas.

Este experimento consistió en evaluar dos tipos de reguladores de crecimiento (Ácido Indolbutírico (IBA) y Ácido Naftalenácetico (ANA)), cuatro diferentes concentraciones (100 ppm, 200 ppm, 400 ppm y 600 ppm), con y sin miel de abeja a 7,5 % y dos tiempos de inmersión (24 h y 48 h), en la aldea Salacuím, Cobán, Alta Verapaz.

Se utilizó un diseño experimental multifactorial completamente al azar, con 4 repeticiones y 32 tratamientos, que hicieron un total de 128 unidades experimentales.

Las variables evaluadas fueron: Porcentaje de enraizamiento por tratamiento (%), longitud de raíces/planta (cm), número de raíces por

planta (unidad), peso seco de raíces (gr), número de brotes (unidad), tiempo al enraizamiento (día).

Los datos de campo fueron sometidos a un análisis de varianza para determinar diferencias significativas entre los tratamientos evaluados y posteriormente a una prueba Tukey para determinar cuáles fueron los mejores.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se concluyó que para la propagación vegetativa del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*), por medio del método de enraizamiento de estacas en la aldea Salacuí, el tratamiento que proporcionó los mejores resultados en las variables evaluadas fue el T13 (Ácido indolbutírico a 600 ppm, con miel e inmersión de 24 h).

INTRODUCCIÓN

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) es una planta de uso industrial de gran importancia dentro de la economía local, regional e internacional.

A lo largo de la historia de la producción del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) en Guatemala, ha presentado cambios de expansión y contracción con lo que respecta a su producción.

Actualmente el gobierno, con ayuda del sector privado y entes cooperantes se ha interesado en aumentar la producción del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*), debido a que a nivel mundial existe una alta demanda no abastecida en su totalidad, por lo que es una ventana de divisas para el crecimiento económico del país, que genera nuevas fuentes de empleo al sector agrícola.

El 85 % de la producción de cacao (*Theobroma cacao*) según Fundación Lachúa (FUNDALACHÚA), en el país se genera por pequeños y medianos productores, actividad que se lleva a cabo con poca asistencia técnica en campo sobre el manejo adecuado del cultivo, lo que limita una alta producción de calidad de dicho producto.

FUNDALACHÚA es una de las pocas instituciones que brinda apoyo técnico científico a asociaciones productoras del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) para el manejo y suministro de variedades mejoradas en combinación de prácticas agrícolas apropiadas que permite incrementar la producción de forma eficaz, duradera, económica y amigable con el ambiente.

Asimismo esta institución se ha preocupado por el mejoramiento genético del cultivo, la identificación y caracterización de árboles superiores para la

propagación vegetativa que permite mantener variedades mejoradas en base la diversidad genética.

A partir de ello, se pretendió aumentar la producción a gran escala del grupo de árboles superiores seleccionados del clon IMC-67; que es uno de los materiales mejor adaptado a las condiciones climáticas de la eco-región.

Surge de esta manera el interés de FUNDALACHÚA de reproducir asexualmente el material vegetal anteriormente mencionado a partir del enraizamiento de estacas, ya que presenta múltiples ventajas para el productor como: el corto tiempo desde la siembra en vivero hasta llevarlo a campo, el no suministro de riego durante los primeros meses y la poca mano de obra calificada que se requiere, se mantiene así la uniformidad genética deseada.

OBJETIVOS

General

Identificar un tratamiento hormonal que permita el eficaz enraizamiento de estacas del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*).

Específicos

- 1) Determinar el efecto de la miel de abeja sobre el desarrollo radicular en el enraizamiento de estacas de cacao (*Theobroma cacao*).
- 2) Establecer la o las diferentes concentraciones de hormonas de crecimiento tipo auxina que logra reducir el tiempo de enraizamiento en las estacas de cacao.
- 3) Determinar la concentración de hormonas de crecimiento tipo auxina a utilizar que promueve el mejor desarrollo del sistema radical adventicio en estacas de cacao.
- 4) Determinar el mejor tiempo de inmersión en la solución hormonal para el enraizamiento de estacas de cacao (*Theobroma cacao*).
- 5) Establecer el regulador de crecimiento que produce un mayor porcentaje de enraizamiento.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

Velasco Mata, (2006) desarrolló un experimento para producir estacas de cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) a gran escala, utilizó estacas saludables de 20 cm de largo y 1 cm de diámetro, sumergiéndolas en ácido indolbutírico (IBA) 400 ppm por 24 h obtuvo un 86 % plantas enraizadas.

El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador (1995), logró enraizamiento con el 86 % de prendimiento, en ensayos de cultivo de cacao (*Theobroma cacao*), utilizó como tratamiento de desinfección agua caliente de los sustratos de arena, compost y tierra junto con el uso de Captan con AIB (100 ppm, 200 ppm) en ramillas con tres hojas.

Luna Jaramillo (2003) en una investigación logró obtener un 98,25 %, 70,83 % y 59,16 % de enraizamiento promedio en estacas semileñosas de cacao (*Theobroma cacao*) de 15 cm a 20 cm de longitud, con dosis de 600 ppm, 200 ppm y 100 ppm de IBA, respectivamente utilizó tres clones de cacao (ICS-95, IMC-67, SCA-6), con sustrato de aserrín y arena (proporción 2:1) y protegió el experimento con una manta de polietileno transparente a modo de cámara húmeda.

James Quiroz, (2012), en el boletín técnico No. 149 de la estación experimental del sur, en el Programa Nacional del Cacao de Ecuador da a conocer la importancia del enraizamiento del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) que les ha dado muy buenos resultados, Ecuador es un buen productor y exportador de cacao a nivel mundial.

Palencia, (2000), en su libro sobre Tecnología para el Mejoramiento del Sistema de Producción de Cacao, da a conocer que para la propagación vegetativa mediante estacas, es recomendable el establecimiento de condiciones de sombra de un 35 % a 85 % para estimular la formación de los primordios radiculares que posteriormente crecen para formar las raíces.

Enríquez García, (2004), en la guía para productores ecuatorianos de cacao orgánico da a conocer que considera suficiente el uso de una cobertura de plástico que provee de un 30 % de sombra a las estacas y al estar ajustada para el mantenimiento de la humedad en el interior del propagador (método de cámara húmeda), pues de esta forma, el aire se satura por la noche y provoca la condensación del agua de las hojas y el humedecimiento de las mismas.

Hernández Leal, (1997) en la revista Unellez de Ciencia y Tecnología, en su edición número 15, a través de su experiencia en el enraizamiento del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) dice que la concentración óptima de aplicación de los reguladores de crecimiento puede variar para cada especie e incluso entre clones, pero no obstante numerosos estudios han demostrado que una concentración de ácido indolbutírico IBA de 600 ppm es más efectiva para la formación de raíces en estacas de cacao que el ácido naftalenacético ANA a la misma concentración.

Cabrera Villa, (1962), realizó un estudio sobre la miel de abeja en la propagación vegetativa de cacao (*Theobroma cacao*) a través del enraizamiento de estacas, en donde utilizó dicha sustancia como estimulante

para la formación de raíces. Según los resultados, sí actúa como hormona enraizadora a una concentración de 7,5 % y que no influye en la longitud de raíces.

1.2 Revisión de literatura

1.2.1 Historia del cacao

Salazar Hernández¹ describe en su informe que el cacao es originario de América del Sur, de la cuenca alta del río Amazonas que actualmente comprende parte del territorio de los países de Colombia, Ecuador, Bolivia, Perú y Brasil, no obstante, en la época precolombina desde México hasta Costa Rica se dio su domesticación, en donde Mayas, Toltecas y Aztecas lo consideraban como un árbol de origen divino por lo que proporcionaba el llamado alimento de los dioses, en donde su bebida confería discreción y sabiduría a quien lo tomara.

En el tiempo de Cristóbal Colón en América, los mayas eran los únicos que verdaderamente cultivaban cacao (*Theobroma cacao*); perfeccionaron el cultivo para crear una bebida más agradable y traficaban semillas con los aztecas que luego admirarían sus cualidades.²

Es necesario establecer que en el mundo existen tres grandes grupos de variedades de cacao (*Theobroma cacao*): la variedad Criollo en Centroamérica, México, y algunas áreas en Colombia y

¹ Manuel, Salazar Hernández. *Informe final sobre el cultivo del cacao*. Costa Rica: IICA. 1949.

² *Ibíd.*

Venezuela; la variedad Forastero en la Amazonía de Brasil Bolivia y Perú; y la variedad Trinitario (combinación de criollo y forastero), originaria de la isla de Trinidad.³

1.2.2 Cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) en Guatemala

La República de Guatemala posee una tradición productiva de cacao (*Theobroma cacao*) ya que es parte de su historia y está inmersa en su cultura, en donde su estructura productiva es sencilla porque posee un número reducido de actores, eslabones productivos y la producción nacional de grano se encuentra en niveles muy bajos, esto por la poca tecnificación, la presencia de enfermedades y la baja calidad de los granos cosechados que reducen el valor de la producción.⁴

“La producción de cacao se concentra en el departamento de Alta Verapaz y la región de la Costa Sur Occidente compuesta por los departamentos de Sololá, San Marcos, Retalhuleu, Suchitepéquez y Quetzaltenango, donde el cultivo se utiliza como complemento en la producción de otras especies frutales en sistemas agroforestales.”⁵

³ Manuel, Salazar Hernández. *Informe final sobre el cultivo del cacao*. Costa Rica: IICA. 1949.

⁴ *Cultivo de cacao en Guatemala*. http://www.uvg.edu.gt/publicaciones/revista/volumenes/numero-24/9.CARACTERIZACION_de_algunos_clones_pp_99-204.pdf (23 de agosto de 2014).

⁵ *Ibíd.*

1.2.3 Clasificación taxonómica en base al Sistema de Cronquist

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Dilleniidae

Orden: Malvales

Familia: Sterculiaceae

Género: *Theobroma*

Especie: *Theobroma cacao* L.⁶

1.2.4 Descripción botánica

El cacao (*Theobroma cacao*) es una planta diploide ($2n = 20$ cromosomas), de 8 m a 20 m de altura cuando es silvestre y de 4 m a 7 m cuando es cultivado, es de ciclo vegetativo perenne, crece y se desarrolla bajo la sombra en los bosques tropicales húmedos de América del Sur, lo que quiere decir que evolucionó bajo circunstancias de dosel cerrado, por lo que es cultivado bajo sombra de árboles más grandes para su desarrollo normal y de producción.⁷

Tallo y ramas: el tallo en su primera fase de crecimiento, es ortotrópico (vertical) que perdura alrededor de 14 meses, luego

⁶Samuel, Jones. *Sistemática vegetal*. México: Editorial Mc Graw-Hill, 1987.

⁷*Descripción botánica del cacao*. [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/infoespeci es/arboles/doctos/68-sterc03m.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/infoespeci/es/arboles/doctos/68-sterc03m.pdf) (23 de agosto de 2014).

este crecimiento se interrumpe para dar lugar a la formación de 4 a 5 ramitas secundarias u horquetas que son de crecimiento plagiotrópico (horizontal). Con frecuencia brotes ortotrópicos o chupones aparecen debajo de la horqueta que darán origen a una nueva y así consecutivamente se va repitiendo 3 a 4 veces. Es una especie cauliflora, es decir, las flores aparecen insertadas sobre el tronco o las viejas ramificaciones.⁸

Raíces: la raíz principal es pivotante y en condiciones favorables puede llegar de 1,5 m a 2 m de profundidad, mientras las raíces laterales o secundarias en su mayoría se encuentran en los primeros 30 cm del suelo alrededor del árbol, puede alcanzar los 5 m a 6 m de longitud.⁹

Hojas: las hojas son enteras, de 15 cm a 50 cm de longitud y de 5 a 20 cm de ancho, con ápice acuminado o romo; simétricas en el brote ortotrópico y/o asimétricas en las ramas plagiotrópicas. La forma del limbo puede ser: elíptica, obovada u ovada con pecíolos que presentan dos engrosamientos que se llaman pulvínulos, en donde uno de ellos se encuentra en la inserción con el tallo y el otro en una inserción con el limbo foliar.¹⁰

⁸ *Descripción botánica del cacao*. <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/infoespecies/arboles/doctos/68-sterc03m.pdf> (23 de agosto de 2014).

⁹ *Ibíd.*

¹⁰ *Descripción botánica del cacao*. <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/infoespecies/arboles/doctos/68-sterc03m.pdf> (23 de agosto de 2014).

Flores: Se presentan a lo largo del tronco y las ramas en racimos o muchas veces solitarias, son hermafroditas, pentámeras (5 pétalos, 5 sépalos, 5 estaminodios, 5 estambres y 5 lóculos por ovario), completas ya que posee todos sus verticilos florales y perfectas ya que poseen androceo y gineceo. Después de varios años de floración, las inflorescencias se convierten en tubérculos engrosados que reciben el nombre de cojinetes florales.¹¹

Fruto: Los frutos son bayas con tamaños de 10 cm a 42 cm de forma variable, por lo que puede ser: elíptica, ovada, oblonga, obovada, oblata y esférica; de superficie lisa o rugosa con un tono verde o rojo en estado inmaduro lo cual depende de los genotipos, asimismo cáscara delgada, intermedia o gruesa con surcos superficiales profundos o intermedios.¹²

Semillas: Las semillas son grandes y varían de 2 cm a 3 cm de largo cubiertas de mucílago o pulpa de color blanco cremoso, de sabores y aromas diferentes.¹³

¹¹ *Descripción botánica del cacao*. <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/infoespecies/arboles/doctos/68-sterc03m.pdf> (23 de agosto de 2014).

¹² *Ibíd.*

¹³ *Descripción botánica del cacao*. <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/infoespecies/arboles/doctos/68-sterc03m.pdf> (23 de agosto de 2014).

1.2.5 Condiciones ecológicas

El cacao (*Theobroma cacao*) crece en topografía plana u ondulada, llega a crecer en terrenos que sobrepasan el 50 % de pendiente, en cañadas, a orilla de arroyos. Exige temperaturas medias anuales elevadas con fluctuaciones pequeñas, una gran humedad y una cubierta que le proteja de la insolación directa y de la evaporación.¹⁴

Cáceres Ramos¹⁵ da a conocer que las plantaciones de cacao requieren de 1 300 mm a 2 800 mm de lluvia por año con una estación seca corta, en donde el clima debe ser constantemente húmedo, con temperatura media diaria entre 20 °C y 30 °C con una mínima de 16 °C. El cacao para su pleno desarrollo requiere suelos profundos de hasta un 1 m como mínimo, fértiles y bien drenados, evitando suelos arcillosos, arenosos muy superficiales, mal drenados con presencia de rocas y un nivel freático poco profundo.

1.2.6 Propagación del cacao

El cacao (*Theobroma cacao*) se propaga sexual y asexualmente a través de distintos métodos y/o técnicas que se describirán a continuación.

¹⁴ *Condiciones climáticas del cacao*. <http://books.google.com.gt/books?id=Zd0OAAQAAIAAJ&pg=PA276&dq=cultivo+de+cacao+en+guatemala&hl=es-419&sa=X&ei=7TINVKCCM7KHsQSv24HwCw&ved=0CBoQ6AEwAA#v=onepage&q=cultivo%20de%20cacao%20en%20guatemala&f=false> (23 de agosto de 2014).

¹⁵ Hugo, Cáceres Ramos. *El Cacao. Centro de enseñanza e investigación*. Costa Rica: 1966.

a) Propagación sexual

El cacao ha sido propagado comúnmente por semilla debido a que es la manera más sencilla, barata y más antigua y común para el establecimiento de plantaciones de cacao pero se obtiene una gran variabilidad de árboles, por lo que no se recomienda su utilización salvo cuando se utilicen semillas de elevada calidad.¹⁶

En los últimos años se ha recomendado la siembra de semilla certificada, debido al buen comportamiento de los árboles provenientes de semilla de polinización controlada, usando clones seleccionados.¹⁷

Para la selección del fruto, del cual se extraerán las semillas, se debe observar que haya alcanzado su madurez, así las semillas contenidas en su interior están fisiológicamente maduras y dispuestas a germinar, pero si el fruto sobrepasa la madurez se desarrolla la radícula en el interior.

Se escogerán mazorcas del tronco de las ramas primarias, pues ellas dan semillas uniformes y más vigorosas que deben ser manipuladas con mucho cuidado y evitar el contacto con mazorcas enfermas y los fuertes golpes.¹⁸

¹⁶ *Propagación sexual del cultivo de cacao*. http://corpomail.corpoica.org.co/BACFILES/BACDIGITAL/3781/s2dA6A6B058E52CF7BC431EB8EBB6222D83_1.pdf (24 de agosto de 2014).

¹⁷ *Ibíd.*

¹⁸ *Propagación sexual del cultivo de cacao*. http://corpomail.corpoica.org.co/BACFILES/BACDIGITAL/3781/s2dA6A6B058E52CF7BC431EB8EBB6222D83_1.pdf (24 de agosto de 2014).

Es importante desechar las mazorcas pequeñas, deformadas por agentes externos como insectos o la presión de ramas vecinas.¹⁹

b) Propagación asexual

La propagación asexual o vegetativa juega un rol importante para reproducir con fidelidad las características deseables de un árbol o grupo de árboles seleccionados.²⁰

En el caso del cacao, especie perenne, alógama y con un ciclo de mejoramiento considerablemente largo (15 años), la propagación vegetativa o asexual se practica tradicionalmente mediante el enraizado de ramas, acodos, injertos en yemas y propagación *in vitro*.²¹

A continuación es descrito cada uno de los métodos anteriores.

¹⁹ *Propagación sexual del cultivo de cacao*. http://corpomail.corpoica.org.co/BACFILES/BACDIGITAL/3781/s2dA6A6B058E52CF7BC431EB8EBB6222D83_1.pdf (24 de agosto de 2014).

²⁰ *Ibíd.*

²¹ *Propagación asexual del cultivo de cacao*. <http://intranet.catieac.cr/pcc/Divulgaci%C3%B3n/Presentaciones/Sistemas%20propagaci%C3%B3n%20en%20cacao%20%20A.MOR A.pdf>. (24 de agosto de 2014).

1) Enraizado de estacas y acodos

La propagación por estacas consiste en cortar una rama de un árbol seleccionado y someterla a un tratamiento especial para que enraíce. Para el enraizamiento es necesario el uso de propagadores, que pueden ser hechos de diversos materiales. La estaca requiere además reunir condiciones especiales de vigor y un manejo adecuado.²²

El acodo constituye otro procedimiento de reproducción vegetativa, en el que pueden emplearse ramas de mayor edad que las ramillas. En este caso se debe cortar un anillo de corteza de 1 cm de ancho y depositar sobre ella cualquier hormona que estimule la emisión de raíces. La herida debe cubrirse con material enraizante, humedecido y sujeto por un plástico perforado. Luego de enraizada la rama, se la puede separar de la planta y sembrarla en fundas de polietileno llenas de tierra. Este procedimiento es menos usual para cacao.²³

²² *Propagación asexual del cultivo de cacao.* [http://intranet.catieac.cr/pcc/Divulgaci%C3%B3n/Presentaciones/Sistemas%20propagaci%C3%B3n%20en%20cacao%20%20A.MO RA.pdf](http://intranet.catieac.cr/pcc/Divulgaci%C3%B3n/Presentaciones/Sistemas%20propagaci%C3%B3n%20en%20cacao%20%20A.MO%20RA.pdf). (24 de agosto de 2014).

²³ *Propagación vegetativa del cacao.* <http://bibliodigital.itcr.ac.cr/xmlui/bitstream/handle/2238/441/Propagacion%20vegetativa%20de%20cacao.pdf?sequence=1>. (24 de agosto de 2014).

2) Propagación por injerto

La injertación consiste en unir una rama o injerto a un patrón reproducido por semilla o enraizado, con el fin de que el cambium del injerto y del patrón queden en íntimo contacto, para que los nuevos tejidos provenientes de la división celular de ambos, queden justamente unidos y puedan transportar agua y alimentos a través de la unión.²⁴

Los tipos de injerto más comunes son los de púa central, púa lateral y parche. La selección del método obedece a criterios de costo y la disposición de asumirlos.²⁵

Este método de reproducción requiere, además de un laborioso trabajo, un cuidado especial, ya que generalmente el crecimiento es lateral y no terminal, por lo que para obtener una planta lo más erecta posible, se debe contar con un tutor o hacer podas de mantenimiento hasta que la nueva planta esté lista para sembrarse en campo.²⁶

²⁴ *Propagación por injerto de cacao*. <http://www.canacacao.org/cultivo/propagacion/> (24 de agosto de 2014).

²⁵ *Ibíd.*

²⁶ *Propagación por injerto de cacao*. <http://www.canacacao.org/cultivo/propagacion/> (24 de agosto de 2014)

3) Propagación *in vitro*

El cultivo *in vitro* de plantas se realiza al colocar bajo condiciones asépticas, fragmentos de la planta de las cuales regeneran nuevas plantas. Estos fragmentos de tejido son llamados comúnmente explantes y la parte de la planta de la cual son obtenidos va a depender de la metodología de multiplicación utilizada y de la cantidad de plantas que se desea producir.²⁷

El deseo de obtener grandes cantidades de propágulos de cultivares de alto rendimiento ha estimulado los estudios en cultivos de tejidos, es por eso que existen varias vías para realizar la propagación asexual *in vitro*; entre ellas están la multiplicación de brotes a partir de yemas terminales, axilares o laterales, la organogénesis directa, la organogénesis indirecta, la embriogénesis somática, el microinjerto y el rescate de embriones.²⁸

²⁷ *Propagación vegetativa de cacao*. <http://es.scribd.com/doc/52779842/METODOS-DE-REPRODUCCION-CACAO> (24 de agosto de 2014).

²⁸ *Ibíd.*

1.2.7 Ventajas de la propagación asexual

La propagación asexual se basa principalmente en las siguientes ventajas:

- a) Los caracteres del árbol madre pueden multiplicarse las veces que se desee, para obtener plantaciones uniformes,
- b) Perpetúa los caracteres genéticos de las variedades en cuanto a su capacidad productiva, y a su resistencia a plagas o enfermedades,
- c) Se obtiene mayor crecimiento en menor tiempo,
- d) Se produce una mayor cantidad de plántulas en un menor tiempo y
- e) El manejo de vivero es más sencillo²⁹

1.2.8 Hormonas vegetales o fitohormonas.

Se entiende por hormonas vegetales aquellas sustancias que son sintetizadas en un determinado lugar de la planta y se trasladan a otro, donde actúan a muy bajas concentraciones y regulan el crecimiento, desarrollo o metabolismo del vegetal.³⁰

²⁹ *Propagación vegetativa de cacao*. <http://es.scribd.com/doc/52779842/METODOS-DE-REPRODUCCION-CACAO> (24 de agosto de 2014).

³⁰ *Hormonas vegetales*. http://www.academia.edu/1060642/Manual_de_practicas_de_fisiologia_vegetal (24 de agosto de 2014).

El término de sustancias reguladoras del crecimiento es más general y abarca a las sustancias tanto de origen natural como sintetizado en laboratorio que determinan respuestas a nivel de crecimiento, metabolismo o desarrollo en la planta.³¹

Dentro del grupo de fitohormonas se encuentran las auxinas, las giberelinas, las citoquininas y ácido abscísico, de las cuales, en este caso las más importantes para el enraizamiento de estacas son las auxinas y citocininas, esto debido a que la auxina ayuda a inducir la extensión de las células de los brotes que controlan procesos orgánicos como iniciación de la radícula y raíces adventicias entre otras; las citocininas que estimulan la división y crecimiento celular, en donde es de vital importancia mencionar que la interacción de ambas hormonas generan un efecto característico que promueve la formación de órganos adventicios.³²

1.2.9 Auxinas

Las auxinas son un grupo de compuestos que se caracterizan por tener la capacidad de inducir la extensión de las células de los brotes. Weaver, R. en su investigación sobre reguladores de crecimiento de las plantas, menciona que poseen varias ventajas

³¹ *Hormonas vegetales*. http://www.academia.edu/1060642/Manual_de_practicas_de_fisiologia_vegetal (24 de agosto de 2014).

³² *Ibíd.*

al ser aplicadas a estacas: aceleran su iniciación y aumentan la uniformidad del enraizamiento.³³

a) Tipos de auxinas y composición química

Las auxinas pueden ser naturales, las cuales son producidas por la misma planta como:³⁴

- 1) **Ácido indol-3-ácético (AIA):** se encuentra en todas las plantas, es la principal auxina natural.
- 2) **Ácido 4-cloroindol-3-acético (4-CI-AIA):** ésta se encuentra en frutos de semillas jóvenes de varias leguminosas.
- 3) **Ácido fenoxiácético (AFA):** en diferentes plantas con frecuencia es más abundante que el ácido indol-3-ácético (IAA), aunque es mucho menos activo para causar las respuestas típicas del ácido indol-3-ácético (IAA).³⁵

También existen auxinas sintéticas usadas como reguladores del crecimiento a bajas concentraciones siendo las más utilizadas y/o importantes las siguientes:³⁶

³³ R., Weaver. *Reguladores de crecimiento de las plantas en la agricultura*. México, Trillas. 1985.

³⁴ Definición de *auxinas*. <https://www.um.es/analesdebiologia/.../PDF/16-CUANTIFICACION.pdf> (26 de agosto de 2014).

³⁵ *Hormonas vegetales sintéticas*. http://fisiohorticola.files.wordpress.com/2008/09/clase_3_-hormonas_vegetales_1_6pp.pdf (26 de agosto de 2014).

³⁶ *Ibíd.*

- 4) **Ácido indol-3-butírico (IBA):** es de más reciente descubrimiento; se pensó que era solo una auxina sintética activa, pero se presenta en hojas de maíz y en varias dicotiledóneas, por lo que es probable que esté difundida en el reino vegetal.³⁷
- 5) **Ácido Naftalenoacético (ANA):** una de las promotoras del enraizamiento más utilizadas en la actualidad junto con el ácido indolbutirico (IBA), con la desventaja de que es más tóxica que esta última a las mismas concentraciones.³⁸
- 6) **Ácido 2,4 diclorofenoxiacético (2,4-D):** es utilizado en la industria agrícola como un potente herbicida, pero en dosis bajas puede actuar como enraizador en plantas de forma lenta y con menos vigor en comparación del ácido indolbutirico (IBA).³⁹

1.2.10 Requerimientos estructurales para la actividad auxínica

Los requerimientos estructurales básicos para la actividad auxínica se llevan a cabo a partir de la presencia de una carga negativa en el grupo carboxilo de la cadena lateral que se encuentra separada por una distancia de 0,5 nm de una carga residual positiva, debe recordarse que un anillo indólico no es esencial para

³⁷ *Hormonas vegetales sintéticas*. http://fisiohorticola.files.wordpress.com/2008/09/clase_3_hormonas_vegetales_1_6pp.pdf (26 de agosto de 2014).

³⁸ *Ibíd.*

la actividad auxínica, aunque un anillo aromático está presente en la gran mayoría de los compuestos auxínicos.⁴⁰

a) Biosíntesis de auxinas

Existen varias vías de biosíntesis de auxinas en la planta, debe considerarse que dicha actividad se produce en hojas jóvenes, meristemos apicales de tallo y frutos en desarrollo.⁴¹

La biosíntesis de la auxina se inicia a partir del triptófano por medio de tres mecanismos: primero el triptófano es convertido en ácido indolpirúvico a través de una reacción de transaminación, luego este ácido indolpirúvico se convierte en indolacetaldehído mediante una reacción de descarboxilación; la etapa final implica la oxidación de esta molécula para dar origen al ácido indolacético.⁴²

El triptófano sufre una descarboxilación dando triptamina. Esta es oxidada y desaminada para producir indolacetaldehído; finalmente este compuesto se oxida hasta ácido indolpirúvico. Es importante mencionar que

⁴⁰ *Hormonas vegetales sintéticas*. http://www.fcn.unp.edu.ar/sitio/fisiologiageneral/images/sa_mpledata/parks/practicos/tp-13_hormonas_vegetales-reguladores_de_crecimient.pdf (26 de agosto de 2014).

⁴¹ *Hormonas vegetales sintéticas*. http://www.fcn.unp.edu.ar/sitio/fisiologiageneral/images/sa_mpledata/parks/practicos/tp-13_hormonas_vegetales-reguladores_de_crecimient.pdf (26 de agosto de 2014).

⁴² *Ibíd.*

existe un tercer mecanismo independiente del triptófano pero del cual no se tiene mayor información.⁴³

b) Características de las auxinas

Las auxinas se encuentran en toda la planta, las más altas concentraciones se localizan en las regiones meristemáticas en crecimiento activo. Se le encuentra tanto como molécula libre o en formas conjugadas inactivas. Cuando se encuentran conjugadas, la auxina se encuentra metabólicamente unida a otros compuestos de bajo peso molecular.⁴⁴

Este proceso parece ser reversible. La concentración de auxina libre en plantas varía de 1 mg/kg a 100 mg/kg peso fresco. En contraste, la concentración de auxina conjugada ha sido demostrada en ocasiones que es sustancialmente más elevada.⁴⁵

Una característica sorprendente de la auxina es la fuerte polaridad exhibida en su transporte a través de la planta. La auxina es transportada por medio de un mecanismo

⁴³ *Hormonas vegetales*. http://www.fcn.unp.edu.ar/sitio/fisiologiageneral/images/sa_mpledata/parks/practicos/tp-13_hormonas_vegetales-reguladores_de_crecimiento.pdf (26 de agosto de 2014).

⁴⁴ *Características de las auxinas*. https://www.google.com.gt/search?q=auxinas+pdf&oq=auxinas+pdf&aqs=chrome..69i57j0l5.3594j0j8&sourceid=chrome&es_sm=93&ie=UTF-8#q=biosintesis+de+auxinas+pdf (26 de agosto de 2014).

⁴⁵ *Ibíd.*

dependiente de energía, alejándose en forma basipétala desde el punto apical de la planta hacia su base.⁴⁶

Este flujo de auxina reprime el desarrollo de brotes axilares laterales a lo largo del tallo, manteniendo así, la dominancia apical. El movimiento de la auxina fuera de la lámina foliar hacia la base del pecíolo parece también prevenir la abscisión.⁴⁷

c) Efectos biológicos de las auxinas

Los efectos biológicos más importantes que tienen las auxinas son: la estimulación de la división celular, inicio de la formación de raíces de varias especies, inicio de la floración, inducción del amarre de frutos y desarrollo de frutos jóvenes.⁴⁸

d) Funciones de las auxinas

⁴⁶ *Características de las auxinas.* https://www.google.com.gt/search?q=auxinas+pdf&oq=auxinas+pdf&aqs=chrome..69i57j0l5.3594j0j8&sourceid=chrome&es_sm=93&ie=UTF-8#q=biosintesis+de+auxinas+pdf (26 de agosto de 2014).

⁴⁷ *Características de las auxinas.* https://www.google.com.gt/search?q=auxinas+pdf&oq=auxinas+pdf&aqs=chrome..69i57j0l5.3594j0j8&sourceid=chrome&es_sm=93&ie=UTF-8#q=biosin+tesis+de+auxinas+pdf (26 de agosto de 2014).

⁴⁸ *Ibíd.*

Las funciones de las auxinas son las siguientes.⁴⁹

1. Dominancia apical,
2. Promover la síntesis de etileno (influye en los procesos de maduración de los frutos),
3. Favorecer el cuaje y la maduración de los frutos,
4. Inhibir la abscisión y caída de los frutos,
5. Aumentar el crecimiento de los tallos,
6. Estimular la formación de raíces adventicias,
7. Promover la floración en algunas especies,
8. Estimular el desarrollo de frutos (partenocárpicos en ocasiones),
9. Favorecer al fototropismo,
10. Promover la división celular y
11. Promover la división celular en el cambium vascular y diferenciación del xilema secundario

⁴⁹ *Características de las auxinas.* https://www.google.com.gt/search?q=auxinas+pdf&oq=auxinas+pdf&aqs=chrome..69i57j0l5.3594j0j8&sourceid=chrome&es_sm=93&ie=UTF-8#q=biosin+tesis+de+auxinas+pdf (26 de agosto de 2014).

1.2.11 Miel de abeja (*Apis mellifera*)

La miel es la sustancia natural dulce producida por la abeja *Apis mellifera* a partir del néctar de las flores y de otras secreciones extra florales que las abejas liban, transportan, transforman combinan con otras sustancias, deshidratan, concentran y almacenan en panales.⁶⁰

Constituye uno de los alimentos más primitivos que el hombre aprovechó para nutrirse. Su composición es compleja y los carbohidratos representan la mayor proporción, dentro de los que destacan la fructosa y glucosa, pero contiene una gran variedad de sustancias menores dentro de los que destacan las enzimas, aminoácidos, ácidos orgánicos, antioxidantes, vitaminas y minerales.⁶¹

⁶⁰ *Miel de abeja*. http://www.cajaespana.es/Images/LIBRO%20ABEJAS_tcm6-2366.-pdf (26 de agosto de 2014).

⁶¹ *Ibíd.*

La composición de la miel depende de diversos factores tales como la contribución de la planta, suelo, clima y condiciones ambientales, principalmente.⁵²

1.2.12 Usos de la miel de abeja

El desarrollo de las sociedades humanas se ha sustentado en el aprovechamiento de los recursos naturales como en el caso de la miel, la cual se produjo mucho antes de la aparición del hombre en la tierra.⁵³

Aunque la historia de la apicultura tiene sus raíces en los primeros asentamientos humanos, existen evidencias arqueológicas de que la miel bien pudo utilizarse como alimento desde el período Mesolítico, esto es 7 000 años antes de Cristo.⁵⁴

También se sabe que la primera referencia escrita para la miel es una tablilla sumeriana, fechada entre los años 2100 – 2000 AC, dicha tablilla también menciona el uso de la miel como droga y como un ungüento; por ello se afirma que la miel ha sido usada con propósitos médicos y nutricionales.⁵⁵

⁵² *Miel de abeja*. http://www.cajaespana.es/Images/LIBRO%20ABEJAS_tcm6-2366.-pdf (26 de agosto de 2014).

⁵³ *Usos de la miel de abeja*. http://www.jica.go.jp/nicaragua/espanol/office/others/c8h0vm0000001q4bc-att/24_estudio_04.pdf (26 de agosto de 2014).

⁵⁴ *Ibíd.*

⁵⁵ *Usos de la miel de abeja*. http://www.jica.go.jp/nicaragua/espanol/office/others/c8h0vm0000001q4bc-att/24_estudio_04.pdf (26 de agosto de 2014).

Se estima que la miel es la medicina más antigua conocida y que en muchas razas fue prescrita por médicos para una variedad de enfermedades. Los antiguos egipcios, asirios, chinos y romanos usaron la miel en combinación con otras hierbas para tratar heridas y enfermedades del intestino.⁵⁶

En la Grecia antigua, Aristóteles afirmaba que la miel podría aplicarse como un ungüento para las heridas y el dolor de ojos, mientras que Dioscórides alrededor del año 50 DC, recomendaba la miel para el tratamiento de quemaduras del sol, manchas en la cara y todas las pudrientas y huecas úlceras.⁵⁷

El uso de la miel como un tipo de agente terapéutico es popular en la medicina de nuestros días, en donde, en la India, la miel de loto se usa para tratar enfermedades de los ojos.⁵⁸

En la medicina tradicional el uso de la miel es indispensable como terapia para piernas ulcerosas infectadas, dolor de oídos, tratamiento tópico de la rubeola y sarampión, úlceras gástricas y dolor de garganta.⁵⁹

⁵⁶ *Usos de la miel de abeja*. http://www.jica.go.jp/nicaragua/espanol/office/others/c8h0vm0000001q4bc-att/24_estudio_04.pdf (26 de agosto de 2014).

⁵⁷ *Ibíd.*

⁵⁸ *Usos de la miel de abeja*. http://www.jica.go.jp/nicaragua/espanol/office/others/c8h0vm0000001q4bc-att/24_estudio_04.pdf (26 de agosto de 2014).

⁵⁹ *Ibíd.*

Se sabe que la miel posee un poder antibacteriano por la presencia de peróxido de hidrógeno, flavonoides y ácidos fenólicos.⁶⁰

También se ha demostrado que la miel sirve como una fuente natural de antioxidantes, los cuales son efectivos para reducir el riesgo de enfermedades del corazón, sistema inmune, cataratas y diferentes procesos inflamatorios.⁶¹

Aparte de los usos medicinales, la miel de abeja tiene gran importancia dentro de la gastronomía a nivel mundial, y en la antigüedad permaneció por mucho tiempo como el único endulzador primario natural disponible hasta el pasado siglo XIX, cuando su consumo fue superado por el azúcar de caña o azúcar de remolacha y más tarde por azúcares derivados del maíz.⁶²

Hoy en día se acepta que la miel puede ser además, un alimento protector, ya que tiene un gran número de sustancias que actúan de esa manera inclusive el ácido ascórbico, péptidos pequeños, flavonoides, tocoferoles y enzimas. Puede ser una alternativa natural al uso de aditivos alimentarios para controlar el encafesamiento enzimático durante el procesamiento de frutas y verduras, así como ingrediente en la elaboración de jugos y conservas

⁶⁰ *Usos de la miel de abeja*. http://www.jica.go.jp/nicaragua/espanol/office/others/c8h0vm0000001q4bc-att/24_estudio_04.pdf (26 de agosto de 2014).

⁶¹ *Ibíd.*

⁶² *Usos de la miel de abeja*. http://www.jica.go.jp/nicaragua/espanol/office/others/c8h0vm0000001q4bc-att/24_estudio_04.pdf (26 de agosto de 2014).

alimenticias, y en muchos otros alimentos para inferirles propiedades sensoriales propias de la piel.⁶³

La miel de abeja es utilizada para el enraizamiento de estacas y esta tiene muchas ventajas sobre las demás hormonas, es un medio totalmente orgánico y tiene propiedades antihongos y antibacterianas.⁶⁴

Su asepsia es absoluta, lo que nos garantiza un enraizamiento libre de problemas y el hecho de ser tan compacta hace imposible que los esquejes puedan perecer por embolia.⁶⁵

Además, produce un efecto en las estacas conocido como fagocitosis, que consiste en alimentar a las células del cambium a través de los distintos azúcares que contiene.⁶⁶

1.2.13 Propiedades fisicoquímicas de la miel de abeja

Carbohidratos: constituyen el principal componente de la miel. Dentro de los carbohidratos los principales azúcares son los monosacáridos fructosa y glucosa, los cuales representan el 85 % de sus sólidos, ya que la miel es esencialmente una solución altamente concentrada de azúcares en agua.⁶⁷

⁶³ *Usos de la miel de abeja.* http://www.jica.go.jp/nicaragua/espanol/office/others/c8h0vm0000001q4bc-att/24_estudio_04.pdf (26 de agosto de 2014).

⁶⁴ *Ibíd.*

⁶⁵ *Miel de abeja.* http://www.jica.go.jp/nicaragua/espanol/office/others/c8h0vm0000001q4bc-att/24_estudio_04.pdf (26 de agosto de 2014).

⁶⁶ *Ibíd.*

⁶⁷ *Propiedades fisicoquímicas de la miel de abeja.* <http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/pu/bpdf/revet/n11a05noia.pdf> (28 de agosto de 2014).

Los otros sólidos de la miel incluyen al menos otros 25 azúcares complejos, pero algunos de ellos están presentes en niveles muy bajos y formados por la unión de la fructosa y glucosa en diferentes combinaciones.⁶⁸

Agua: es una de las principales y más importantes características de la miel, ya que está en función de ciertos factores tales como los ambientales y el contenido de humedad del néctar.⁶⁹

Enzimas: estas son añadidas principalmente por las abejas, aunque algunas pocas proceden de las plantas. Estas enzimas son utilizadas por las abejas para lograr el proceso de maduración del néctar a miel y éstas son en gran parte las responsables de la complejidad composicional de la miel.⁷⁰

Proteínas y aminoácidos: la presencia de las proteínas en la miel resulta en una baja tensión superficial, lo que fomenta la formación de las finas burbujas de aire en una marcada tendencia al espumado, así mismo la cantidad de aminoácidos libres en la miel es pequeña y no tiene importancia nutricional, en donde se han encontrado entre 11 y 21 aminoácidos libres.⁷¹

⁶⁸ *Propiedades fisicoquímicas de la miel de abeja.* http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/pu_bpdf/revet/n11a05noia.pdf (28 de agosto de 2014).

⁶⁹ *Ibíd.*

⁷⁰ *Propiedades fisicoquímicas de la miel de abeja.* http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/pu_bpdf/revet/n11a05noia.pdf (28 de agosto de 2014).

⁷¹ *Ibíd.*

Componentes del aroma, color y sabor: una gran variedad de mieles con diferentes aromas, colores y sabores, según su origen botánico, ya que los azúcares son los principales componentes del sabor, donde generalmente la miel con un alto contenido de fructosa es más dulce que una miel con alta concentración de glucosa.⁷²

El aroma de la miel depende en gran medida de la cantidad de ácidos y aminoácidos, su color varía desde extra-clara, tonos ámbar hasta ser casi negra; algunas veces con luminosidad amarilla típica, verdosa o de tono rojizo. El color está relacionado con el contenido de minerales, polen y compuestos fenólicos.⁷³

Los ácidos y el pH: la gran dulzura de la miel enmascara en gran parte el sabor de los ácidos orgánicos presentes, los cuales representan aproximadamente el 0,5 % de los sólidos de este alimento. Los ácidos orgánicos son los responsables del bajo pH que se encuentra entre 3,5 a 5,5 en la miel y de la excelente estabilidad de la misma.⁷⁴

Vitaminas y minerales: El contenido vitamínico de una miel está directamente relacionado a la cantidad de polen; son estas la riboflavina, niacina, tiamina, piridoxina, ácido ascórbico y ácido pantoténico. El contenido mineral de la miel es altamente variable, de 0,02 % a 1,0 %, solo el potasio es aproximadamente la tercera

⁷² *Propiedades fisicoquímicas de la miel de abeja.* <http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/pu/bpdf/revet/n11a05noia.pdf> (28 de agosto de 2014).

⁷³ *Ibíd.*

⁷⁴ *Propiedades fisicoquímicas de la miel de abeja.* <http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/pu/bpdf/revet/n11a05noia.pdf> (28 de agosto de 2014).

parte de dicho contenido, la cantidad de potasio excede 10 veces a la de sodio, calcio y magnesio; los minerales menos abundantes en la miel son hierro, manganeso, cobre, cloro, fósforo, azufre y sílice.⁷⁵

Otros: Los sólidos insolubles son por lo general partículas de cera, insectos, material vegetal y polen y por ende auxinas que se encuentran en este último. El contenido de sólidos insolubles se determina al diluir una cantidad conocida de miel y filtrándola por un papel de filtro; se seca y pesa el mismo antes y después de filtrar.⁷⁶

1.3 Hipótesis

El tratamiento con una concentración de ácido indolbutírico (IBA) a 600 ppm con miel de abeja a 7,5% presenta los mejores resultados en cuanto al enraizamiento de estacas de cacao (*Theobroma cacao*), ya que proporciona una relación de 1:125 (auxinas/sacarosa) que promueve no solo la formación de raíces sino también la diferenciación vascular, importante para mantener a la estaca vigorosa, permitiendo la disponibilidad de nutrientes a la estaca.

Un período de tiempo de inmersión de 24 horas es el adecuado para permitir y obtener una inducción de raíces homogénea en la parte expuesta de la estaca y por consiguiente producir un sistema radicular denso.

⁷⁵ *Propiedades fisicoquímicas de la miel de abeja.*
http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/pu_bpdf/revet/n11a05noia.pdf (28 de agosto de 2014).

⁷⁶ *Ibíd.*

CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA

2.1 Diseño experimental

Se utilizó un diseño multifactorial completamente al azar con 4 repeticiones y 32 tratamientos; con un total de 128 unidades experimentales, cada una con una parcela bruta de 0,675 m² con 30 estacas y un área neta de 0,27 m² con 12 estacas. Con el objetivo de determinar el mejor tratamiento para el enraizamiento de estacas de cacao (*Theobroma cacao*), se analizó la interacción de cada factor a estudiar en la investigación.

El modelo estadístico que se utilizó fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + D_l + AB_{ij} + AC_{ik} + AD_{il} + BC_{jk} + BD_{jl} + CD_{kl} + ABC_{ijk} + ABD_{ijl} + BCD_{jkl} + ACD_{ikl} + ABCD_{ijkl} + E_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = es la observación l, en el nivel i del factor A, nivel j del factor B,

nivel k del factor C.

μ = media general.

A_i = efecto del nivel i del factor hormona (A).

B_j = efecto del nivel j del factor concentración (B).

C_k = efecto del nivel k del factor tiempo (C).

D_l = efecto del nivel l del factor miel de abeja (D).

AB_{ij} = efecto de la interacción del nivel i del factor hormona (A) y el nivel j del factor concentración (B).

AC_{ik} = efecto de la interacción del nivel i del factor hormona (A) y el nivel k del factor tiempo (C).

AD_{il} = efecto de la interacción del nivel i del factor hormona (A) y el nivel l del factor miel de abeja (D).

BC_{jk} = efecto de la interacción del nivel j del factor concentración (B) y el nivel k del factor tiempo (C).

BD_{jl} = efecto de la interacción del nivel j del factor concentración (B) y el nivel l del factor miel de abeja (D).

CD_{kl} = efecto de la interacción del nivel k del factor tiempo (C) y el nivel l del factor miel de abeja (D).

ABC_{ijk} = efecto de la interacción del nivel i del factor hormona (A), el nivel j del factor concentración (B) y el nivel k del factor tiempo (C).

ABD_{ijl} = efecto de la interacción del nivel i del factor hormona (A), el nivel j del factor concentración (B) y el nivel l del factor miel de abeja (D).

BCD_{jkl} = efecto de la interacción del nivel j del factor concentración (B), el nivel k del factor tiempo (C) y del nivel l del factor miel de abeja (D).

ACD_{ikl} = efecto de la interacción del nivel i del factor hormona (A), el nivel k del factor tiempo (C) y el nivel l del factor miel de abeja (D).

$ABCD_{ijkl}$ = efecto de la interacción del nivel i del factor hormona (A), el nivel j del factor concentración (B), el nivel k del factor tiempo (C) y el nivel l del factor miel de abeja (D).

E_{ijkl} = error experimental.

Los factores anteriormente descritos representan:

FACTOR A_i : Tipo de hormona

FACTOR B_j : Concentración hormonal

FACTOR C_k : Tiempo de inmersión

FACTOR D_l : Miel de abeja

2.2 Descripción de los tratamientos

2.2.1 Reguladores de crecimiento

- a) Ácido Indolbutirico (AIB)
- b) Ácido Naftalenácetico (ANA)

2.2.2 Concentraciones

- a) 100 ppm
- b) 200 ppm
- c) 400 ppm
- d) 600 ppm

2.2.3 Uso de miel de abeja en tratamientos

- a) Con miel de abeja (7,5 % única concentración utilizada)
- b) Sin miel de abeja

2.2.4 Tiempos de inmersión

- a) 24 horas
- b) 48 horas

2.2.5 Tratamientos

CUADRO 1
TRATAMIENTOS EVALUADOS

Trata- mientos	Hormona	Concentración Hormona (ppm)	Miel de abeja	Tiempo de inmersión (h)
1	AIB	100	con miel	24
2	AIB	100	con miel	48
3	AIB	100	sin miel	24
4	AIB	100	sin miel	48
5	AIB	200	con miel	24
6	AIB	200	con miel	48
7	AIB	200	sin miel	24
8	AIB	200	sin miel	48
9	AIB	400	con miel	24
10	AIB	400	con miel	48
11	AIB	400	sin miel	24
12	AIB	400	sin miel	48
13	AIB	600	con miel	24
14	AIB	600	con miel	48
15	AIB	600	sin miel	24
16	AIB	600	sin miel	48
17	ANA	100	con miel	24
18	ANA	100	con miel	48
19	ANA	100	sin miel	24
20	ANA	100	sin miel	48
21	ANA	200	con miel	24
22	ANA	200	con miel	48
23	ANA	200	sin miel	24
24	ANA	200	sin miel	48
25	ANA	400	con miel	24
26	ANA	400	con miel	48
27	ANA	400	sin miel	24
28	ANA	400	sin miel	48
29	ANA	600	con miel	24
30	ANA	600	con miel	48
31	ANA	600	sin miel	24
32	ANA	600	sin miel	48

Fuente: Investigación de campo, 2015.

***AIB** = Ácido Indolbutírico

***ANA** = Ácido Naftalenácetico

***ppm** = Partes por millón

***h** = Horas

2.2.6 Variables respuestas

- a) Porcentaje de enraizamiento por tratamiento (%)
- b) Longitud de raíces/planta (cm)
- c) Número de raíces/planta (unidad)
- d) Peso seco de raíces (gr)
- e) Número de brotes (unidad)
- f) Tiempo al enraizamiento (día)

2.3 Instalaciones

Se realizó la identificación, limpieza y reconstrucción de un área total de 172,8 m² de un vivero asimismo se reforzó con parales de madera y tensaron alambres. La cobertura utilizada malla de Sarán 75 %.

Los propagadores de enraizamiento fueron de 0,75 m x 28,8 m, con un alto de 50 cm al medio y 40 cm en los costados.

2.4 Material vegetal

El clon IMC-67 se caracteriza por ser un clon fino, aromático, con tolerancia a plagas y enfermedades (*Moniliophthora roreri*, *Moniliophthora perniciosa*, *Phytophthora sp.* y *Rosellinia sp.*) por lo que posee una alta productividad de calidad.

El material vegetal fue extraído de plantas jóvenes del clon IMC-67 y se seleccionaron estacas de ramas semileñosas de 35 cm de largo y un diámetro no menor a 1 cm, color verde, de la parte basal del árbol, con 5 hojas (que se cortaron a la mitad). A cada estaca se le dejó entre 2 a 3 yemas axilares vegetativas.

El tallo fue cortado en forma de bisel y sellado con cera para transporte.

2.5 Manejo del experimento

a) Elaboración del sustrato

El sustrato consistió en una mezcla de 22,67 kg de arena blanca, 11,33 kg de fibra de coco y 11,33 kg de abono orgánico y se transportó en costales de 45,35 kg cada uno.

b) Preparación de las bolsas enraizadoras

Se utilizaron bolsas de polietileno negras de 17 cm de diámetro por 30 cm de alto.

Se organizaron en hileras de 6 bolsas x 5 bolsas por tratamiento.

Una vez llenas y establecidas las bolsas de polietileno dentro del propagador, se realizó una desinfección química al sustrato con 20 gr de Etridiazol (Banrot 40 WP) por bomba de 18 000 ml.

c) Los reguladores se prepararon así:

Para la preparación de las concentraciones de los reguladores de crecimiento a utilizar se hizo lo siguiente:

- 1) Se pesaron los reguladores de crecimiento (Ácido Indolbutírico (IBA) (grado reactivo), y Ácido Naftalenacético (ANA) (grado

reactivo), y se prepararon soluciones madre para facilitar y agilizar la preparación de las concentraciones de reguladores de crecimiento según cada tratamiento (Cuadro 2).

- 2) Se pesaron las cantidades necesarias para la preparación de las soluciones madres, según las proporciones descritas en el cuadro 2.
- 3) Se agregó 250 ml de agua destilada en un Beaker de 1 000 ml.
- 4) El regulador de crecimiento fue añadido al Beaker con agua destilada según cada tratamiento.
- 5) Se utilizó Hidróxido de sodio (NaOH) al 1 molar para disolver los reguladores de crecimiento, agregando poco a poco gotas hasta llegar a la cantidad necesaria para la disolución con ayuda de un agitador magnético.
- 6) Se agitó y se aforó a 1 000 ml, para ajustar el pH de la dilución entre 6,5 – 6,7 con ayuda de Ácido Clorhídrico al 1 molar, se agregó gotas del mismo hasta balancear el pH.
- 7) Para obtener las soluciones con las concentraciones necesarias para los diferentes tratamientos en un recipiente aparte se vertieron 250 ml de solución madre junto a 750 ml de agua destilada. (Cuadro 2)
- 8) Para la solución madre de los tratamientos a los que se le adicionó miel de abeja al 7,5 %, se preparó 1 000 ml de solución, con 925 ml de agua destilada y 75 ml de miel de abeja.

- 9) Posteriormente, para los tratamientos con miel de abeja se utilizaron 250 ml de solución madre, 75 ml de miel de abeja al 7,5 % y 675 ml de agua destilada.
- 10) Luego se ajustó el pH entre 6,5 – 6,7, se agregó por gotas Ácido Clorhídrico al 1 molar hasta balancear la solución.

CUADRO 2

CONCENTRACIÓN DE REGULADORES DE CRECIMIENTO UTILIZADOS PARA EL ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS DE CACAO (*Theobroma cacao*) EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015

Concentraciones de IBA y ANA (ppm)	Concentraciones de IBA y ANA (mg/lt)	Soluciones madre de IBA y ANA (ppm)	Soluciones madre de IBA y ANA (mg/lt)
100	100	400	400
200	200	800	800
400	400	1 600	1 600
600	600	2 400	2 400

Fuente: Investigación de campo, 2015.

d) Manejo del material vegetal

1) Corte de las estacas

El material vegetal fue recolectado en horas de la mañana (5 am – 10 am). Los cortes de las estacas de las ramas del árbol de cacao (*Theobroma cacao*) se efectuaron por debajo de un nudo o yema y efectuados con mucho cuidado sin producir rajaduras.

Posteriormente se aplicó parafina sobre la superficie del corte de la estaca para sellarla y evitar así la deshidratación.

Luego del corte de las estacas, fueron contadas, ordenadas, humedecidas con agua y cubiertas con hojas de banano para preservarlas durante su transporte al área de siembra.

Se utilizaron un total de 3 840 estacas para la investigación, las cuales fueron cortadas en dos días, debido a que se manejaron dos tiempos de inmersión (24 h y 48 h); cortándose primero 1 920 estacas para la inmersión de 48 h y al día siguiente la otra mitad para la inmersión de 24 h.

2) Recorte del área foliar y tallo

A cada estaca se le dejó 5 hojas cortadas a la mitad, con el objetivo de lograr un mayor equilibrio entre los efectos positivos de la fotosíntesis y los efectos negativos de la transpiración.

El tallo fue cortado en forma de bisel simple con una longitud de 35 cm. Los cortes tanto de hojas como de tallo fueron realizados con tijera de podar de acero inoxidable.

3) Desinfección de las estacas

Luego de preparadas las estacas y antes de que fueran insertadas en el medio de enraizamiento se les sumergió en una solución de cloro débil de 5 ppm. Posteriormente se realizó una inmersión en fungicida Captan (N-tricloro- metiltio 4 ciclohexeno 1,2 dicarboximida) (3,5 gr/L/min).

4) Aplicación de reguladores de crecimiento

Las estacas fueron sumergidas en los diferentes tratamientos descritos anteriormente.

Para ello se identificaron los recipientes y se vertieron las soluciones.

Se utilizaron 6 recipientes de 500 ml por tratamiento y se agregaron 167 ml de solución hormonal. Cada recipiente tenía 20 estacas y se dejaron en inmersión (24 h y 48 h).

5) Siembra de estacas

Antes de la siembra de las estacas, el sustrato fue humedecido en su totalidad.

Posteriormente se abrió un agujero en el sustrato de 5 cm de profundidad para la colocación de las estacas de forma vertical, se evitó lastimar el área de aplicación de la hormona, por último se compactó el sustrato para evitar espacios entre sustrato y estaca.

Se aplicó 45 gr de Captan 50 WP (N-triclorometiltio-4-ciclohexeno-1,2-dicarboximida) por bomba de 18 000 ml) para proteger y prevenir la aparición de hongos en la estaca.

Por último se cubrió la cámara de enraizamiento, que consistía en una estructura simple de madera sobre el cual se colocó el polietileno transparente para evitar el contacto directo con las estacas.

Se sellaron los cuatro lados de la cámara enraizadora con tierra con el fin de evitar la entrada de animales domésticos o insectos que dañasen el material vegetal.

6) Limpias y riego

Se realizaron limpiezas dentro de la cámara de enraizamiento cuando se observó la aparición de malezas, para ello se mantuvo un constante monitoreo.

Para monitorear la humedad relativa se utilizó un sensor de humedad relativa durante los 40 días posteriores a la siembra para disminuir el estrés hídrico y propiciar un ambiente de propagación favorable para las estacas. Cuando era necesario estabilizar la humedad relativa dentro de la cámara húmeda, se realizaban nebulizaciones con ayuda de un atomizador manual y la implementación de recipientes con agua dentro de la estructura.

e) Toma de datos

1) Porcentaje de enraizamiento por tratamiento (%)

Esta variable fue obtenida a partir del conteo de estacas que presentaron desarrollo de raíces en cada uno de los tratamientos evaluados, fueron cuatro estacas para cada lectura en 3 intervalos de tiempo diferentes (15 d, 60 d y 100 d).

2) Longitud de raíces/planta (cm)

Se midieron las raíces desde su punto de emergencia hasta el extremo donde terminaban, se utilizó una escala en centímetros.

3) Número de raíces/planta (unidad)

Se llevo a cabo un conteo del número de raíces desarrolladas en las estacas en las 3 diferentes lecturas (15 d, 60 d y 100 d).

4) Peso fresco de raíces (gr)

Después de realizar el conteo de raíces, éstas se cortaron desde la base de emergencia en la estaca durante las diferentes lecturas (15 d, 60 d y 100 d), posteriormente se pusieron en algodón húmedo y fueron envueltas en papel aluminio e identificaron para su transporte.

Fueron llevadas a laboratorio para pesarlas en una balanza analítica, el dato de esta variable se obtuvo en gramos.

5) Peso seco de raíces (gr)

Se procedió a secar las raíces en el horno de convección a una temperatura aproximada de 40 °C – 60 °C, por 48 h para después pesarlas en una balanza analítica (para determinar la materia seca por tratamiento).

6) Número de brotes (unidad)

Se llevó a cabo el registro de esta variable a través del conteo de la presencia de nuevos brotes desarrollados de cada tratamiento evaluado durante las diferentes lecturas (15 d, 60 d y 100 d).

7) Tiempo al enraizamiento (observación)

Se llevó a cabo mediante la observación de resultados de cada tratamiento en 3 diferentes intervalos de tiempo (15 d, 60 d y 100 d).

2.6 Análisis de resultados

Los datos obtenidos en la medición de las variables fueron sometidos a un análisis de varianza con una significancia del 5 % para establecer si las diferencias entre los tratamientos eran significativas. Asimismo se determinó cuales tratamientos eran diferentes a través del comparador de medias de Tukey.

2.7 Material y equipo

- 1) Estacas de cacao
- 2) Sustratos
- 3) Bandejas
- 4) Reguladores de crecimiento (grado reactivo)
- 5) Tijeras de podar
- 6) Navaja
- 7) Fungicida
- 8) Madera
- 9) Clavos
- 10) Pita
- 11) Vasos
- 12) Atomizadores
- 13) Papel aluminio
- 14) Sarán
- 15) Cámara fotográfica
- 16) Sensor de humedad y temperatura
- 17) Polietileno transparente
- 18) Recipientes de plástico
- 19) Miel de abeja
- 20) Agua destilada
- 21) Agua
- 22) Papel periódico
- 23) Algodón

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo a los datos obtenidos en las diferentes variables evaluadas durante la fase de campo, a continuación se presentan los resultados finales, normalizando porcentajes y conteos mediante la transformación arcoseno \sqrt{x} para el posterior análisis de varianza (ANVA) con el fin de identificar diferencia significativa entre los tratamientos.

3.1 Porcentaje de enraizamiento por tratamiento (%)

Los resultados obtenidos para la variable porcentaje de enraizamiento a los 100 días después de la siembra, (resultado final de la investigación), fueron normalizados mediante la transformación arcoseno \sqrt{x} , para realizar el análisis de varianza (ANVA) con un nivel de significancia del 5 %, con el fin de verificar diferencias significativas entre cada tratamiento, lo cual puede observarse en el cuadro 3.

CUADRO 3

ANÁLISIS DE VARIANZA DE PORCENTAJE DE ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS DE CACAO (*Theobroma cacao*) COMO ÁCIDO INDOLBUTIRICO (IBA) Y ÁCIDO NAFTALENACÉTICO (ANA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	46676,8912	31	1505,7061	6,7931	1,8585
Tipo de hormona	255,2105	1	255,2105	1,1514	0,2859
Concentración hormonal	36344,6186	3	12114,8728	*54,6571	0
Tiempo de inmersión	2082,5444	1	2082,5444	*9,3955	0,0028
Miel de abeja	487,2661	1	487,2661	2,1983	0,1414
Tipo de hormona *concentración hormonal	1504,6562	3	501,5520	2,2627	0,0860
Tipo de hormona*tiempo de inmersión	58,0233	1	58,0233	0,2617	0,6100
Tipo de hormona*miel de abeja	4,2997	1	4,2997	0,0193	0,8895
Concentración hormonal*tiempo de inmersión	2679,4915	3	893,1638	*4,0295	0,0095
Concentración hormonal*miel de abeja	1789,2129	3	596,4043	*2,6907	0,0505
Tiempo de inmersión*miel de abeja	153,6066	1	153,6066	0,6930	0,4072
Tipo de hormona*concentración hormonal* tiempo de inmersión	92,9219	3	30,9739	0,1397	0,9359
Tipo de hormona* concentración hormonal*miel de abeja	757,3905	3	252,4635	1,1390	0,3373
Tipo de hormona*tiempo de inmersión*miel de abeja	138,1537	1	138,1537	0,6232	0,4317
Concentración hormonal*tiempo de inmersión miel de abeja	176,3833	3	58,7944	0,2652	0,8502
Tipo de hormona* concentración hormonal* tiempo de inmersión*miel de abeja	153,1113	3	51,0371	0,2302	0,8751
Error	21278,6157	96	221,6522		
Total	67955,5069	127			

Fuente: Investigación de campo, 2015.

* =Existen diferencias significativas.

De acuerdo con el cuadro 3, las diferencias entre los tratamientos evaluados son estadísticamente significativas, por lo que se procedió a realizar una prueba Tukey para aquellas fuentes de variación y revelar qué tratamientos son diferentes.

CUADRO 4

PRUEBA TUKEY, DE TIPO DE HORMONA, CONCENTRACIÓN HORMONAL, TIEMPO DE INMERSIÓN Y MIEL DE ABEJA PARA PORCENTAJE DE ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS DE CACAO (*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO INDOLBUTIRICO (IBA) Y ÁCIDO NAFTALENACETICO (ANA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015

TRATAMIENTOS		MEDIAS (%)	MEDIAS ARCOSENO	AGRUPACIÓN TUKEY			
T13	AIB / 600 ppm / Con miel / 24 h	83,33	72,35	A			
T29	ANA / 600 ppm / Con miel / 24 h	66,67	54,70	A	B		
T15	AIB / 600 ppm / Sin miel / 24 h	50,00	50,95	A	B	C	
T30	ANA / 600 ppm / Con miel / 48 h	41,66	36,17	A	B	C	
T16	AIB / 600 ppm / Sin miel / 48 h	33,33	35,24	A	B	C	
T14	AIB / 600 ppm / Con miel / 48 h	33,33	35,24	A	B	C	D
T31	ANA / 600 ppm / Sin miel / 24 h	32,20	31,30	A	B	C	D
T27	ANA / 400 ppm / Sin miel / 24 h	24,99	26,43	A	B	C	D
T9	AIB / 400 ppm / Con miel / 24 h	24,90	26,43	A	B	C	D
T25	ANA / 400 ppm / Con miel / 24 h	16,66	17,62		B	C	D
T28	ANA / 400 ppm / Sin miel / 48 h	16,66	17,62		B	C	D
T11	AIB / 400 ppm / Sin miel / 24 h	16,66	13,68			C	D
T32	ANA / 600 ppm / Sin miel / 48 h	16,66	13,68			C	D
T12	AIB / 400 ppm / Sin miel / 48 h	8,33	8,81			C	D
T10	AIB / 400 ppm / Con miel / 48 h	8,33	8,81			C	D
T26	ANA / 400 ppm / Con miel / 48 h	8,33	8,81			C	D
T5	AIB / 200 ppm / Con miel / 24 h	0,00	0,00				D
T4	AIB / 100 ppm / Sin miel / 48 h	0,00	0,00				D
T8	AIB / 200 ppm / Sin miel / 48 h	0,00	0,00				D
T6	AIB / 200 ppm / Con miel / 48 h	0,00	0,00				D
T7	AIB / 200 ppm / Sin miel / 24 h	0,00	0,00				D
T21	ANA / 200 ppm / Con miel / 24 h	0,00	0,00				D
T22	ANA / 200 ppm / Con miel / 48 h	0,00	0,00				D
T23	ANA / 200 ppm / Sin miel / 24 h	0,00	0,00				D
T2	AIB / 100 ppm / Con miel / 48 h	0,00	0,00				D
T19	ANA / 100 ppm / Sin miel / 24 h	0,00	0,00				D
T20	ANA / 100 ppm / Sin miel / 48 h	0,00	0,00				D
T24	ANA / 200 ppm / Sin miel / 48 h	0,00	0,00				D
T3	AIB / 100 ppm / Sin miel / 24 h	0,00	0,00				D
T1	AIB / 100 ppm / Con miel / 24 h	0,00	0,00				D
T17	ANA / 100 ppm / Con miel / 24 h	0,00	0,00				D
T18	ANA / 100 ppm / Con miel / 48 h	0,00	0,00				D

Fuente: Investigación de campo, 2015. (Diferencia mínima significativa 41,20251)

El mejor tratamiento para esta variable de porcentaje de enraizamiento fue el T13 (Ácido indolbutírico a 600 ppm, con miel a 24 h de inmersión) con una media de 83,33 % seguido por el segundo mejor tratamiento que fue el T29 (Ácido Naftalenacetico a 600 ppm con miel e inmersión de 24 h) con una media de 66,67 %.

En el cuadro 4 se puede apreciar que existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, las cuales no son suficientes para decir que uno es mejor que otro estadísticamente, pero al establecer una producción a gran escala, la diferencia que existe entre ambos tratamientos sería significativa debido al efecto del Ácido indolbutírico a nivel biológico.

Por lo que, el tratamiento T13 (Ácido indolbutírico a 600 ppm, con miel a una inmersión de 24 h) se considera el mejor tratamiento, ya que el efecto no solo depende de la concentración del regulador de crecimiento, sino también de sus características (transporte, síntesis, degradación). El ácido indolbutírico (AIB) se destaca por no ser fácilmente degradado por microorganismos, rayos de luz y por no poder disolverse en agua, encontrándose disponible más tiempo en el sitio de aplicación, por lo que su permanencia incrementa la efectividad del proceso de enraizamiento.

De esta forma el estímulo exógeno producido es más consistente, produce una modificación bioquímica a nivel celular; de acuerdo a la teoría del crecimiento ácido, esto se lleva a cabo al activar la electrogénica ATPasa, situada en la membrana fosfolipídica cuya función es la de excretar iones hidrógeno (H^+) hacia el espacio entre membrana y pared celular. Por lo que la concentración de hidrógeno (H^+) aumenta generando una disminución del pH, lo que da como resultado la activación enzimática que disminuye la rigidez de la pared celular y permite la entrada de agua en la vacuola, lo que provoca la elongación celular que da como resultado el crecimiento de raíces.⁷⁷

⁷⁷ Rojas Garcidueñas, Manuel y Homero Ramírez. *Control hormonal del desarrollo de las plantas*. México: Editorial Limusa, 1993.

CUADRO 5

PRUEBA TUKEY DE LA CONCENTRACIÓN HORMONAL EN LA VARIABLE PORCENTAJE DE ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS DE CACAO (*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO INDOLBUTIRICO (IBA) Y ÁCIDO NAFTALENACETICO (ANA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015

CONCENTRACIÓN HORMONAL (ppm)	MEDIAS	PRUEBA TUKEY		
600	41,2	A		
400	16,03		B	
200	0,00			C
100	0,00			C

Fuente: Elaboración de autor en base a datos de campo, 2015. (Diferencia mínima significativa 9,7536)

Las concentraciones altas propuestas en la investigación fueron las más eficientes en cuanto al porcentaje de enraizamiento, por su desempeño en la producción de raíces adventicias (Cuadro 5).

Ligado a esto, en el cuadro 6 se puede observar que los tratamientos independientemente del tipo de hormona, con concentraciones altas y miel de abeja, respondieron mejor, esto debido a las fuentes de carbono proporcionadas por la miel de abeja, las cuales fueron utilizadas para volver rígida la pared celular que se forma después de la división celular, junto a la síntesis de proteína y ARN para la rizogénesis (desarrollo de raíces adventicias).⁷⁸

⁸⁹ Hartmann, H y D. Kester, *Propagación de plantas. Principios y prácticas*. México: Editorial CECSA. 1990.

CUADRO 6

PRUEBA TUKEY DE LA INTERACCIÓN DE CONCENTRACIÓN HORMONAL Y MIEL DE ABEJA EN LA VARIABLE PORCENTAJE DE ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS DE CACAO (*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO INDOLBUTIRICO (IBA) Y ÁCIDO NAFTALENACETICO (ANA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015

CONCENTRACIÓN HORMONAL (ppm)	MIEL DE ABEJA	MEDIAS	PRUEBA TUKEY			
600	Con miel	49,61625	A			
600	Sin miel	32,79125		B		
400	Sin miel	16,63375		B	C	
400	Con miel	15,4175			C	D
200	Sin miel	0,00				D
100	Sin miel	0,00				D
100	Con miel	0,00				D
200	Con miel	0,00				D

Fuente: Investigación de campo, 2015. (Diferencia mínima significativa 16,3544)

En el cuadro 7 se observa que la inmersión de 24 h permitió que la estaca aprovechara la asimilación del regulador de crecimiento mejor que el material vegetal que estuvo inmerso durante 48 h.

Esto se atribuye a que en el segundo tiempo de inmersión, aumentó el estrés asociado a la evapotranspiración en esta etapa inicial de propagación vegetativa, que limitó los procesos fisiológicos de la estaca debido a que se genera pérdida de turgencia celular, reducción de la tasa de expansión celular, disminución de la

síntesis de pared celular, reducción de síntesis de proteínas y por ende una baja respuesta al enraizamiento, y la pérdida foliar⁷⁹

CUADRO 7

PRUEBA TUKEY DEL TIEMPO DE INMERSIÓN EN LA VARIABLE PORCENTAJE DE ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS DE CACAO (*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO INDOLBUTIRICO (IBA) Y ÁCIDO NAFTALENACETICO (ANA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015

TIEMPO DE INMERSIÓN (h)	MEDIAS	PRUEBA TUKEY	
24	18,34	A	
48	10,27		B

Fuente: Investigación de campo, 2015. (Diferencia mínima significativa 5,2331)

En el cuadro 8 se observa que entre las diferentes concentraciones que presentaron respuesta al enraizamiento, el mejor tiempo de inmersión fue el de 24 h, por ello se dice que el tiempo de inmersión de 48 h aumentó el estrés de algunas de las estacas de cacao (*Theobroma cacao*) por el calor, lo que causó una aceleración de la respiración, que provocó embolia en el xilema, y el rompimiento de la columna de agua que dificultó la recuperación del transporte en la planta, y comprometió el funcionamiento normal del metabolismo del material utilizado.

⁷⁹ H. Hartmann y D. Kester, *Propagación de plantas. Principios y prácticas*. México: Editorial CECSA. 1990.

CUADRO 8

PRUEBA TUKEY DE LA INTERACCIÓN DE CONCENTRACIÓN HORMONAL Y TIEMPO DE INMERSIÓN EN LA VARIABLE PORCENTAJE DE ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS DE CACAO (*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO INDOLBUTIRICO (IBA) Y ÁCIDO NAFTALENACETICO (ANA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015

CONCENTRACIÓN HORMONAL (ppm)	TIEMPO DE INMERSIÓN (h)	MEDIAS	PRUEBA TUKEY			
600	24	52,325	A			
600	48	30,0825		B		
400	24	21,03875		B	C	
400	48	11,0125			C	D
200	48	0,00				D
100	48	0,00				D
100	24	0,00				D
200	24	0,00				D

Fuente: Investigación de campo, 2015, (Diferencia mínima significativa 16,3544)

Además, también se vió afectado el transporte de auxinas endógenas, ya que estas se sintetizan en las hojas y son transportadas por el floema hasta la zona de enraizamiento, daño causado por la variabilidad de la temperatura dentro y fuera del propagador de enraizamiento, lo cual inhibió la capacidad de asimilación de las estacas de reaccionar ante el estímulo exógeno causado por el regulador de crecimiento tipo auxina junto a las fuentes de carbono y otras

sustancias orgánicas proporcionadas por la miel de abeja para dar inicio a la formación de raíces adventicias⁸⁰

La variabilidad obtenida en los resultados, también demuestra que la respuesta del material vegetal utilizado no fue homogénea, a pesar de que las condiciones para cada tratamiento evaluado fueron las mismas. Esta falta de homogeneidad es atribuida a cofactores internos para la producción de auxinas endógenas (complejo de sustancias indol y fenólicos junto con enzimas oxidativas) y carbohidratos que se encuentran involucrados en el proceso de formación de raíces adventicias, debido a la cantidad de reservas alimenticias y/o la incapacidad para generarlas por medio de la fotosíntesis⁸¹.

También esto se atribuye a que las estacas provenían de diferentes ramas a diferente altitud del árbol y eso influye debido a que tanto nutrientes como hormonas no están uniformemente distribuidos por todo el árbol.

⁸⁰ Frank Salisbury y Cleon W., Ross. *Fisiología Vegetal*. México: Grupo Editorial Iberoamérica, 1994.

⁸¹ July, W. *Comportamiento de estacas de tres variedades de cacao (Theobroma cacao L.) con tres tipos de fitohormonas en la región de Alto-Beni*. Tesis Grado. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia: Facultad de Ciencias Agrícolas, 2002.

3.2 Longitud de raíces (cm)

CUADRO 9

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA LONGITUD DE RAICES EN ESTACAS DE CACAO (*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO INDOLBUTIRICO (IBA) Y ÁCIDO NAFTALENACETICO (ANA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	776,4796	31	25,0477	17,0892	0
Tipo de hormona	10,4767	1	10,4767	*7,1479	0,0088
Concentración hormonal	659,9071	3	219,9690	*150,0773	0
Tiempo de inmersión	33,2724	1	33,2724	22,7006	6,7154
Miel de abeja	0,1815	1	0,1815	0,1238	0,7256
Tipo de hormona *concentración hormonal	13,7891	3	4,5963	*3,1359	0,0290
Tipo de hormona*tiempo de inmersión	0,4418	1	0,4418	0,3014	0,5842
Tipo de hormona*miel de abeja	0,1596	1	0,1596	0,1088	0,7421
Concentración hormonal*tiempo de inmersión	50,4949	3	16,8316	11,4836	1,6855
Concentración hormonal*miel de abeja	1,4471	3	0,4823	0,3291	0,8043
Tiempo de inmersión*miel de abeja	0,2380	1	0,2380	0,1624	0,6878
Tipo de hormona*concentración hormonal* tiempo de inmersión	0,4751	3	0,1583	0,1080	0,9552
Tipo de hormona* concentración hormonal*miel de abeja	3,6471	3	1,2157	0,8294	0,4808
Tipo de hormona*tiempo de inmersión*miel de abeja	0,0979	1	0,0979	0,0667	0,7966
Concentración hormonal*tiempo de inmersión miel de abeja	1,6601	3	0,5533	0,3775	0,7693
Tipo de hormona* concentración hormonal* tiempo de inmersión*miel de abeja	0,1909	3	0,0636	0,0434	0,9878
Error	140,7076	96	1,4657		
Total	917,1872	127			

Fuente: Investigación de campo, 2015.

* =Existen diferencias significativas.

El análisis de varianza de las interacciones (cuadro 9) para la variable longitud de raíces, muestra que existe diferencia estadística significativa entre las diferentes fuentes de variación, es decir, que al menos una de las interacciones influye más dentro de cada tratamiento, para lo cual se procedió a determinar qué tratamientos son los mejores realizando una prueba Tukey.

CUADRO 10

PRUEBA TUKEY, DE TIPO DE HORMONA, CONCENTRACIÓN HORMONAL, TIEMPO DE INMERSIÓN Y MIEL DE ABEJA PARA LONGITUD DE RAICES EN ESTACAS DE CACAO (*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO INDOLBUTIRICO (IBA) Y ÁCIDO NAFTALENACETICO (ANA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015

TRATAMIENTOS		MEDIAS (cm)	AGRUPACIÓN TUKEY			
T15	AIB / 600 ppm / Sin miel / 24 h	8,2	A			
T13	AIB / 600 ppm / Con miel / 24 h	7,74	A	B		
T29	ANA / 600 ppm / Con miel / 24 h	6,37	A	B	C	
T31	ANA / 600 ppm / Sin miel / 24 h	5,98	A	B	C	
T14	AIB / 600 ppm / Con miel / 48 h	4,75		B	C	D
T16	AIB / 600 ppm / Sin miel / 48 h	4,64		B	C	D
T30	ANA / 600 ppm / Con miel / 48 h	4,14			C	D E
T9	AIB / 400 ppm / Con miel / 24 h	2,47				D E
T32	ANA / 600 ppm / Sin miel / 48 h	2,44				D E
T11	AIB / 400 ppm / Sin miel / 24 h	2,11				D E
T27	ANA / 400 ppm / Sin miel / 24 h	1,5				D E
T25	ANA / 400 ppm / Con miel / 24 h	1,14				E
T10	AIB / 400 ppm / Con miel / 48 h	1,02				E
T12	AIB / 400 ppm / Sin miel / 48 h	0,99				E
T28	ANA / 400 ppm / Sin miel / 48 h	0,87				E
T26	ANA / 400 ppm / Con miel / 48 h	0,33				
T7	AIB / 200 ppm / Sin miel / 24 h	0,00				
T8	AIB / 200 ppm / Sin miel / 48 h	0,00				
T4	AIB / 100 ppm / Sin miel / 48 h	0,00				
T3	AIB / 100 ppm / Sin miel / 24 h	0,00				
T18	ANA / 100 ppm / Con miel / 48 h	0,00				
T19	ANA / 100 ppm / Sin miel / 24 h	0,00				
T5	AIB / 200 ppm / Con miel / 24 h	0,00				
T6	AIB / 200 ppm / Con miel / 48 h	0,00				
T2	AIB / 100 ppm / Con miel / 48 h	0,00				
T20	ANA / 100 ppm / Sin miel / 48 h	0,00				
T17	ANA / 100 ppm / Con miel / 24 h	0,00				
T1	AIB / 100 ppm / Con miel / 24 h	0,00				
T21	ANA / 200 ppm / Con miel / 24 h	0,00				
T24	ANA / 200 ppm / Sin miel / 48 h	0,00				
T23	ANA / 200 ppm / Sin miel / 24 h	0,00				
T22	ANA / 200 ppm / Con miel / 48 h	0,00				

Fuente: Investigación de campo, 2015, (Diferencia mínima significativa 3,3505)

En el cuadro 10 se observa que el mejor tratamiento fue T15 (Ácido Indolbutírico a 600 ppm, sin miel e inmersión de 24 h) presentó una media de 8,2 seguido por el segundo tratamiento T13 (Ácido Indolbutírico a 600 ppm, con miel e inmersión de 24 h) con una media de 7,74.

CUADRO 11

PRUEBA TUKEY DEL TIPO DE HORMONA PARA LA VARIABLE LONGITUD DE RAICES EN ESTACAS DE CACAO (*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO INDOLBUTIRICO (IBA) Y ÁCIDO NAFTALENACETICO (ANA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015

TIPO DE HORMONA	MEDIAS	PRUEBA TUKEY	
IBA	2	A	
ANA	1,42		B

Fuente: Investigación de campo, 2015, (Diferencia mínima significativa 3,3505)

En el cuadro 11 existe una diferencia significativa entre ambos tipos de hormona; el Ácido Indolbutírico (IBA) es mejor por sus características a nivel biológico a comparación del Ácido Naftalenacetico (ANA).

Asimismo los tratamientos con las concentraciones más altas de ácido Indolbutírico son más eficientes en su desempeño en la estimulación de la división y expansión celular (Cuadro 12).

CUADRO 12

PRUEBA TUKEY DE LA CONCENTRACIÓN HORMONAL PARA LA VARIABLE LONGITUD DE RAICES EN ESTACAS DE CACAO (*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO INDOLBUTIRICO (IBA) Y ÁCIDO NAFTALENACETICO (ANA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H INMERSIÓN EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015

CONCENTRACIÓN HORMONAL (ppm)	MEDIAS	PRUEBA TUKEY		
600	5,53	A		
400	1,3		B	
200	0,0			C
100	0,0			C

Fuente: Investigación de campo, 2015, (Diferencia mínima significativa 0,7931)

Según la teoría del crecimiento ácido, las concentraciones altas de reguladores de crecimiento, (Cuadro 13) influyen en la transformación profunda de los tejidos de la estaca, en donde el transporte de iones de hidrogeno (H^+) del citoplasma a la pared celular, deshace los enlaces puente entre las moléculas de celulosa a partir de la acidez generada, permiten así la plasticidad de la pared y entra por osmosis el agua a la vacuola, lo que aumenta la turgencia; por lo que la célula se alarga para dar origen a las estructuras meristemáticas que se transformarán en primordios radicales, son una solución eficaz en la elongación de raíces adventicias⁸².

⁸² H. Hartmann y D. Kester, *Propagación de plantas. Principios y prácticas*. México: Editorial CECSA. 1990.

CUADRO 13

PRUEBA TUKEY DE LA INTERACCIÓN DE TIPO DE HORMONA Y CONCENTRACIÓN HORMONAL PARA LA VARIABLE LONGITUD DE RAICES EN ESTACAS DE CACAO (*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO INDOLBUTIRICO (IBA) Y ÁCIDO NAFTALENACETICO (ANA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015

TIPO DE HORMONA	CONCENTRACIÓN HORMONAL (ppm)	MEDIAS	PRUEBA TUKEY			
IBA	600	6,33	A			
ANA	600	4,73		B		
IBA	400	1,65			C	
ANA	400	0,96			C	D
IBA	200	0,0				D
IBA	100	0,0				D
ANA	100	0,0				D
ANA	200	0,0				D

Fuente: Investigación de campo, 2015, (Diferencia mínima significativa 1,3299)

Existe variabilidad en los resultados, según Leakey R., pues el potencial rizogénico del material utilizado juega un papel muy importante en la elongación celular, debido a que la capacidad de respuesta del material ante un estímulo exógeno, se deriva del estado fisiológico de la estaca, lo que quiere decir que su reserva nutricional, su capacidad de generar su alimento por medio de la fotosíntesis y el potencial de las células de dividirse y regenerarse (totipotencia) es trascendental, ya que en el proceso de formación de raíces tanto los carbohidratos, como la capacidad de las células de dividirse y diferenciarse junto con la ayuda de la hormona, promueven el crecimiento de la raíz⁸³.

⁸³Robert Leakey. *The capacity for vegetative propagation in trees. Attributes of trees as crop plants.* Abbots Ripton, Institute of Terrestrial Ecology, 1985.

Es beneficioso que una planta producida a través de estacas obtenga una mayor longitud en sus raíces adventicias, debido a que tendrá un mejor anclaje al suelo, una mejor absorción de agua y nutrientes, pero también hay que tener presente que esta variable se encuentra aunada con el mayor número de raíces, ya que la combinación de ambas características permitirán la sobrevivencia de la planta en condiciones adversas (ej. fuertes vientos, pendientes poco pronunciadas, etc.) desde el momento de su trasplante en campo como a lo largo de su vida productiva.

El uso de la miel de abeja no muestra influencia en la longitud de las raíces obtenidas, por lo que Cabrera Villa a través de su estudio sobre la miel de abeja en la propagación vegetativa de cacao (*Theobroma cacao*) a través del enraizamiento de estacas, establece que la miel de abeja solamente contribuye a promover la formación de callo (conjunto de células no diferenciadas) y aseguran la formación de raíces adventicias.⁸⁴

⁸⁴ *Miel de abeja como enraizador de estacas de cacao*. <http://books.google.com.gt/books?id=Rivaqh2UopIC&pg=RA1PA26&lpg=RA1PA26&dq=miel+de+abeja+en+propagaci%C3%B3n+vegetativa+de+cacao+cabrera+villa&source=bl&ots=DFE5VnTxuj&sig=dmt2pRFNYS1EEEmKB3fxSMzKhdQ&hl=e419&sa=X&ei=Ft9ZVK7yLsWbNsOzg6gK&vedCCEQ6AEwAg#v=onepage&q=miel%20de%20abeja%20en%20propagaci%C3%B3n%20vegetativa%20de%20cacao%20cabrera%20villa&f=false> (3 de septiembre de 2014).

3.3 Número de raíces (unidad)

CUADRO 14

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL NÚMERO DE RAICES EN ESTACAS DE CACAO (*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO INDOLBUTIRICO (IBA) Y ÁCIDO NAFTALENACETICO (ANA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	25983,3288	31	838,1718	11,2988	0
Tipo de hormona	360,6962	1	360,6962	*4,8623	0,0298
Concentración hormonal	20706,1437	3	6902,0478	*93,0418	0
Tiempo de inmersión	1059,8983	1	1059,8983	*14,2877	0,0002
Miel de abeja	1,9527	1	1,9527	0,0263	0,8714
Tipo de hormona *concentración hormonal	1445,8221	3	481,9407	*6,4967	0,0004
Tipo de hormona*tiempo de inmersión	19,5703	1	19,5703	0,2638	0,6086
Tipo de hormona*miel de abeja	2,9251	1	2,9251	0,0394	0,8430
Concentración hormonal*tiempo de inmersión	1469,9102	3	489,9700	*6,6049	0,0004
Concentración hormonal*miel de abeja	142,5827	3	47,5275	0,6406	0,5906
Tiempo de inmersión*miel de abeja	116,8347	1	116,8347	1,5749	0,2125
Tipo de hormona*concentración hormonal* tiempo de inmersión	124,5047	3	41,5015	0,5594	0,6430
Tipo de hormona* concentración hormonal*miel de abeja	110,3324	3	36,7774	0,4957	0,6860
Tipo de hormona*tiempo de inmersión*miel de abeja	22,8741	1	22,8741	0,3083	0,5799
Concentración hormonal*tiempo de inmersión miel de abeja	370,8784	3	123,6261	1,6665	0,1793
Tipo de hormona* concentración hormonal* tiempo de inmersión*miel de abeja	28,4025	3	9,4675	0,1276	0,9435
Error	7121,4864	96	74,1821		

Fuente: Investigación de campo, 2015.

* =Existen diferencias significativas.

De acuerdo al cuadro 14, existe diferencia estadística significativa entre las fuentes de variación, es decir, que al menos una de estas es diferente, por lo que para determinar cuáles son los mejores tratamientos, se realizó una prueba Tukey.

CUADRO 15

PRUEBA TUKEY, DEL TIPO DE HORMONA, CONCENTRACIÓN HORMONAL, TIEMPO DE INMERSIÓN Y MIEL DE ABEJA PARA NÚMERO DE RAICES EN ESTACAS DE CACAO (*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO INDOLBUTIRICO (IBA) Y ÁCIDO NAFTALENACETICO (ANA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015

TRATAMIENTOS		MEDIAS (UNIDAD)	AGRUPACIÓN TUKEY				
T13	AIB / 600 ppm / Con miel / 24 h	50,62	A				
T29	ANA / 600 ppm / Con miel / 24 h	39,51	A	B			
T15	AIB / 600 ppm / Sin miel / 24 h	39,06	A	B			
T16	AIB / 600 ppm / Sin miel / 48 h	36,7	A	B	C		
T31	ANA / 600 ppm / Sin miel / 24 h	28,53	A	B	C	D	
T14	AIB / 600 ppm / Con miel / 48 h	28,09	A	B	C	D	
T27	ANA / 400 ppm / Sin miel / 24 h	16,61		B	C	D	E
T9	AIB / 400 ppm / Con miel / 24 h	13,45			C	D	E
T32	ANA / 600 ppm / Sin miel / 48 h	13,36			C	D	E
T30	ANA / 600 ppm / Con miel / 48 h	13,28			C	D	E
T11	AIB / 400 ppm / Sin miel / 24 h	11,79				D	E
T28	ANA / 400 ppm / Sin miel / 48 h	9,89				D	E
T25	ANA / 400 ppm / Con miel / 24 h	9,68				D	E
T26	ANA / 400 ppm / Con miel / 48 h	5,49				D	E
T12	AIB / 400 ppm / Sin miel / 48 h	5,28				D	E
T10	AIB / 400 ppm / Con miel / 48 h	5,07				D	E
T19	ANA / 100 ppm / Sin miel / 24 h	0,00					E
T18	ANA / 100 ppm / Con miel / 48 h	0,00					E
T17	ANA / 100 ppm / Con miel / 24 h	0,00					E
T8	AIB / 200 ppm / Sin miel / 48 h	0,00					E
T4	AIB / 100 ppm / Sin miel / 48 h	0,00					E
T7	AIB / 200 ppm / Sin miel / 24 h	0,00					E
T2	AIB / 100 ppm / Con miel / 48 h	0,00					E
T6	AIB / 200 ppm / Con miel / 48 h	0,00					E
T5	AIB / 200 ppm / Con miel / 24 h	0,00					E
T20	ANA / 100 ppm / Sin miel / 48 h	0,00					E
T1	AIB / 100 ppm / Con miel / 24 h	0,00					E
T3	AIB / 100 ppm / Sin miel / 24 h	0,00					E
T21	ANA / 200 ppm / Con miel / 24 h	0,00					E
T22	ANA / 200 ppm / Con miel / 48 h	0,00					E
T23	ANA / 200 ppm / Sin miel / 24 h	0,00					E
T24	ANA / 200 ppm / Sin miel / 48 h	0,00					E

Fuente: Investigación de campo, 2015, (Diferencia mínima significativa 23,8362)

Según la prueba Tukey para esta variable (Cuadro 15) indica que el tratamiento T13 (Ácido indolbutírico a 600 ppm inmersión de 24 h) es el mejor, con una media de 50,62, seguido por el tratamiento T29 (Ácido naftalenacético a 600 ppm, con miel e inmersión de 24 h) con una media de 39,51.

CUADRO 16

PRUEBA TUKEY DEL TIPO DE HORMONA EN LA VARIABLE NÚMERO DE RAICES EN ESTACAS DE CACAO (*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO INDOLBUTIRICO (IBA) Y ÁCIDO NAFTALENACETICO (ANA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015

TIPO DE HORMONA	MEDIAS	PRUEBA TUKEY	
IBA	11,88	A	
ANA	8,52		B

Fuente: Investigación de campo, 2015, (Diferencia mínima significativa 3,0274)

Los resultados obtenidos indican que al aplicar ácido indolbutírico junto con miel de abeja en un período de 24 h de inmersión, se obtuvo un mayor número de raíces, debido a las características de la hormona (Cuadro 16) de poseer una movilización lenta, manteniéndose más tiempo en su punto de aplicación promoviendo mayor desarrollo radicular.⁸⁵

⁸⁵ Manuel Rojas Garcidueñas y Homero Ramírez. *Control hormonal del desarrollo de las plantas*. México: Editorial Limusa, 1993.

CUADRO 17

PRUEBA TUKEY DE LA CONCENTRACIÓN HORMONAL EN LA VARIABLE NÚMERO DE RAICES EN ESTACAS DE CACAO (*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO INDOLBUTIRICO (IBA) Y ÁCIDO NAFTALENACETICO (ANA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015

CONCENTRACIÓN HORMONAL (ppm)	MEDIAS	PRUEBA TUKEY		
600	31,14	A		
400	9,66		B	
200	0,00			C
100	0,00			C

Fuente: Investigación de campo, 2015, (Diferencia mínima significativa 5,6426)

A pesar de que las concentraciones altas estipuladas en la investigación fueron las que mayor respuesta produjeron para la inducción al enraizamiento (Cuadro 17) y que el Ácido Indolbutirico (IBA) posee una acción localizada para la estimulación de raíces, las diferencias entre los tratamientos con concentraciones altas, se ven estrechamente ligados a la capacidad de respuesta de cada estaca, ya que las reservas alimenticias y el efecto de las hormonas endógenas se encuentran variables en las estacas, de modo que la reacción no fue uniforme.

Lo que puede inferirse en el tratamiento T13 (Ácido Indolbutírico a 600 ppm, con miel e inmersión de 24 h) es que la miel de abeja aporta sustancias requeridas para la formación de raíces adventicias, convirtiéndose en un coadyuvante del Ácido Indolbutírico (IBA) al ser una solución altamente concentrada en azúcares de fácil asimilación como la glucosa, la sacarosa y vitaminas del complejo B, que según Salisbury F. son necesarias para el

desarrollo de un mayor número de raíces, debido a que son fuentes de energía de varios procesos celulares en la estaca ⁸⁶.

CUADRO 18

**PRUEBA TUKEY DEL TIEMPO DE INMERSIÓN EN LA VARIABLE
NÚMERO DE RAÍCES EN ESTACAS DE CACAO (*Theobroma
cacao*) CON ÁCIDO INDOLBUTIRICO (IBA) Y ÁCIDO
NAFTALENACETICO (ANA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H
Y 48 H DE INMERSIÓN EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V.,
2015**

TIEMPO DE INMERSIÓN (h)	MEDIAS	PRUEBA TUKEY	
24	13,08	A	
48	7,32		B

Fuente: Investigación de campo, 2015, (Diferencia mínima significativa 3,0274)

Se puede observar en el cuadro 18 que para esta variable de número de raíces el mejor tiempo de inmersión fue el de 24 h, debido a que las estacas sufrieron menos estrés por las altas temperaturas, permitiendo que el material vegetal respondiera a los estímulos exógenos con más eficiencia para la producción de un mayor número de raíces, que es el objetivo para la sobrevivencia de las estacas, tanto en vivero como en el período de aclimatación en campo definitivo para la absorción de agua y nutrientes.

⁸⁶Frank Salisbury y Cleon W., Ross. *Fisiología Vegetal*. México: Grupo Editorial Iberoamérica, 1994.

CUADRO 19

PRUEBA TUKEY DE LA INTERACCIÓN DE TIPO DE HORMONA Y CONCENTRACIÓN HORMONAL EN LA VARIABLE NÚMERO DE RAICES EN ESTACAS DE CACAÓ (*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO INDOLBUTIRICO (IBA) Y ÁCIDO NAFTALENACETICO (ANA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015

TIPO DE HORMONA	CONCENTRACIÓN HORMONAL (ppm)	MEDIAS	PRUEBA TUKEY			
IBA	600	38,62	A			
ANA	600	23,67		B		
ANA	400	10,42			C	
IBA	400	8,9			C	D
IBA	200	0,00				D
IBA	100	0,00				D
ANA	100	0,00				D
ANA	200	0,00				D

Fuente: Investigación de campo, 2015, (Diferencia mínima significativa 5,6426)

Para obtener mayor número de raíces también hay que considerar la interacción entre el tipo de hormona y la concentración hormonal, ya que con el Ácido Indolbutírico (IBA) a una concentración de 600 ppm se produjo un estímulo exógeno que permitió una mayor producción de raíces, lo cual es primordial para el éxito del enraizamiento, ya que de la cantidad del número de raíces se obtienen plantas mejor adaptadas en campo.

CUADRO 20

PRUEBA TUKEY DE LA INTERACCIÓN DE CONCENTRACIÓN HORMONAL Y TIEMPO DE INMERSIÓN EN LA VARIABLE NÚMERO DE RAICES EN ESTACAS DE CACAO (*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO INDOLBUTIRICO (IBA) Y ÁCIDO NAFTALENACETICO (ANA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015

CONCENTRACIÓN HORMONAL (ppm)	TIEMPO DE INMERSIÓN (h)	MEDIAS	PRUEBA TUKEY			
600	24	39,43	A			
600	48	22,86		B		
400	24	12,88			C	
400	48	6,43			C	D
200	48	0,00				D
100	48	0,00				D
100	24	0,00				D
200	24	0,00				D

Fuente: Investigación de campo, 2015, (Diferencia mínima significativa 9.4612)

En el cuadro 20 se observa que en la interacción entre la mayor concentración hormonal y una inmersión de 24 h se obtiene una mayor cantidad de raíces, importante para el anclaje y/o soporte de las nuevas plantas obtenidas a partir de esta técnica de propagación vegetativa, debido a que carecen de una raíz principal o pivotante, por lo que se requiere un sistema radicular adventicio abundante para garantizar el desarrollo de las nuevas plantas.

3.4 Peso seco de raíces (gr)

CUADRO 21

**ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PESO SECO DE RAICES EN
ESTACAS DE CACAO (*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO
INDOLBUTIRICO (IBA) Y ÁCIDO NAFTALENACETICO (ANA)
CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN EN
LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015**

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	91,7261	31	2,9589	*14,2668	0
Tipo de hormona	2,4475	1	2,4475	*11,8013	0,0008
Concentración hormonal	40,4909	3	13,4967	65,0767	0
Tiempo de inmersión	6,2216	1	6,2216	29,9985	3,4639
Miel de abeja	1,7298	1	1,7298	*8,3405	0,0047
Tipo de hormona *concentración hormonal	6,9102	3	2,3034	11,1062	2,5320
Tipo de hormona*tiempo de inmersión	0,2064	1	0,2064	0,9952	0,3209
Tipo de hormona*miel de abeja	0,9453	1	0,9453	*4,5579	0,0353
Concentración hormonal*tiempo de inmersión	16,7030	3	5,5676	26,8454	1,0769
Concentración hormonal*miel de abeja	5,4740	3	1,8246	8,7979	3,2747
Tiempo de inmersión*miel de abeja	1,445	1	1,445	*6,9673	0,0096
Tipo de hormona*concentración hormonal* tiempo de inmersión	0,4296	3	0,1432	0,6905	0,5599
Tipo de hormona* concentración hormonal*miel de abeja	2,3377	3	0,7792	*3,7572	0,0133
Tipo de hormona*tiempo de inmersión*miel de abeja	0,5724	1	0,5724	2,7601	0,0999
Concentración hormonal*tiempo de inmersión miel de abeja	4,2506	3	1,4168	*6,8316	0,0003
Tipo de hormona* concentración hormonal* tiempo de inmersión*miel de abeja	1,5624	3	0,5208	2,5112	0,0632
Error	19,9101	96	0,2073		
Total	111,6363	127			

Fuente: Investigación de campo, 2015.

* =Existen diferencias significativas.

Se puede observar que el análisis de varianza de las distintas fuentes de variación para la variable peso de raíces, muestra que existe una diferencia significativa entre estas, por lo cual se procedió a realizar una prueba de Tukey.

CUADRO 22

PRUEBA TUKEY, DEL TIPO DE HORMONA, CONCENTRACIÓN HORMONAL, TIEMPO DE INMERSIÓN Y MIEL DE ABEJA PARA PESO SECO DE RAICES EN ESTACAS DE CACAO (*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO INDOLBUTIRICO (IBA) Y ÁCIDO NAFTALENACETICO (ANA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015

TRATAMIENTOS		MEDIAS (gr)	AGRUPACIÓN TUKEY			
T13	AIB / 600 ppm / Con miel / 24 h	4,33	A			
T29	ANA / 600 ppm / Con miel / 24 h	1,81		B		
T15	AIB / 600 ppm / Sin miel / 24 h	1,38		B	C	
T31	ANA / 600 ppm / Sin miel / 24 h	1,17		B	C	
T14	AIB / 600 ppm / Con miel / 48 h	1		B	C	D
T16	AIB / 600 ppm / Sin miel / 48 h	0,77		B	C	D
T9	AIB / 400 ppm / Con miel / 24 h	0,2			C	D
T27	ANA / 400 ppm / Sin miel / 24 h	0,14			C	D
T11	AIB / 400 ppm / Sin miel / 24 h	0,14			C	D
T28	ANA / 400 ppm / Sin miel / 48 h	0,1				D
T32	ANA / 600 ppm / Sin miel / 48 h	0,09				D
T30	ANA / 600 ppm / Con miel / 48 h	0,07				D
T25	ANA / 400 ppm / Con miel / 24 h	0,06				D
T10	AIB / 400 ppm / Con miel / 48 h	0,06				D
T12	AIB / 400 ppm / Sin miel / 48 h	0,05				D
T26	ANA / 400 ppm / Con miel / 48 h	0,04				D
T8	AIB / 200 ppm / Sin miel / 48 h	0,00				D
T7	AIB / 200 ppm / Sin miel / 24 h	0,00				D
T6	AIB / 200 ppm / Con miel / 48 h	0,00				D
T5	AIB / 200 ppm / Con miel / 24 h	0,00				D
T4	AIB / 100 ppm / Sin miel / 48 h	0,00				D
T3	AIB / 100 ppm / Sin miel / 24 h	0,00				D
T20	ANA / 100 ppm / Sin miel / 48 h	0,00				D
T2	AIB / 100 ppm / Con miel / 48 h	0,00				D
T19	ANA / 100 ppm / Sin miel / 24 h	0,00				D
T18	ANA / 100 ppm / Con miel / 48 h	0,00				D
T24	ANA / 200 ppm / Sin miel / 48 h	0,00				D
T23	ANA / 200 ppm / Sin miel / 24 h	0,00				D
T21	ANA / 200 ppm / Con miel / 24 h	0,00				D
T22	ANA / 200 ppm / Con miel / 48 h	0,00				D
T1	AIB / 100 ppm / Con miel / 24 h	0,00				D
T17	ANA / 100 ppm / Con miel / 24 h	0,00				D

Fuente: Investigación de campo, 2015, (Diferencia mínima significativa 1,2606)

El cuadro 22 indica que el tratamiento T13 (Ácido Indolbutírico a 600 ppm, con miel e inmersión de 24 h) supera ampliamente al segundo mejor tratamiento T29 (Ácido Naftalenacético a 600 ppm con miel e inmersión de 24 h) resultados de la prueba de Tukey.

El mejor resultado del tratamiento T13 (Ácido indolbutírico a 600 ppm, con miel e inmersión de 24 h) está estrechamente relacionado con las variables: número de raíces y mayor longitud de raíces, coinciden en tener un sistema de raíces adventicias mayor con un buen peso de materia seca desarrollada.

Esto debido a que tanto el tipo de hormona (Ácido indolbutírico (IBA)) (Cuadro 23) y la concentración hormonal (Cuadro 24) propició, según la teoría del crecimiento ácido, la división celular y la elongación del desarrollo de un mayor sistema radicular, sin daños ni deformaciones, lo que también implica que no hubo incidencia de vitrificación (que es la alteración de la apariencia, tamaño y forma de raíces formadas) como efecto secundario de los reguladores de crecimiento, por lo que no compromete el proceso de aclimatación en campo de la nueva planta obtenida, ya que sería capaz de sobrevivir al estrés provocado en dicha etapa.

CUADRO 23

PRUEBA TUKEY DEL TIPO DE HORMONA DE LA VARIABLE PESO SECO DE RAICES EN ESTACAS DE CACAO (*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO INDOLBUTIRICO (IBA) Y ÁCIDO NAFTALENACETICO (ANA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015

TIPO DE HORMONA	MEDIAS	PRUEBA TUKEY	
IBA	0,49	A	
ANA	0,22		B

Fuente: investigación de campo, 2015, (Diferencia mínima significativa 0,1600)

CUADRO 24

PRUEBA TUKEY DE LA CONCENTRACIÓN HORMONAL EN LA VARIABLE PESO SECO DE RAICES EN ESTACAS DE CACAO (*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO INDOLBUTIRICO (IBA) Y ÁCIDO NAFTALENACETICO (ANA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015

CONCENTRACIÓN HORMONAL (ppm)	Medias	PRUEBA TUKEY	
600	1,33	A	
400	0,1		B
200	0,00		B
100	0,00		B

Fuente: Investigación de campo, 2015, (Diferencia mínima significativa 0,2983)

La miel de abeja fue una fuente de variación significativa para la variable peso seco de raíces, eso debido a que fue una fuente de carbono que favoreció la división celular durante la formación de callo, y por consiguiente la formación de zonas meristemáticas, para la mayor producción de raíces adventicias.

CUADRO 25

PRUEBA TUKEY DE LA MIEL DE ABEJA EN LA VARIABLE PESO SECO DE RAICES EN ESTACAS DE CACAO (*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO INDOLBUTIRICO (IBA) Y ÁCIDO NAFTALENACETICO (ANA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015

MIEL DE ABEJA	MEDIAS	PRUEBA TUKEY	
Con miel	0,47	A	
Sin miel	0,24		B

Fuente: Investigación de campo, 2015, (Diferencia mínima significativa 0,1600)

CUADRO 26

PRUEBA TUKEY DE LA INTERACCIÓN DEL TIPO DE HORMONA Y MIEL DE ABEJA EN LA VARIABLE PESO SECO DE RAICES EN ESTACAS DE CACAO (*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO INDOLBUTIRICO (IBA) Y ÁCIDO NAFTALENACETICO (ANA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015

TIPO DE HORMONA	MIEL DE ABEJA	MEDIAS	PRUEBA TUKEY	
IBA	Con miel	0,7	A	
IBA	Sin miel	0,29		B
ANA	Con miel	0,25		B
ANA	Sin miel	0,19		B

Fuente: Investigación de campo, 2015, (Diferencia mínima significativa 0,2983)

CUADRO 27

PRUEBA TUKEY DE LA INTERACCIÓN DEL TIEMPO DE INMERSIÓN Y MIEL DE ABEJA EN LA VARIABLE PESO SECO DE RAICES EN ESTACAS DE CACAO (*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO INDOLBUTIRICO (IBA) Y ÁCIDO NAFTALENACETICO (ANA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015

TIEMPO DE INMERSIÓN (h)	MIEL DE ABEJA	MEDIAS	PRUEBA TUKEY	
24	Con miel	0,8	A	
24	Sin miel	0,35		B
48	Con miel	0,15		B
48	Sin miel	0,13		B

Fuente: Investigación de campo, 2015, (Diferencia mínima significativa 0,2983)

Los cuadros 26 y 27 muestran la importancia de éstas interacciones (tipo de hormona y tiempo de inmersión) junto con el coadyuvante miel de abeja, para obtener resultados favorables en cuanto a buen peso seco de raíces, debido a la reacción de la estaca en un tiempo de inmersión de 24 h y a los estímulos exógenos generados por el regulador de crecimiento junto a las sustancias orgánicas (carbohidratos y vitaminas del complejo B) de la miel de abeja, lo que implicó mayor materia en la raíz y por consiguiente mejor formación del sistema radicular, que asegura la capacidad de pegue de las plantas en campo definitivo.

CUADRO 28

PRUEBA TUKEY DE LA INTERACCIÓN DEL TIPO DE HORMONA, CONCENTRACIÓN HORMONAL Y MIEL DE ABEJA EN LA VARIABLE PESO SECO DE RAICES EN ESTACAS DE CACAO (*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO INDOLBUTIRICO (IBA) Y ÁCIDO NAFTALENACETICO (ANA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015

TIPO DE HORMONA	CONCENTRACIÓN HORMONAL (ppm)	MIEL DE ABEJA	MEDIAS	PRUEBA TUKEY		
IBA	600	Con miel	2,66	A		
IBA	600	Sin miel	1,07		B	
ANA	600	Con miel	0,94		B	
ANA	600	Sin miel	0,63		B	C
IBA	400	Con miel	0,13			C
ANA	400	Sin miel	0,12			C
IBA	400	Sin miel	0,1			C
ANA	400	Con miel	0,05			C
ANA	100	Sin miel	0,00			C
ANA	200	Sin miel	0,00			C
ANA	100	Con miel	0,00			C
ANA	200	Con miel	0,00			C
IBA	200	Con miel	0,00			C
IBA	100	Con miel	0,00			C
IBA	200	Sin miel	0,00			C
IBA	100	Sin miel	0,00			C

Fuente: Investigación de campo, 2015, (Diferencia mínima significativa 0,8037)

CUADRO 29

PRUEBA TUKEY DE LA INTERACCIÓN DEL, CONCENTRACIÓN HORMONAL, TIEMPO DE INMERSIÓN Y MIEL DE ABEJA EN LA VARIABLE PESO SECO DE RAICES EN ESTACAS DE CACAO (*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO INDOLBUTIRICO (IBA) Y ÁCIDO NAFTALENACETICO (ANA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015

CONCENTRACIÓN HORMONAL (ppm)	TIEMPO DE INMERSIÓN (h)	MIEL DE ABEJA	MEDIAS	PRUEBA TUKEY		
600	24	Con miel	3,07	A		
600	24	Sin miel	1,28		B	
600	48	Con miel	0,54		B	C
600	48	Sin miel	0,43			C
400	24	Sin miel	0,14			C
400	24	Con miel	0,13			C
400	48	Sin miel	0,07			C
400	48	Con miel	0,05			C
200	24	Con miel	0			C
100	24	Con miel	0			C
200	48	Sin miel	0			C
100	48	Sin miel	0			C
100	48	Con miel	0			C
100	24	Sin miel	0			C
200	24	Sin miel	0			C
200	48	Con miel	0			C

Fuente: Investigación de campo, 2015, (Diferencia mínima significativa 0,8037)

En los cuadros 28 y 29, se observa como la presencia de miel de abeja, actúa como un coadyuvante en las diferentes interacciones para esta variable de peso seco de raíces, que junto al tipo de hormona y la adecuada concentración hormonal en una inmersión de 24 h propician un estaquillado exitoso.

3.5 Tiempo al enraizamiento (día)

Para la variable tiempo al enraizamiento, se realizaron 3 lecturas: a los 15 d, 60 d y 100 d.

Se obtuvieron resultados hasta los 100 d después de la siembra de las estacas de cacao (*Theobroma cacao*), en donde se observó que algunos de los tratamientos fueron mejores que otros, a pesar que su respuesta no fue homogénea como el tratamiento T13 (Ácido Indolbutirico a 600 ppm e inmersión de 24 h) que fue el mejor durante toda la investigación, se puede determinar que esta variable de tiempo al enraizamiento se encuentra ligada al manejo del material vegetal antes de ser estimulado a producción de raíces, así como al tipo de regulador de crecimiento (Ácido Indolbutirico (AIB) y Ácido Naftalenacetico (ANA)), a la temperatura, humedad relativa y a la capacidad de la estaca para incentivar la reproducción celular al detectar el estímulo exógeno de los reguladores de crecimiento para lograr raíces suficientes antes de que la estaca se deshidrate.

3.6 Número de brotes

Para esta variable no se obtuvieron resultados, a pesar de que las estacas se encontraban vivas con presencia de raíces, durante el transcurso y el final de la investigación (100 d después de la siembra), debido a que el material vegetal utilizado no logró un equilibrio hormonal entre auxina/citocinina, ya que la auxina endógena no estimuló lo suficiente al meristemo radicular en desarrollo para que produjera la cantidad necesaria de citocininas que permitiera la iniciación de brotes,

encontrándose la auxina en mayor concentración a lo largo de la estaca inhibiendo la iniciación de brotes⁸⁷.

Esto indica que para lograr el equilibrio hormonal dentro de la estaca, no fue suficiente el tiempo establecido en la investigación para la obtención de resultados en esta variable, ya que, una vez bien formado el sistema radicular e iniciado el metabolismo normal, se esperaba que cambiaran las concentraciones hormonales en la estaca, produciendo las citocininas necesarias, que al movilizarse al tallo, cambiara la relación auxina/citocinina para estimular de esta manera el brote, por lo que este proceso requería más tiempo del que se estipuló.

⁸⁷ Peter Davies. *Plant Hormone. Physiology, Biochemistry and Molecular Biology*, Holanda: Kluwer Academic Publishers, 1995.

CONCLUSIONES

- 1) La miel de abeja como coadyuvante en el enraizamiento de estacas de cacao (*Theobroma cacao*) constituye una fuente de carbohidratos y otras sustancias orgánicas, que favorecen el metabolismo celular y mantienen con vida a la estaca y promueven la formación de callo, sin menos cabo en la longitud de las raíces obtenidas, lo cual fue observado durante el análisis de cada variable respuesta.
- 2) Las concentraciones más altas de Ácido Indolbutírico (AIB 600 ppm) y Ácido Naftalenacético (ANA a 600 ppm) proporcionaron los mejores resultados en las variables evaluadas; por lo que el tiempo de enraizamiento de estacas se reduce por su respuesta ante el estímulo exógeno causado por el regulador de crecimiento, lo que contradice a la literatura con respecto a la obtención de buenos y rápidos resultados de enraizamiento en estacas de cacao (*Theobroma cacao*), a concentraciones desde 100 ppm.
- 3) De acuerdo a los resultados obtenidos, el tratamiento de 600 ppm de Ácido Indolbutírico (AIB) con miel de abeja e inmersión de 24 h no se limitó solo a tener el más alto porcentaje de estacas enraizadas, sino que también presentó un mayor número de raíces con la mejor longitud y por ende peso de materia seca, que asegura buen desarrollo de plantas por este método.

- 4) La inmersión de 48 h, limita los procesos fisiológicos de la estaca (respuesta al estímulo exógeno de los reguladores de crecimiento, pérdida foliar), debido al estrés asociado a la alta tasa de transpiración, causada por las altas temperaturas, por lo que el mejor tiempo de inmersión es de 24 h.

- 5) Al hacer un análisis integral de todas las variables evaluadas, de acuerdo a los análisis estadísticos realizados en la investigación, el mejor tratamiento fue el T13 (600 ppm de Ácido Indolbutírico (AIB) con miel de abeja e inmersión de 24 h) ya que se obtuvo un porcentaje de enraizamiento del 83,33 %, por lo que se aceptan las hipótesis propuestas, que establecen que una concentración de ácido indolbutirico (IBA) a 600 ppm con miel de abeja a 7,5 % e inmersión de 24 h favorecen a la inducción del desarrollo de un sistema radicular bien formado y denso, mantienen la estaca vigorosa y le permiten disponibilidad de nutrientes.

RECOMENDACIONES

- 1) Evaluar la respuesta de otros materiales genéticos al uso de la miel de abeja en el enraizamiento de estacas de cacao (*Theobroma cacao*), así como también el realizarle un análisis bromatológico para determinar qué sustancias contenidas son coadyudantes de la diferenciación celular.
- 2) Incrementar las concentraciones de reguladores de crecimiento (IBA), en tiempos cortos de inmersión para mejorar el enraizamiento de estacas de cacao (*Theobroma cacao*).
- 3) Fomentar las investigaciones sobre reproducción asexual en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*), por medio del enraizamiento de estacas, por el gran potencial del cultivo en la región.
- 4) Realizar investigaciones con otros tipos de propagadores en busca de obtener mejores resultados en el enraizamiento de cacao (*Theobroma cacao*) para un mejor control de humedad y temperatura, ya que existen deficiencias con respecto a cubrir los requerimientos para la sobrevivencia de las estacas.
- 5) Asegurarse de que el material genético provenga de una plantación con un manejo agronómico óptimo, ya que existen factores internos del material vegetativo que influyen directamente en los procesos fisiológicos del enraizamiento de estacas de cacao (*Theobroma cacao*).

BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, Katia. *Proyecto Laguna Lachúa, Sistematización de la experiencia*. Costa Rica: UICN, 2010.
- Características de las auxinas*. https://www.google.com.gt/search?q=auxinas+pdf&oq=auxinas+pdf&aqs=chrome..69i57j0l5.3594j0j8&sourceid=chrome-&es_s m =93 &ie=UTF-8#q=biosintesis+de+auxinas+pdf (26 de agosto de 2014).
- Cáseres Ramos, Hugo. *El Cacao*. Costa Rica: Centro de enseñanza e Investigación, 1966.
- Clon IMC-67*. <http://agraria.pe/noticias/en-clones-aromaticos-de-cacao-el-imc-67-es-el-mas-recomenda-6126> (29 de febrero de 2016).
- Composición del cacao*. http://www.mayasautenticos.com/maya_cacao.htm (23 de agosto de 2014).
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas –CONAP-. *Plan maestro Parque Nacional Laguna Lachúa*. Guatemala: CONAP., 2003.
- Condiciones climáticas del cacao*. <http://books.google.com.gt/books?id=Zd0OA-QA AIAAJ&pg=PA276&dq=cultivo+-de+cacao+en+guatemala&hl=es-419&sa=X&ei=71TINVKCCM7KHsQSv24HwCw&ved=0CBoQ6AEwAA#v=onepage&q=cultivo%20de%20cacao%20en%20guatemala&f=false> (23 de agosto de 2014).
- Cultivo de cacao en Guatemala*. http://www.uvg.edu.gt/publicaciones/revista/volumenes/numero-24/9.CARACTERIZACION_de_algunos_clones_pp_99-204.pdf (23 de agosto de 2014).
- Davies, Peter. *Plant Hormone. Physiology, Biochemistry and Molecular Biology*, Holanda: Kluwer Academic Publishers, 1995.
- Definición de auxinas*. <https://www.um.es/analesdebiologia/.../PDF/16CUANTIFICACION.pdf> (26 de agosto de 2014).
- Descripción botánica del cacao*. <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/infoespecies/arboles/doctos/68-sterc03m.pdf> (23 de agosto de 2014).

- Enríquez, G. *Cacao orgánico. Guía para productores ecuatorianos. Manual N°54*. Quito, Ecuador: Instituto Nacional Autónomo de investigaciones Agropecuarias, 2004.
- Hartmann, H y D. Kester, *Propagación de plantas. Principios y prácticas*. México: Editorial CECSA, 1990.
- Hernández, S y F. Leal. "Enraizamiento de estacas de cacao". *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología*, (13 de junio de 1997): pág. 34-37.
- Hormonas vegetales sintéticas*. http://fisiohorticola.files.wordpress.com/2008/09/clase_3_-hormonas_vegetales_1_6pp.pdf (26 de agosto de 2014).
- Hormonas vegetales sintéticas*. http://www.fcn.unp.edu.ar/sitio/fisiologiageneral/images/sa_mpledata/parks/practicos/tp-13_hormonas_vegetales-reguladores_de_crecimiento.pdf (26 de agosto de 2014).
- Hormonas vegetales*. http://www.academia.edu/1060642/Manual_de_practicas_de_fisiologia_vegetal (24 de agosto de 2014).
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP. *Propagación de plantas. Principios y prácticas*. Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP., 1995.
- Jones, Samuel. *Sistemática vegetal*. México: Mc Graw-Hill, 1987.
- July, W. *Comportamiento de estacas de tres variedades de cacao (Theobroma cacao L.) con tres tipos de fitohormonas en la región de Alto-Beni*. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia: Facultad de Ciencias Agrícolas, 2002.
- Leakey, Robert, *The capacity for vegetative propagation in trees. Attributes of trees as crop plants. Abbots Ripton*, Great Britain: Institute of Terrestrial Ecology, 1985.
- Luna, J. *Utilización de tres dosis de ácido indolbutírico en el enraizamiento de clones de cacao (Theobroma cacao L.) en Pucallpa*. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional de Ucayali. Perú: Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2003.

Miel de abeja como enraizador de estacas de cacao. <http://books.google.com.gt/books?id=Rivaqh2UoplC&pg=RA1-PA26&lpg=RA1-PA26&dq=miel+de+abeja+en+propagaci%C3%B3n+vegetativa+de+cacao+cabrera+villa&source=bl&ots=DFE5VnTxuj&sig=dmt2pRFNYS1EEmKB3fxSMzK-hdQ&hl=es-419&sa=X&ei=Ft9ZVK7yLsWbNsOzg6gK&ved=0CCEQ6AEwAg#v=onepage&q=miel%20de%20abeja%20en%20propagaci%C3%B3n%20vegetativa%20de%20cacao%20cabrera%20villa&f=false> (3 de septiembre de 2014).

Miel de abeja. http://www.cajaespana.es/Images/LIBRO%20ABEJAS_tcm6236.pdf (26 de agosto de 2014).

Palencia, G. *Propagación del árbol de cacao.* Tecnología para el Mejoramiento del Sistema de Producción de Cacao. Bucaramanga: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria –CORPOICA-, 2000.

Propagación asexual del cultivo de cacao. <http://intranet.catieac.cr/pcc/Divulgaci%C3%B3n/Presentaciones/Sistemas%20propagaci%C3%B3n%20en%20cacao%20%20A.MORA.pdf> (24 de agosto de 2014).

Propagación por injerto de cacao. <http://www.canacacao.org/cultivo/propagaci%C3%B3n> (24 de agosto de 2014).

Propagación sexual del cultivo de cacao. http://corpomail.corpoica.org.co/BACFILES/BACDIGITAL/3781/s2dA6A6B058E52CF7BC431EB8EBB6222D83_1.pdf (24 de agosto de 2014).

Propagación vegetativa de cacao. <http://es.scribd.com/doc/52779842/METODO-S-DE-REPRODUCCION-CACAO> (24 de agosto de 2014).

Propagación vegetativa del cacao. <http://bibliodigital.itcr.ac.cr/xmlui/bitstream/handle/2238/441/Propagacion%20vegetativa%20de%20cacao.pdf?sequence=1> (24 de agosto de 2014).

Propiedades fisicoquímicas de la miel de abeja. <http://www.biblioteca.Unlpam.edu.ar/pu/bpdf/revet/n11a05noia.pdf> (28 de agosto de 2014).

Quiroz, James. *Producción de Cacao por medio de enraizamiento de estacas de cacao.* Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias –INIAP-, 2012.

Reyes Castañeda, Pedro. *Diseño de experimentos aplicados.* México: Editorial. Trillas, 1981.

Rojas Garcidueñas, Manuel y Homero Ramírez. *Control hormonal del desarrollo de las plantas*. México: Editorial Limusa, 1993.

Salazar Hernández, Manuel. *Informe final sobre el cultivo del cacao*. Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1949.

Salisbury, Frank y Cleon W., Ross. *Fisiología Vegetal*. México: Grupo Editorial Iberoamérica, 1994.

Simmons, Charles. Et. Al. *Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala*. Guatemala: Editorial José de Pineda Ibarra, 1959.

Uso de auxinas en agricultura. [http://www.intagri.com.mx/contenido/Noticias/pdf/Hormonas %20Vegetales%20y%20Reguladores%20de%20Crecimiento.pdf](http://www.intagri.com.mx/contenido/Noticias/pdf/Hormonas%20Vegetales%20y%20Reguladores%20de%20Crecimiento.pdf) (26 de agosto de 2014).

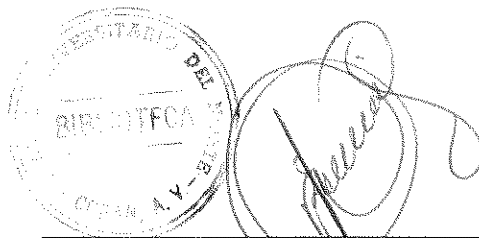
Usos de la miel de abeja. http://www.jica.go.jp/nicaragua/espanol/office/others/c8h0vm000001q4bc-att/24_estudio_04.pdf (26 de agosto de 2014).

Usos del cacao. http://www.choco-story.be/img/download/kuna_es.pp (23 de agosto de 2014).

Velasco Mata, Roberto. *Establecimiento de un sistema de propagación Vegetativa de genotipos superiores de cacao (Theobroma cacao L.) por medio de ramillas*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica: Escuela de Biología, 2006.

Weaver, R. *Reguladores de crecimiento de las plantas en la agricultura*. México: Editorial Trillas, 1985.

V.º B.º



Adán García Véliz
Lic. en Pedagogía e Investigación Educativa
Bibliotecario

ANEXOS

CUADRO 30

MEDIAS DEL PORCENTAJE DE RAICES EN ESTACAS DE CACAO (*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO INDOLBUTIRICO (IBA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015

TRATAMIENTOS		MEDIAS (%)
T1	AIB / 100 ppm / Con miel / 24 h	0,00
T2	AIB / 100 ppm / Con miel / 48 h	0,00
T3	AIB / 100 ppm / Sin miel / 24 h	0,00
T4	AIB / 100 ppm / Sin miel / 48 h	0,00
T5	AIB / 200 ppm / Con miel / 24 h	0,00
T6	AIB / 200 ppm / Con miel / 48 h	0,00
T7	AIB / 200 ppm / Sin miel / 24 h	0,00
T8	AIB / 200 ppm / Sin miel / 48 h	0,00
T9	AIB / 400 ppm / Con miel / 24 h	105,72
T10	AIB / 400 ppm / Con miel / 48 h	35,24
T11	AIB / 400 ppm / Sin miel / 24 h	54,7
T12	AIB / 400 ppm / Sin miel / 48 h	35,24
T13	AIB / 600 ppm / Con miel / 24 h	289,4
T14	AIB / 600 ppm / Con miel / 48 h	140,96
T15	AIB / 600 ppm / Sin miel / 24 h	203,82
T16	AIB / 600 ppm / Sin miel / 48 h	140,96

Fuente: Investigación de campo, 2015.

CUADRO 31

MEDIAS DEL PORCENTAJE DE RAICES EN ESTACAS DE CACAO (*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO NAFTALENACÉTICO (ANA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015

	TRATAMIENTOS	MEDIAS (%)
T17	ANA / 100 ppm / Con miel / 24 h	0,00
T18	ANA / 100 ppm / Con miel / 48 h	0,00
T19	ANA / 100 ppm / Sin miel / 24 h	0,00
T20	ANA / 100 ppm / Sin miel / 48 h	0,00
T21	ANA / 200 ppm / Con miel / 24 h	0,00
T22	ANA / 200 ppm / Con miel / 48 h	0,00
T23	ANA / 200 ppm / Sin miel / 24 h	0,00
T24	ANA / 200 ppm / Sin miel / 48 h	0,00
T25	ANA / 400 ppm / Con miel / 24 h	70,48
T26	ANA / 400 ppm / Con miel / 48 h	35,24
T27	ANA / 400 ppm / Sin miel / 24 h	105,72
T28	ANA / 400 ppm / Sin miel / 48 h	70,48
T29	ANA / 600 ppm / Con miel / 24 h	218,8
T30	ANA / 600 ppm / Con miel / 48 h	144,7
T31	ANA / 600 ppm / Sin miel / 24 h	138,7
T32	ANA / 600 ppm / Sin miel / 48 h	54,7

Fuente: Investigación de campo, 2015.

CUADRO 32

MEDIAS DEL NÚMERO DE RAICES EN ESTACAS DE CACAO
(Theobroma cacao) **CON ÁCIDO INDOLBUTIRICO (IBA) CON Y**
SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN EN LA
ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015

TRATAMIENTOS		MEDIAS (cm)
T1	AIB / 100 ppm / Con miel / 24 h	0,00
T2	AIB / 100 ppm / Con miel / 48 h	0,00
T3	AIB / 100 ppm / Sin miel / 24 h	0,00
T4	AIB / 100 ppm / Sin miel / 48 h	0,00
T5	AIB / 200 ppm / Con miel / 24 h	0,00
T6	AIB / 200 ppm / Con miel / 48 h	0,00
T7	AIB / 200 ppm / Sin miel / 24 h	0,00
T8	AIB / 200 ppm / Sin miel / 48 h	0,00
T9	AIB / 400 ppm / Con miel / 24 h	53,81
T10	AIB / 400 ppm / Con miel / 48 h	20,27
T11	AIB / 400 ppm / Sin miel / 24 h	47,15
T12	AIB / 400 ppm / Sin miel / 48 h	21,13
T13	AIB / 600 ppm / Con miel / 24 h	202,49
T14	AIB / 600 ppm / Con miel / 48 h	112,36
T15	AIB / 600 ppm / Sin miel / 24 h	156,26
T16	AIB / 600 ppm / Sin miel / 48 h	146,81

Fuente: Investigación de campo, 2015.

CUADRO 33

**MEDIAS DEL NÚMERO DE RAICES EN ESTACAS DE CACAO
(*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO NAFTALENACÉTICO (ANA) CON
Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN EN LA
ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015**

TRATAMIENTOS		MEDIAS (cm)
T17	ANA / 100 ppm / Con miel / 24 h	0,00
T18	ANA / 100 ppm / Con miel / 48 h	0,00
T19	ANA / 100 ppm / Sin miel / 24 h	0,00
T20	ANA / 100 ppm / Sin miel / 48 h	0,00
T21	ANA / 200 ppm / Con miel / 24 h	0,00
T22	ANA / 200 ppm / Con miel / 48 h	0,00
T23	ANA / 200 ppm / Sin miel / 24 h	0,00
T24	ANA / 200 ppm / Sin miel / 48 h	0,00
T25	ANA / 400 ppm / Con miel / 24 h	38,71
T26	ANA / 400 ppm / Con miel / 48 h	21,97
T27	ANA / 400 ppm / Sin miel / 24 h	66,44
T28	ANA / 400 ppm / Sin miel / 48 h	39,57
T29	ANA / 600 ppm / Con miel / 24 h	158,02
T30	ANA / 600 ppm / Con miel / 48 h	53,12
T31	ANA / 600 ppm / Sin miel / 24 h	114,13
T32	ANA / 600 ppm / Sin miel / 48 h	53,45

Fuente: Investigación de campo, 2015.

CUADRO 34

MEDIAS DE LA LONGITUD DE RAICES EN ESTACAS DE CACAO (*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO INDOLBUTIRICO (IBA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015

TRATAMIENTOS		MEDIAS (unidad)
T1	AIB / 100 ppm / Con miel / 24 h	0,00
T2	AIB / 100 ppm / Con miel / 48 h	0,00
T3	AIB / 100 ppm / Sin miel / 24 h	0,00
T4	AIB / 100 ppm / Sin miel / 48 h	0,00
T5	AIB / 200 ppm / Con miel / 24 h	0,00
T6	AIB / 200 ppm / Con miel / 48 h	0,00
T7	AIB / 200 ppm / Sin miel / 24 h	0,00
T8	AIB / 200 ppm / Sin miel / 48 h	0,00
T9	AIB / 400 ppm / Con miel / 24 h	9,87
T10	AIB / 400 ppm / Con miel / 48 h	4,10
T11	AIB / 400 ppm / Sin miel / 24 h	8,45
T12	AIB / 400 ppm / Sin miel / 48 h	3,96
T13	AIB / 600 ppm / Con miel / 24 h	30,94
T14	AIB / 600 ppm / Con miel / 48 h	19,00
T15	AIB / 600 ppm / Sin miel / 24 h	32,78
T16	AIB / 600 ppm / Sin miel / 48 h	18,58

Fuente: Investigación de campo, 2015.

CUADRO 35

**MEDIAS DE LA LONGITUD DE RAICES EN ESTACAS DE
CACAO (*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO NAFTALENACÉTICO
(ANA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN
EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015**

	TRATAMIENTOS	MEDIAS (unidad)
T17	ANA / 100 ppm / Con miel / 24 h	0,00
T18	ANA / 100 ppm / Con miel / 48 h	0,00
T19	ANA / 100 ppm / Sin miel / 24 h	0,00
T20	ANA / 100 ppm / Sin miel / 48 h	0,00
T21	ANA / 200 ppm / Con miel / 24 h	0,00
T22	ANA / 200 ppm / Con miel / 48 h	0,00
T23	ANA / 200 ppm / Sin miel / 24 h	0,00
T24	ANA / 200 ppm / Sin miel / 48 h	0,00
T25	ANA / 400 ppm / Con miel / 24 h	4,55
T26	ANA / 400 ppm / Con miel / 48 h	1,30
T27	ANA / 400 ppm / Sin miel / 24 h	6,01
T28	ANA / 400 ppm / Sin miel / 48 h	3,49
T29	ANA / 600 ppm / Con miel / 24 h	25,47
T30	ANA / 600 ppm / Con miel / 48 h	16,55
T31	ANA / 600 ppm / Sin miel / 24 h	23,9367
T32	ANA / 600 ppm / Sin miel / 48 h	9,76

Fuente: Investigación de campo, 2015.

CUADRO 36

MEDIAS DEL PESO SECO DE RAICES EN ESTACAS DE CACAO (*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO INDOLBUTIRICO (IBA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015

TRATAMIENTOS		MEDIAS (gr)
T1	AIB / 100 ppm / Con miel / 24 h	0,00
T2	AIB / 100 ppm / Con miel / 48 h	0,00
T3	AIB / 100 ppm / Sin miel / 24 h	0,00
T4	AIB / 100 ppm / Sin miel / 48 h	0,00
T5	AIB / 200 ppm / Con miel / 24 h	0,00
T6	AIB / 200 ppm / Con miel / 48 h	0,00
T7	AIB / 200 ppm / Sin miel / 24 h	0,00
T8	AIB / 200 ppm / Sin miel / 48 h	0,00
T9	AIB / 400 ppm / Con miel / 24 h	0,78
T10	AIB / 400 ppm / Con miel / 48 h	0,22
T11	AIB / 400 ppm / Sin miel / 24 h	0,55
T12	AIB / 400 ppm / Sin miel / 48 h	0,20
T13	AIB / 600 ppm / Con miel / 24 h	17,30
T14	AIB / 600 ppm / Con miel / 48 h	3,99
T15	AIB / 600 ppm / Sin miel / 24 h	5,52
T16	AIB / 600 ppm / Sin miel / 48 h	3,08

Fuente: Investigación de campo, 2015.

CUADRO 37

**MEDIAS DEL PESO SECO DE RAICES EN ESTACAS DE
CACAO (*Theobroma cacao*) CON ÁCIDO NAFTALENACÉTICO
(ANA) CON Y SIN MIEL DE ABEJA, A 24 H Y 48 H DE INMERSIÓN
EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V., 2015**

TRATAMIENTOS		MEDIAS (gr)
T17	ANA / 100 ppm / Con miel / 24 h	0,00
T18	ANA / 100 ppm / Con miel / 48 h	0,00
T19	ANA / 100 ppm / Sin miel / 24 h	0,00
T20	ANA / 100 ppm / Sin miel / 48 h	0,00
T21	ANA / 200 ppm / Con miel / 24 h	0,00
T22	ANA / 200 ppm / Con miel / 48 h	0,00
T23	ANA / 200 ppm / Sin miel / 24 h	0,00
T24	ANA / 200 ppm / Sin miel / 48 h	0,00
T25	ANA / 400 ppm / Con miel / 24 h	0,24
T26	ANA / 400 ppm / Con miel / 48 h	0,16
T27	ANA / 400 ppm / Sin miel / 24 h	0,56
T28	ANA / 400 ppm / Sin miel / 48 h	0,38
T29	ANA / 600 ppm / Con miel / 24 h	7,25
T30	ANA / 600 ppm / Con miel / 48 h	0,29
T31	ANA / 600 ppm / Sin miel / 24 h	4,69
T32	ANA / 600 ppm / Sin miel / 48 h	0,35

Fuente: Investigación de campo, 2015.



CUNOR | CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE

Universidad de San Carlos de Guatemala

El director del Centro Universitario del Norte de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer los dictámenes de la Comisión de Trabajos de Graduación de la carrera de:

AGRONOMÍA

Al trabajo titulado:

MULTIPLICACIÓN CLONAL DE CACAO (*Theobroma cacao*) POR EL MÉTODO DE ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS, EN LA ALDEA SALACUÍM, COBÁN, A.V.

Presentado por el (la) estudiante:

ILSE RENATE KLUG HENGSTENBERG

Autoriza el

IMPRIMASE

Cobán Alta Verapaz 27 de Julio de 2016.


Lic. Erwin Gonzalo Eskenasy Morales
DIRECTOR

