



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**EVALUACIÓN DE MICROORGANISMOS NATIVOS (*TRICHODERMA HARZIANUM*, *BACILLUS AMYLOLIQUEFACIENS* Y *STREPTOMYCES SP*)
COMO ANTAGONISTAS, PROMOTORES DE CRECIMIENTO Y
BIOFERTILIZANTES EN CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR, VARIEDAD
CP-72-2086.**

Para optar al título de Ingeniero Agrícola

Elaborado por

Br. Alfredo César Valladarez Aguilera

Br. Freddys Josué Aguilera Andrade

Tutor

MSc. Julio Antonio Gómez Rodríguez

Asesor

Ing. José Mamerto Méndez Úbeda

Managua, Mayo 2017

Dedicatoria

A DIOS:

Nuestro señor y creador que ha sido mi guía toda mi vida, quien me ha dado la fuerza para seguir adelante y culminar mis estudios llenándome de salud a mí y a toda mi familia.

A MIS PADRES:

Sra. Eufemia Aguilera Rosas.

Sr. Presentación Balladares Palma.

Con todo mi amor y respeto: por el apoyo, cariño y comprensión, esperando que la culminación de mi carrera sea un orgullo para ellos.

A MIS HERMANOS:

Edith Aguilera.

Reyna Isabel Aguilera.

Meyling Martínez Aguilera.

Marlon Martínez Aguilera.

Jasón Martínez Aguilera.

Por haber estado siempre conmigo y demostrarme su apoyo y cariño en todo momento.

A MIS SOBRINOS:

Isabela Moncada Aguilera

Edwin A. Moncada Aguilera.

Steven M. Chévez Aguilera.

Con mucho cariño y admiración.

A MI NOVIA:

Michel Amador.

Con todo mi amor y admiración, por sus consejos, apoyo, confianza y comprensión.

A TODOS MIS FAMILIARES:

Con mucho respeto y cariño.

A LA FAMILIA CHÉVEZ FERNÁNDEZ:

Sra. Isabel.

Sr. Manuel.

Por el apoyo moral y las atenciones que me han brindado.

** Br. Alfredo César Valladarez Aguilera **

Agradecimientos

A DIOS:

Por la gracia de haberme concedido la vida y estar siempre conmigo, en especial los momentos más difíciles.

A MIS PADRES:

Eufemia Aguilera Rosas y Presentación Balladares Palma, con todo mi cariño y amor por sus esfuerzos realizados para que yo pudiera lograr mis sueños, por sus consejos, motivaciones y por darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes mis agradecimientos y mi cariño por siempre.

A MIS HERMANOS:

Quienes se han sentido orgullosos por mis esfuerzos siendo esto una motivación para seguir creciendo como persona y como profesional, de igual manera han estado conmigo en los momentos más difíciles y nunca me han dejado solo, brindándome su apoyo en cualquier situación.

AL MSc. JULIO GOMEZ RODRIGUEZ:

Por su tutoría y su excelente revisión de este trabajo, disponibilidad de tiempo y su paciencia, su enseñanza será de gran utilidad para realizar trabajos posteriores.

AL MSc. LEONCIO VANEGAS:

Por las sugerencias y su colaboración en la revisión de este trabajo, así como su ejemplo de dedicación y empeño, está su apoyo incondicional, su experiencia y conocimientos fueron muy importantes para mi formación profesional

AL ING. JOSÉ MENDEZ UBEDA:

*Por la asesoría proporcionada en el presente trabajo, además de su confianza, amistad y el ejemplo de superación profesional y seguridad en sí mismo, fueron herramientas valiosas para el desarrollo de esta monografía, así como lo será para mi vida profesional y personal.
¡Gracias!*

A LA LIC. MARITZA MALTEZ OROZCO

AL LIC. FRANCISCO FLORES MORALES

AL ING. DENIS MAYORGA LIZANO

Por su amabilidad y las atenciones que me brindaron durante la estancia en el Programa Institucional Agropecuario y Agroindustrial (PIAG), además de ser para mí un ejemplo de honestidad y trabajo profesional.

De manera especial agradezco a todas las personas que contribuyeron a la realización de esta investigación, como lo fueron mi compañero de monografía, el administrador del Laboratorio de alimentos de la Facultad de Ingeniería Química, el personal de seguridad y mantenimiento del edificio Rigoberto López Pérez de la UNI-RUSB, los cuales nos brindaron amabilidad y apoyo de principio a fin durante el período de investigación, al PIAG, a la Facultad de Tecnología de la Construcción, al Departamento de Ingeniería Agrícola y todos sus docentes, quienes me brindaron sus conocimientos durante mis estudios y a nuestra alma mater la UNI.

¡MUCHAS GRACIAS!

** Br. Alfredo César Valladares Aguilera **

Dedicatoria

A Dios:

El Ingeniero por excelencia, creador de todo, el que nos da y nos quita.

A MIS PADRES:

Sra. Daysi Elizabeth Andrade Neyra.

Sra. Fortenia Neyra Artola

Sr. Freddy Antonio Aguilera Rosas.

Porque sin ellos esto no hubiese sido posible. Especialmente a mi madre Daysi Elizabeth Andrade Neyra, su sueño fue verme preparado, esto lo logre por ti y para ti.

A MIS ABUELOS:

Sra. Ramona Rosas.

Sr. Mariano Aguilera.

Sr. Joaquín Andrade.

Por sus valiosos consejos.

A MIS HERMANOS:

Holman Antonio Aguilera Andrade.

Marelling Dallana aguilera Andrade.

Marcos Antonio Maradiaga Rosas.

Alfredo Cesar Valladares Aguilera.

Por estar ahí siempre en las buenas y en las malas dándome las fuerzas necesarias para seguir adelante.

A MIS TI@S:

Esmayra Andrade, Ilda Magdalena Rosas, Vilma José Andrade, Maura rosas Moncada, Juana Rosas Moncada, Mailing Maradiaga Rosas, Marcos Maradiaga Sánchez, José Rosas Moncada, Francisco Cruz Rosas.

Por su apoyo Incondicional.

A MI NOVIA Y A MI HIJO:

Krisia Isaura Sang que la quiero mucho.

Bástian Josué Aguilera Sang el que me motiva seguir adelante.

A TOD@S MIS FAMILIARES:

Esperando se sientan orgullosos de mi persona.

** Br. Freddy's Josué Aguilera Andrade **

Agradecimientos

A DIOS:

Infinitas gracias por haberme regalado una madre como la que tuve Daysi Elizabeth Andrade Neyra, llenarme de vida y gracias a ello poder culminar mis estudios.

A MIS PADRES:

Daysi Elizabeth Andrade Neyra, Fortenia Neyra y Freddy Antonio Aguilera Rosas, a ellos por traerme al mundo, cuidarme siempre, educarme y formarme por el buen camino con buenos principios y valores. Le agradezco principalmente a mi madre Daysi Elizabeth Andrade Neyra que hoy ya no está a mi lado y su mayor ilusión era verme formado como todo un profesional; espero desde el cielo me veas triunfar y te sientas orgullosa de mi madre mía.

A MIS ABUELOS:

Siempre por sus sabios consejos que han ayudado en mi formación como persona.

A MIS HERMANOS:

Quienes están siempre ahí en los buenos y en los malos momentos, apoyándome, brindándome su apoyo incondicional. Superando todo las barreras y obstáculos que la vida presenta día a día

A MIS TI@S:

Por acogerme en cada uno de sus hogares y verme como un hijo más, por darme la mano cuando más la necesite, por corregir mis errores e inculcarme valores fundamentales en mi vida.

AL MSc. JULIO GOMEZ RODRIGUEZ:

Por su tutoría, ya que gracias a su capacidad y destreza profesional fue posible el desarrollo del proyecto de manera excelente. También es importante mencionar que es una excelente persona, gran inspirador debido a sus grandes conocimientos.

AL MSc. LEONCIO VANEGAS:

Sus consejos, apoyo incondicional y conocimientos fueron de gran importancia en mi formación como persona y profesional, además cabe mencionar que gracias a su empeño y experiencia profesional fue posible la elaboración del proyecto.

AL ING. JOSÉ MENDEZ UBEDA:

Su papel como asesor sobre pasó mis expectativas, su profesionalismo es digno de admirar gracias a sus recomendaciones y revisión del trabajo el desarrollo del mismo fue posible. Cabe destacar que es una excelente persona, amable, motivadora, es un ejemplo a seguir como persona y profesional.

Agradezco al PIAG y a todo@s sus colaboradores por todo el apoyo brindado a lo largo del proyecto

AL ING. DENIS MAYORGA LIZANO, LIC. MARITZA MALTEZ OROZCO

LIC. FRANCISCO FLORES MORALES.

Este trabajo fue posible también gracias a la colaboración de la Facultad de la Tecnología de la Construcción, el departamento de Ingeniería Agrícola, laboratorio de edafología (UNI-RUPAP), laboratorio de alimentos del departamento de Ingeniería Química (UNI-RUSB), personal de seguridad del edificio Rigoberto López Pérez (RLP), especialmente a mi compañero de trabajo Alfredo César Valladarez Aguilera y a nuestra institución formativa Universidad Nacional de Ingeniería.

** Br. Freddy's Josué Aguilera Andrade **

RESUMEN

En Nicaragua el cultivo de caña de azúcar es uno de los rubros de mayor importancia económica ya que aporta más del 5% del PIB, genera inversiones agrícolas superiores a los US\$ 200, 000,000 de dólares, ingresos fiscales de más de C\$30 millones de córdobas y aporta más de 60 MW de energía a la red pública nacional. Según registros del Comité Nacional de Productores de azúcar (CNPA) la industria azucarera había venido creciendo sostenidamente los últimos 10 años, la zafra 2013-2014 produjo 16.3 millones de quintales, sin embargo, la zafra 2014-2015 presentó una producción de 15.3 millones de quintales, es decir un millón de quintales menos. Las mayores amenazas para el cultivo industrial de la caña de azúcar son los efectos del cambio climático (sequía, inundaciones, pérdidas de suelo y altas temperaturas) y uso excesivo de agroquímicos. La presente investigación tuvo por objetivo evaluar el uso de microorganismos nativos (*Trichoderma harzianum*, *Bacillus amyloliquefaciens* y *Streptomyces sp*) como antagonistas, promotores de crecimiento y biofertilizante en el cultivo de caña de azúcar, variedad CP-72-2086, en la ciudad de Managua. Se utilizó el diseño de bloques completos al azar (BCA) en maceteras y los datos se analizaron estadísticamente aplicando ANOVA y la prueba de Tukey haciendo uso del software InfoStat. De esta manera, se concluye que el microorganismo con mejor desempeño como promotor de crecimiento fue *Trichoderma harzianum*, en las variables altura de la planta, diámetro del tallo y mostró mejor resistencia a las condiciones de estrés hídrico. *Bacillus amyloliquefaciens* manifestó su efecto positivo en el número de hojas, número de entrenudos y sistema radicular. *Streptomyces sp* provocó el estímulo de la planta en la variable número de brotes. Esta investigación es la primera etapa de un proceso I+D+i, que nos da los elementos para el desarrollo de un bioinsumo como alternativa de manejo sostenible del cultivo de caña de azúcar a base de microorganismos nativos.

Palabras claves: Antagonismo, bioinsumo, biofertilizante, promotor de crecimiento

INDICE

I. INTRODUCCION	1
II. ANTECEDENTES	2
III. JUSTIFICACIÓN	4
IV. OBJETIVOS.....	5
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	5
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
V. MARCO TEÓRICO	6
5.1. ORIGEN DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR	6
5.2. EXPANSIÓN MUNDIAL.....	6
5.3. CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR EN NICARAGUA.....	7
5.4. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA INDUSTRIA AZUCARERA.....	9
5.5. IMPORTANCIA DE LA CAÑA DE AZÚCAR	10
5.6. VALOR NUTRICIONAL DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR.....	10
5.7. TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA	11
5.7.1. Taxonomía	11
5.7.2. Morfología.....	11
5.7.3. Raíces	12
5.7.4. Flores.....	12
5.7.5. Hojas	13
5.7.6. Tallo.....	13
5.8. VARIEDAD DE CAÑA DE AZÚCAR CP-72-2086.....	14
5.8.1. Origen.....	14
5.8.2. Siembra	15
5.8.3. Adaptabilidad al suelo	15
5.8.4. Descripción Botánica.....	16
5.9. ETAPAS DE DESARROLLO VEGETATIVO	18
5.9.1. Etapas fenológicas del cultivo de caña de azúcar	18
5.10. REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES.....	20
5.11. REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMÁTICOS	20
5.11.1. Clima	21
5.11.2. Suelos.....	21
5.12. LABORES CULTURALES.....	23

5.12.1. Preparación de la tierra	23
5.12.2. Sistema de siembra.....	24
5.12.3. Control de malezas	27
5.13. RIEGO EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR	28
5.14. FERTILIZACIÓN EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR	28
5.14.1. Completo: 10-30-10.....	30
5.14.2. Urea 46%	30
5.14.3. Eficiencias	30
5.15. PLAGAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR.....	31
5.15.1. Gusano taladrador (<i>Diatraea saccharalis</i>)	31
5.15.2. Taladrador menor de la caña de azúcar (<i>Elasmopalpus lignosellus</i>)	31
5.15.3. Barrenador gigante de la caña o Gusano tornillo (<i>Castnia licus</i>).....	31
5.15.4. Jobotos (<i>Phyllophaga sp.</i>).....	31
5.15.5. Gusano medidor (<i>Mocis latipes</i>)	32
5.15.6. Salta hojas antillano (<i>Saccharosydne saccharivora</i>)	32
5.16. ENFERMEDADES DE LA CAÑA DE AZÚCAR	32
5.16.1. Causadas por hongos	32
5.16.2. Causadas por bacterias	33
5.16.3. Causadas por virus	34
5.17. MICROORGANISMOS UTILIZADOS EN LA AGRICULTURA.....	35
5.17.1. MICROORGANISMOS BENEFICOS.....	35
5.17.2. MICROORGANISMO FITOPATÓGENO	44
5.18. SUSTRATOS NATURALES	47
5.18.1. Como se elaboran los sustratos naturales	47
5.18.2. Características de un sustrato natural	47
5.19. PROPIEDADES HÍDRICAS DE LOS SUSTRATOS NATURALES	48
5.19.1. Capacidad de campo (CC).....	48
5.19.2. Punto de Marchitez Permanente (PMP)	48
5.20. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUSTRATOS NATURALES	49
5.20.1. Estructura	49
5.20.2. Textura	49
5.20.3. Densidad Aparente (Da).....	49
5.20.4. Densidad real (Dr)	50
5.20.5. Porosidad	50

5.21. PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS SUSTRATOS NATURALES.....	50
5.21.1. Acidez (pH).....	50
5.21.2. Materia Orgánica (MO).....	50
5.22. RIEGO POR GOTEO.....	50
5.22.1. Riego por goteo en Nicaragua	51
5.22.2. Diseño de un sistema de riego.....	52
5.23. DISEÑO EXPERIMENTAL	53
5.23.1. Diseño de bloques completos al azar	54
5.24. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	55
5.24.1. Análisis de varianza (ANAVA).....	55
5.24.2. Prueba de Tukey	56
5.25. SOFTWARE INFOSTAT.....	56
VI. HIPÓTESIS	57
6.1. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	57
6.2. HIPÓTESIS ALTERNATIVA (HA).....	57
6.3. HIPÓTESIS NULA (HO)	57
VII. METODOLOGIA.....	58
7.1. LOCALIZACIÓN	58
7.1.1. Macrolocalización.....	58
7.1.2. Microlocalización	58
7.2. CONDICIONES CLIMÁTICAS.....	59
7.2.1. Descripción de las condiciones climáticas	59
7.3. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL ÁREA DE ESTUDIO	59
7.4. MUESTREO DEL SUELO	60
7.5. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO- QUÍMICAS DEL SUSTRATO.....	60
7.6. MANEJO AGRONÓMICO	61
7.6.1. Instalación del Riego	61
7.6.2. Preparación del sustrato	61
7.6.3. Llenado de maceteras.....	61
7.6.4. Fertilización	61
7.6.5. Selección y siembra de la semilla	61
7.6.6. Riego	62
7.6.7. Control de malezas	62
7.7. PLAGAS ENCONTRADAS EN EL CULTIVO	62

7.7.1. El salivazo de la caña de azúcar o salivita (<i>Aeneolamia varia</i>)	62
7.7.2. Chinche de encaje (<i>Leptodictya tabida</i>).....	63
7.7.3. Picudo del Pseudotallo, Picudo rayado (<i>Metamasius hemipterus</i>).....	63
7.7.4. Gusano cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>).....	63
7.8. CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES.....	63
7.9. DISEÑO EXPERIMENTAL	64
7.9.1. Tratamientos	64
7.9.2. Características de los tratamientos.....	65
7.10. MICROORGANISMOS UTILIZADOS EN EL ENSAYO.....	65
7.11. VARIABLES DE RESPUESTA	66
7.11.1. Variables de desarrollo.....	66
7.11.2. Variables de cosecha	66
7.11.3. Variables de laboratorio	67
7.12. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	70
7.12.1. Análisis de Varianza:.....	71
7.12.2. Prueba de Tukey:.....	71
VIII. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	72
8.1. ANALISIS FISICOQUIMICO DEL SUSTRATO	72
8.1.1. Capacidad de campo (CC).....	72
8.1.2. Punto de Marchitez Permanente.....	73
8.1.3. Densidad Aparente (Da).....	73
8.1.4. Densidad Real (Dr).....	74
8.1.5. Porosidad	74
8.1.6. Textura	75
8.1.7. Potencial de Hidrogeno (pH).....	75
8.1.8. Conductividad eléctrica (CE).....	76
8.1.9. El fósforo.	76
8.1.10. Materia Orgánica (MO).....	77
8.2. RESULTADO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	77
8.3. DISEÑO AGRONÓMICO DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	78
8.4. DISEÑO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	79
8.5. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LAS VARIABLES DE DESARROLLO	80
8.5.1. Análisis de Varianza para la variable altura 220 DDS	80
8.5.2. Análisis de Varianza para la variable diámetro 220 DDS	81

8.5.3. Análisis de Varianza para la variable número de hojas 220 DDS	81
8.5.4. Análisis de Varianza para la variable Número de brotes 220 DDS	82
8.5.5. Análisis de Varianza para la variable número de entrenudos 120 DDS.....	83
8.5.6. Análisis de Varianza para la variable número de hojas afectadas 120 DDS.....	83
8.6. ANÁLISIS DE VARIANZA DURANTE LA COSECHA	84
8.6.1. Análisis de Varianza para la variable de cosecha Grados Brix	84
8.6.2. Análisis de Varianza para la variable de cosecha Peso de biomasa fresca.....	85
8.6.3. Análisis de Varianza para la variable de cosecha Peso de la vareta	86
8.6.4. Análisis de Varianza para la variable de cosecha Peso de las raíces.....	86
8.7. PRUEBA TUKEY PARA LAS VARIABLES DE DESARROLLO	87
8.7.1. Prueba de Tukey para variable altura 220 DDS	87
8.7.2. Prueba de Tukey para la variable diámetro 220 DDS	89
8.7.3. Prueba de Tukey para la variable número de hojas 220 DDS.....	90
8.7.4. Prueba de Tukey para variable número de brotes 220 DDS.....	92
8.7.5. Prueba de Tukey para variable Número de entrenudos 120 DDS	93
8.7.6. Prueba de Tukey para número de hojas afectadas 120 DDS	95
8.8. PRUEBA DE TUKEY DURANTE LA COSECHA.....	96
8.8.1. Prueba de Tukey para variable Grados Brix.....	96
8.8.2. Prueba de Tukey para variable peso de biomasa fresca.....	97
8.8.3. Prueba de Tukey para variable Peso de la vareta.....	99
8.8.4. Prueba de Tukey para la variable Peso de las raíces	100
IX. CONCLUSIONES	102
X. RECOMENDACIONES.....	103
XI. BIBLIOGRAFIA	104
XII. ANEXOS	I
ANEXO I. LISTA DE ABREVIATURAS.....	I
ANEXO II. DISEÑOS	II
Diseño agronómico	ii
Diseño hidráulico	v
ANEXO III. RESULTADOS DE LABORATORIO.....	x
ANEXO IV. DISEÑO GEOMETRICO DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	xIII
ANEXO V. FOTOGRAFIAS	xIV
Foto 1-2: Levantamiento topográfico del área de estudio.....	xiv
Foto 3-5: Instalación de las tuberías para el sistema de riego	xv

Foto 6-8: Muestras tomadas del sustrato utilizado	xvi
Foto 9-11: Pruebas físicas del sustrato utilizado	xvii
Foto 12-14: Llenado de maceteras con sustrato y siembra	xviii
Foto 15-17: Aplicación de Fertilizante	xix
Foto 18-20: Limpieza de la parcela experimental y control de plagas	xx
Foto 21-24: plagas y enfermedades presentes en el cultivo	xxi
Foto 25-27: Preparación de los microorganismos para su aplicación	xxii
Foto 28-30: Aplicación de microorganismos con recipiente PVC spray	xxiii
Foto 31-34: Medición de variables de desarrollo y cosecha	xxiv
Foto 35-37: Resultados positivos en variables evaluadas	xxv

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Etapas fenológicas del cultivo de caña de azúcar	18
Figura 2: Macrolocalización.....	58
Figura 3: Recinto Universitario Simón Bolívar (UNI-RUSB).....	58
Figura 4: Diseño experimental UNI-RUSB.....	64
Figura 5: Tratamiento de muestra en el laboratorio.....	68
Figura 6: Método de dilución seriada de microbiología.....	69
Figura 7: Siembra de microorganismos en placa.....	70
Figura 8: Triangulo Textural	75
Figura 9: Cálculo de la evapotranspiración (Eto) por el método de Penman	77
Figura 10: Gráfico de la prueba de Tukey para la variable altura.....	88
Figura 11: Gráfico de la prueba de Tukey para la variable diámetro.....	90
Figura 12: Gráfico de la prueba de Tukey para la variable número de hojas	91
Figura 13: Gráfico de la prueba de Tukey para la variable número de brotes	93
Figura 14: Gráfico de la prueba de Tukey para la variable número de entrenudos	94
Figura 15: Gráfico de la prueba de Tukey para la variable número de hojas afectadas	96
Figura 16: Gráfico de la prueba de Tukey para la variable grados Brix.....	97
Figura 17: Gráfico de la prueba de Tukey para la variable peso de biomasa fresca	98
Figura 18: Gráfico de la prueba de Tukey para la variable peso de la vareta	100
Figura 19: Gráfico de la prueba de Tukey para la variable peso de las raíces	101
Figura 20: Resultados de análisis físico de suelo	x
Figura 21: Resultados de análisis químico de suelo.....	xi

Figura 22: Interpretación de resultados de Laboratorio UNA	xii
Figura 23: Diseño geométrico del sistema de riego.....	xiii

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valor nutritivo del jugo de caña de azúcar, contenido en 100g.	11
Tabla 2: Taxonomía de la caña de azúcar.	11
Tabla 3: Principales componentes del tallo de caña de azúcar	14
Tabla 4: Principales ventajas y desventajas de la variedad CP-72-2086	17
Tabla 5: Requerimientos Edafoclimáticos	22
Tabla 6: Requerimientos óptimos de agua para la caña de azúcar	28
Tabla 7: Fertilización de la caña de azúcar	29
Tabla 8: Fertilización de la caña Soca.....	29
Tabla 9: Clasificación Taxonómica Trichoderma sp.....	38
Tabla 10: Clasificación taxonómica de Streptomyces sp	40
Tabla 11: Clasificación taxonómica Bacillus sp.....	44
Tabla 12: Clasificación taxonómica de Fusarium sp	46
Tabla 13: Ubicación de la estación meteorológica.	59
Tabla 14: Tratamientos aplicados en el ensayo	65
Tabla 15: Resultados de análisis fisicoquímico del sustrato utilizado.....	72
Tabla 16: Evaluación de la Capacidad de Campo.	72
Tabla 17: Evaluación del Punto de Marchitez Permanente	73
Tabla 18: Evaluación de la Densidad Aparente	73
Tabla 19: Evaluación de la Densidad Real.....	74
Tabla 20: Evaluación de la Porosidad	74
Tabla 21: Rango de valores del pH	76
Tabla 22: Evaluación de la conductividad eléctrica y clasificación del suelo	76
Tabla 23: Rango de valores de materia orgánica.....	77
Tabla 24: Resultados del Diseño Agronómico del sistema de riego por goteo.....	78
Tabla 25: Resultados del Diseño Hidráulico del sistema de riego por goteo	79
Tabla 26: Resultado del análisis de varianza de la variable altura 220 DDS.....	80
Tabla 27: Resultado del análisis de varianza de la variable diámetro 220 DDS.....	81
Tabla 28: Resultado del análisis de varianza de la variable número de hojas 220 DDS.....	81
Tabla 29: Resultado del análisis de varianza de la variable número de brotes 220 DDS	82

Tabla 30: Resultado del análisis de varianza de la variable número de entrenudos a los 120 DDS.	83
Tabla 31: Resultado del análisis de varianza de la variable número de hojas afectadas a los 120 DDS.	83
Tabla 32: Resultado del análisis de varianza de la variable Grados Brix	84
Tabla 33: Resultado del análisis de varianza de la variable Peso de biomasa fresca.....	85
Tabla 34: Resultado del análisis de varianza de la variable “Peso de la vareta”	86
Tabla 35: Resultado del análisis de varianza de la variable Peso de las raíces.....	86
Tabla 36: Resultados de la prueba de Tukey para la variable altura 220 DDS	87
Tabla 37: Resultados de la prueba de Tukey para la variable diámetro 220 DDS	89
Tabla 38: Resultados de la prueba de Tukey para la variable número de hojas 220 DDS	90
Tabla 39: Resultados de la prueba de Tukey para la variable número de brotes 220 DDS	92
Tabla 40: Resultados de la prueba de Tukey para la variable Número de entrenudos 120 DDS ...	93
Tabla 41: Resultados de la prueba de Tukey para la variable número de hojas afectadas 120 DDS	95
Tabla 42: Resultados de la prueba de Tukey para la variable Grados Brix	96
Tabla 43: Resultados de la prueba de Tukey para la variable Peso de biomasa	97
Tabla 44: Resultados de la prueba de Tukey para la variable Peso de la vareta	99
Tabla 45: Resultados de la prueba de Tukey para la variable Peso de las raíces	100

I. INTRODUCCION

El cultivo de la caña de azúcar ofrece grandes oportunidades a los países que, como Nicaragua tienen condiciones para el desarrollo del mismo; este cultivo ha sido catalogado por la UNESCO como el cultivo del futuro para emplearse como una fuente de energía renovable. La caña de azúcar es uno de los rubros de mayor importancia económica en nuestro país debido a la gran diversidad de sus derivados, esta se utiliza principalmente para la obtención de azúcar y alcohol, y los subproductos como el bagazo y la melaza se obtiene la celulosa y el ron, respectivamente; también se utiliza como planta forrajera, por lo tanto es una fuente de divisas (Blanco, 2015).

El cultivo de caña es afectado por las condiciones del clima, suelo y el componente biológico. Entre estos últimos se encuentran los patógenos, que en algunos casos limitan el desarrollo del cultivo provocando pérdidas económicas. Los diferentes patógenos afectan en etapas distintas del ciclo vegetativo y los principales son los hongos, las bacterias, virus y nematodos (CENICAÑA, 2015).

Una de las alternativas a este problema es el uso de microorganismos benéficos los cuales pueden ser usados para elaborar un producto libre de compuestos químicos (bioinsumo); permitiendo la fertilidad y sana producción en el desarrollo de nuestra agricultura. Es necesario señalar que, gracias a la producción de este tipo de bioinsumos, se puede obtener diversos beneficios tales como el desarrollo sostenible de la agricultura, una mejor calidad de vida de la población ya que se reduce el uso de químicos y evita la contaminación de suelos, agua y medio ambiente.

Basándonos en la información de (Lindow & Wilson, 1997), el control de los patógenos que causan las enfermedades de cultivos hasta la fecha se realiza con productos químicos, los cuales se aplican al follaje, a las semillas y al suelo; en la mayoría de los casos, los fungicidas son efectivos sin embargo, trae como consecuencia efectos nocivos sobre el ambiente, sin olvidar el detrimento que causa en la salud humana.

El presente trabajo de investigación consistió en la evaluación de microorganismos nativos benéficos (*Trichoderma harzianum*, *Bacillus amyloliquefaciens* y *Streptomyces sp.*) como antagonistas, promotores de crecimiento y biofertilizantes contra microorganismo fitopatógeno (*Fusarium sp*) en el cultivo de la caña de azúcar variedad CP-72-2086, como una propuesta para reducir uno de los mayores problemas que enfrentan los ingenios azucareros.

II. ANTECEDENTES

En Nicaragua las plagas más importantes que afectan la caña de azúcar en los ingenios azucareros son las siguientes: Salivita en caña (*Aeneolamia* sp.), Taladrador mayor del tallo (*Diatraea saccharalis*) y las Plagas de roedores (*Sigmodon hispidus*) (Jimenez & Rodriguez, 2014).

Entre las principales enfermedades que afectan la caña de azúcar destacan: Carbón (*Ustilago scitaminea*), Roya (*Puccinia melanocephala*), Mosaico común de la caña de azúcar (*Potyvirus*), Raquitismo de la soca (*Leifsonia xyli*), Escaldadura de la hoja (*Xanthomonas albilineans*) y Virus de la hoja amarilla (*Polerovirus*)¹. En cuanto a su comportamiento frente a las principales enfermedades la variedad CP-72-2086, tiene cierta susceptibilidad al virus de la Hoja Amarilla y a la roya naranja (*Puccinia kuehni*). (Duran & Oviedo, 2012).

Se ha evaluado la biofertilización como una alternativa al uso de fertilizantes químicos en caña de azúcar, Cerna-Cock y otros (2012), estudiaron el efecto de la aplicación de microorganismos fertilizantes, *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter chroococcum* y *Trichoderma lignorum* sobre el crecimiento de plantas de caña de azúcar variedad CC-934418, el crecimiento de las plantas mostró diferencias significativas entre los tratamientos. Los microorganismos fertilizantes mostraron un efecto positivo en el crecimiento de las plantas de la caña de azúcar y fueron *Azospirillum brasilense* y *Trichoderma lignorum* los que ejercieron mayor efecto sobre el diámetro del tallo, el sistema radicular y foliar de la planta. En general no se reporta a *Trichoderma lignorum* como promotor de crecimiento vegetal; sin embargo, este estudio demostró que si puede utilizarse como promotor de crecimiento vegetal.

En otro trabajo realizado por Villa et al., (2007) sobre la evaluación de cepas de *Bacillus Subtilis* como bioantagonistas de hongos fitopatógeno del género *Fusarium*, causante de enfermedades en la semilla botánica de la caña de azúcar y de grandes pérdidas en la agricultura. Se evaluaron las cepas de *Bacillus Subtilis* B/23-45-6, B/23-44-7 Y B/BLa10 mediante cultivo dual frente a los hongos *Fusarium solani* 2000 C-29, *Fusarium sporotrichioides* 2000 C-30 y *Fusarium oxysporum* *Schlechtendahl*. Se observó que los *Bacillus subtilis* evaluados disminuyeron el crecimiento micelial de estos hongos entre el 50 y 60% en comparación con el testigo por la excreción al medio de metabolitos antifúngicos, los resultados obtenidos nos indican que se cuenta con tres cepas de *Bacillus subtilis* bioantagonistas de estos hongos, promisorias para el desarrollo de nuevos

¹ http://www.ecured.cu/Enfermedades_de_la_Ca%C3%B1a_de_Azucar

bioproductos que puedan sustituir a los agroquímicos empleados en la desinfección de la semilla botánica de la caña de azúcar.

El trabajo realizado por Agüero (2009) sobre la producción de bacterias fijadoras de nitrógeno (*Azotobacter*, *Bacillus* y *Pseudomonas*); en medio líquido a base de melaza, para su aplicación en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum sp*) en azucarera el Viejo, Guanacaste, Costa Rica, a grandes rasgos se puede concluir que es posible aislar al menos dos de los tres géneros de bacterias deseados; sin embargo puede contemplarse un protocolo que permita identificar la especie de las bacterias fijadoras de nitrógeno.

Los elementos anteriores citados, sumados al estudio ejecutado por Subiros y Bello (2007) en Azucarera el Viejo, justifican la realización de este proyecto de investigación. Los investigadores, luego de comparar el efecto de la fertilización química convencional con el uso de biofertilizantes y la reducción del 50% de la dosis de fertilizante químico, demostraron que se produjo estadísticamente la misma cantidad de caña y sacarosa por hectáreas.

Se reporta muy poca investigación en biofertilizantes, en el cultivo de caña de azúcar según los especialistas Cerna-Cock y otros (2012), a pesar que el cultivo se produce en mas de 90 países en el mundo.

Los resultados de este trabajo de investigación serán novedosos ya que no se reportan trabajos previos en los que, desde la UNI, se haya evaluado el uso de microorganismos (bioinsumos) en el cultivo de caña de azúcar en el Ingenio Montelimar. De esta manera se fortalece la vinculación Universidad Empresa y la innovación agrícola, fundamental para enfrentar los efectos del cambio climático.

III. JUSTIFICACIÓN

La principal problemática en los ingenios azucareros de Nicaragua son los bajos rendimientos que se han venido dando los últimos años debido a los efectos del cambio climático, el uso indiscriminado de agroquímicos conlleva a implementar nuevas tecnologías (bioinsumos) que permitan adaptarse a los efectos negativos del cambio climático y contribuyan a reducir el uso de agroquímicos que afectan directamente el medio ambiente. Con este trabajo de investigación se pretende aportar mayores conocimientos sobre el uso de bioinsumos los cuales son productos elaborados a base de microorganismos promotores del crecimiento vegetal que permiten a la planta mayor resistencia a las condiciones de estrés hídrico y son una alternativa positiva al uso de insumos químicos los cuales dejan altos costos de producción y generan alteraciones al medio ambiente y a la salud humana.

El uso de bioinsumos es de gran utilidad para la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) ya que no se reportan investigaciones en esta área de estudio, por lo cual es un aporte en conocimientos para posteriormente obtener un producto comercializable generando una nueva tecnología. Por otro lado, para la corporación Montelimar estos resultados serán útiles ya que se podrá reducir el uso de agroquímico que afectan directamente los costos de producción, disminuir los daños a la salud humana y el deterioro al medio ambiente.

El desarrollo de esta investigación aportó conocimientos sobre nuevos métodos de fertilización y control de plagas a base de microorganismos, con lo cual se pretende conseguir reducir el uso de agroquímicos usados en la producción de caña de azúcar.

IV. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el uso de microorganismos nativos (*Trichoderma harzianum*, *Bacillus amyloliquefaciens* y *Streptomyces sp*) como antagonistas, promotores de crecimiento y biofertilizantes en el cultivo de la caña de azúcar variedad CP-72-2086 cultivado en maceteras.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar el sistema de riego partiendo del análisis físico-químico del sustrato utilizado para la caña de azúcar variedad CP-72-2086 cultivado en maceteras.
- Determinar el efecto de *Trichoderma harzianum*, *Bacillus amyloliquefaciens* y *Streptomyces sp* como promotores de crecimiento y biofertilizantes en el cultivo de caña de azúcar, variedad CP-72-2086.
- Identificar el efecto antagonista de *Trichoderma harzianum*, *Bacillus amyloliquefaciens* y *Streptomyces sp* contra *Fusarium sp* en el cultivo de la caña de azúcar, a través de ensayos en maceteras y pruebas in vitro.

V. MARCO TEÓRICO

5.1. ORIGEN DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es una gramínea tropical, un pasto gigante emparentado con el sorgo y el maíz en cuyo tallo se forma y acumula un jugo rico en sacarosa, compuesto que al ser extraído y cristalizado en el ingenio se forma el azúcar. Es un cultivo originario de Nueva Guinea (Subirós, 2000, Lizandro et al., 2002, & Romero, 2009).

El género *Saccharum* corresponde a un complejo constituido por seis especies; cuatro domesticadas (*Saccharum officinarum*, *Saccharum edule*, *Saccharum barberi* y *Saccharum sinensis*) y dos silvestres (*Saccharum spontaneum* y *Saccharum robustum*) (Subirós, 1995).

Las gramíneas o Poaceae son una familia de plantas de porte herbáceo, perennes o anuales. Los tallos suelen ser cilíndricos, nudosos y generalmente huecos, y cuando presentan ramificaciones las tienen a nivel del suelo, extendidas lateralmente con rizomas subterráneos o estolones superficiales. Las hojas son liguladas, diferenciadas en vaina y limbo de tamaño muy variable que puede oscilar entre pocos milímetros hasta varios metros. Las flores son hermafroditas y se agrupan en unas estructuras denominadas espiguillas que a su vez se reúnen en espigas o panículas y tienen fruto cariósido.²

5.2. EXPANSIÓN MUNDIAL

La caña es originaria de Nueva Guinea, en Indonesia, Oceanía, al norte de Australia, desde donde se extendió por el sureste de Asia, especialmente por la India. Desde aquí y siguiendo el rumbo de movimiento migratorios, invasiones y el comercio, la caña llegó a diferentes zonas de África y de Europa, implantándose en países tropicales y subtropicales. Con la expansión árabe y a través del mediterráneo, la caña llegó a la Península Ibérica. A consecuencia de la invasión de esta por el general Tarik, tras la batalla de Guadalete y derrota del rey Visigodo Don Rodrigo en el año 711, la caña llega sobre el 755 y se implanta su cultivo en los reinos de Valencia y Granada durante el siglo IX, especialmente en las costas andaluzas de Málaga, Granada y Almería. Donde más próspero dicho cultivo, logrando el máximo rendimiento, fue en las vegas de Motril y Salobreña, debido a la calidad del terreno

² <http://www.ugr.es/~aerobio/gramineas.htm>

y mejores condiciones ambientales, por el clima tropical, más benigno y con menor número de heladas, que en las vegas de Málaga y Adra.

Desde estas zonas costeras se llevó la caña a las Islas Canarias y, a partir del descubrimiento de América, se exportó a nuevo mundo en el segundo viaje de Cristóbal Colón en 1,493, llegando a Santo Domingo (La Española); pasando después a Cuba, y a otros países Iberoamericanos, como México, Ecuador, Colombia, Venezuela, Perú, Brasil y sobre el año 1,741 se introdujo a E.E.U.U (Luisiana), siendo el “más grande regalo del Viejo al nuevo mundo, la caña de azúcar”, según cita de un autor. Es a partir del Siglo XVI cuando se extiende considerablemente su cultivo, llegando a ser la segunda mercancía más importante, después de la producción de metales preciosos.

Entre 1,521 y 1,524 Hernán Cortés conquista el actual estado mexicano de San Luis de Potosí y al final del siglo XVI se implanta aquí la caña de azúcar. Actualmente Brasil es el mayor productor de azúcar a nivel mundial, seguido de India, China, Pakistán, México, Tailandia, Colombia, Cuba entre otros.³

5.3. CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR EN NICARAGUA

La introducción de la caña de azúcar llegó a suelos de Nicaragua, en el año de 1,526, con el gobierno de don Pedrarias Dávila. Los resultados de la cosecha de la siembra se usaban y se hacía esencialmente para el uso doméstico.

El Sur y Sur-Oeste de Nicaragua son considerados los suelos de alta pluviosidad y temperatura adecuada para el cultivo de caña de azúcar. Para el siglo XVIII en Nicaragua se dio la producción para la exportación del azúcar debido a la rápida aceptación del producto en pequeñas cantidades y azúcar cruda en bruto.

En el año de 1,892 se fundó el primer ingenio azucarero denominado “San Antonio” que resultó ser el más extenso a nivel nacional. La exportación comenzó dentro de los primeros treinta años del siglo XX, con unos 36 mil quintales al área Centroamericana y Europa. En el año de 1,920 Nicaragua exportaba cerca de 170 mil quintales al mercado mundial.

En 1,948 inicia sus funciones el ingenio Monte Rosa, posteriormente en los años 1,960 y 1,969 comienzan a trabajar dos ingenios más los cuales son el Benjamín Zeledón y Montelimar. Hay que aclarar que el ingenio Monte Rosa es propiedad del Grupo Pantaleón de Guatemala, situado en el Viejo, Departamento de Chinandega,

³ <https://goo.gl/IH4vUN>

a 150 kilómetros al occidente de Managua, la capital de Nicaragua en Centroamérica, y tiene una capacidad de producción de molienda diaria de 7 mil toneladas cortas por cada día. La compañía azucarera del sur es la propietaria del Ingenio Benjamín Zeledón localizado en el departamento de Rivas, en Potosí, al sur de Managua. Produce de molienda diaria 3,500 toneladas cortas por día.

El Consorcio Naviero Nicaragüense (NAVINIC) fue propietario del Ingenio Montelimar hoy en día pertenece a la Corporación Montelimar S.A, dicho Ingenio se encuentra ubicado en el Departamento de Managua a 65 kilómetros de la ciudad Capital nicaragüense. Tiene una capacidad instalada de 4,500 toneladas de molienda diaria y un área de cultivo que comprende las 7,050 hectáreas equivalentes a 10 mil manzanas de caña de azúcar.⁴

El tiempo de oro para la industria azucarera fue en los años cincuenta, aunque en años posteriores se dio la modernización al sector azucarero.

El sector azucarero era en ese tiempo privado, pero a causa de la situación crítica que ocurrió en el país por la guerra, en los años 80-90, la producción descendió y fue objeto además de la política de nacionalización por el gobierno de ese período.

Para el año de 1,993, luego de un largo proceso, los Ingenios vuelven a hacerse privados, creando un ente rector llamado Comité Nacional de Productores de Azúcar (CNPA), el cual es el encargado de rectorar, controlar y promover la actividad empresarial de la agroindustria azucarera nicaragüense en torno a su comercialización, estadísticas, tecnología y relaciones internacionales.⁵

La economía de Nicaragua está estrechamente relacionada con el cultivo de caña de azúcar ya que es uno de los cultivos que mayores ingresos económicos generan al país, la actividad azucarera genera más del 5% del PIB, inversiones agrícolas superiores a los US\$ 200, 000,000 de dólares, genera ingresos fiscales de más de C\$30 millones de córdobas y aporta más de 60 MW de energía a la red pública nacional.⁶

⁴ <http://www.montelimar.com.ni/index.php/2-uncategorised/1-la-empresa>

⁵ <http://www.lajornadanet.com/diario/archivo/2007/octubre/el-azucar/industria-azucarera-26.html>

⁶ <http://www.cnpa.com.ni/importancia-economica/>

5.4. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA INDUSTRIA AZUCARERA

Los rendimientos en cuanto a producción han venido disminuyendo debido a las condiciones del cambio climático, desde el año 2,014 hasta la actual fecha, el fenómeno del niño afecto directamente provocando sequías y generando grandes pérdidas económicas en los ingenios azucareros de Nicaragua.

La industria azucarera de Nicaragua había venido creciendo sostenidamente durante los últimos 10 años hasta el 2014, la sequía cambio la historia. La zafra 2012-2013 produjo 15.6 millones de quintales y se esperaba que en el siguiente periodo se alcanzara los 17 millones de quintales, pero eso no ocurrió. Las áreas de siembra se ampliaron, las inversiones crecieron, pero los resultados no fueron los deseados. La zafra 2013-2014 tuvo un rendimiento de 16.3 millones de quintales, pero en el 2014-2015 el total bajo a 15.3 millones de quintales, es decir un millón de quintales menos, de acuerdo a las estadísticas que maneja en su página web el Comité Nicaragüense de Productores de Azúcar (CNPA). El primer estimado que el comité lanzó para la zafra 2015-2016 es de 13.2 millones de quintales, lo que presenta una caída estrepitosa (Rostran , 2016).

En Nicaragua actualmente hay cuatro ingenios que conforman la agroindustria azucarera, Monte Rosa, San Antonio, Benjamín Zeledón y Montelimar los cuales alcanzaron a cultivar 59,017 manzanas en la zafra 2014-2015. Entre los cuatro ingenios del país se logra una producción de 13.7 millones de quintales de azúcar cruda, una cifra muy por debajo de lo que el sector se había proyectado. No obstante, el sector está satisfecho con las lluvias este año 2016, cuyos cálculos para la próxima zafra es romper el record histórico logrado hace 2 años de 16.4 millones de quintales.⁷

El fenómeno del cambio climático es un problema muy serio en nuestro país y nuestro único y principal reto es la adaptación que exige redoblar esfuerzos en cambios de actitudes de todos los nicaragüenses, ante un problema real.

Los países centroamericanos son altamente vulnerables a los fenómenos meteorológicos debido a su ubicación geográfica y a la situación de pobreza que enfrentan. Nicaragua, es un país altamente vulnerable ante sismos, erupciones volcánicas, inundaciones, deslaves, huracanes, sequías y tsunamis. La población en riesgo ante huracanes y tormentas tropicales en Nicaragua es del 25,4% equivalente a 1,3 millones de personas; mientras que la sequía afecta casi al 45%

⁷ <http://canal2tv.net/2016/06/22/finaliza-zafra-azucarera-en-el-pais/>

de la población a nivel nacional. Nicaragua es de los países en el mundo que es más afectado por cambio climático (CEPAL, 2010).

De la mano de la mecanización, por su lado, la caña de azúcar ha logrado duplicar su producción por manzanas en seis décadas y media. Mario Amador, director ejecutivo del Comité Nacional de Productores de Azúcar (CNPA), dijo que después de la guerra de los ochenta el sector empezó a mejorar sus rendimientos de la mano de la inversión extranjera y nacional. Amador dijo que la modernización en la producción de caña de azúcar ha permitido que Nicaragua se ubique como uno de los sectores azucareros más eficientes a nivel regional y además los pequeños productores han podido tener acceso a los servicios que ofrecen los ingenios azucareros.⁸

5.5. IMPORTANCIA DE LA CAÑA DE AZÚCAR

La producción de caña de azúcar reviste gran importancia no solo por su contribución al desarrollo agrícola e industrial, sino también por su capacidad para crear gran cantidad de empleos, además de la generación y captación de divisas y el suplemento calórico de la dieta alimentaria, producción de alcohol, componentes alimenticios para animales, bebidas gaseosas, papel, repostería y dulces. Por lo tanto se ubica entre los cultivos de mayor importancia no solo para Nicaragua sino a nivel mundial.⁹

5.6. VALOR NUTRICIONAL DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR

El jugo de la caña de azúcar es rico en:

- Carbohidratos simples: Sacarosa (40-60%), glucosa (6-9%), fructuosa (5-10%). En variedades salvajes el porcentaje de sacarosa puede ser de tan solo el 12%, y aún menor para los demás azúcares.
- Fibra
- Vitaminas: tiamina, riboflavina, niacina, ácido pantoténico.
- Minerales: Potasio, Calcio, Hierro.
- Ácido aconítico (mayoritario), ácido málico, ácido cítrico.¹⁰

⁸ <http://www.laprensa.com.ni/2016/04/06/economia/2013662-agricultura-sigue-arcaica>

⁹ <https://goo.gl/x4aG12>

¹⁰ <http://goo.gl/gT6kbe>

Tabla 1: Valor nutritivo del jugo de caña de azúcar, contenido en 100g.

ELEMENTOS	CONTENIDO
Calorías	62kcal
Azúcares	16.5g
Proteínas	0.6g
Grasas	0.1g
Fibra	3.1g
Calcio	8mg
Hierro	1.4
Tiamina	0.02mg
Riboflavina	0.01mg
Niacina	0.10mg
Vitamina C	3mg

Fuente: Botanical online, 2016: <http://goo.gl/gT6kbe>

5.7. TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA

5.7.1. Taxonomía

Tabla 2: Taxonomía de la caña de azúcar.

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Liliopsida</i>
Subclase	<i>Commelinidae</i>
Orden	<i>Poales</i>
Familia	<i>Poaceae</i>
Subfamilia	<i>Panicoidae</i>
Tribu	<i>Andropogoneae</i>
Género	<i>Saccharum</i>
Especie	<i>S. officinarum</i>

Fuente: Ficha técnica del cultivo de caña de azúcar, 2015: <http://goo.gl/Wywoau>

5.7.2. Morfología

El conocimiento de la morfología de la planta permite diferenciar y reconocer las especies o variedades existentes. Este conocimiento es útil, ya que permite distinguir la constitución externa e interna de una especie y conocer cuál de sus órganos tiene la mayor importancia agroeconómica.

Las partes básicas de una planta que determinan su forma son: la raíz, el tallo, la hoja y la flor. Todas cumplen una función específica y están estrechamente relacionadas entre sí. Las estructuras externas e internas varían entre las partes, inciden en el normal funcionamiento y desarrollo de la planta y son la base para su clasificación botánica. (Amaya , Cock, Hernández , & Irvine, 1995)

5.7.3. Raíces

Es de tipo fibroso, conocida en la industria azucarera latinoamericana como cepa, se extiende hasta 80 cm de profundidad cuando los suelos son profundos, el 80% de la misma se encuentra regularmente en los primeros 35 cm del suelo. La raíz es una parte esencial de la planta ya que permite la absorción de nutrimentos y agua, además del anclaje de la planta, especialmente necesario en plantaciones cosechadas mecánicamente, ya que la cosechadora remueve las raíces cuando éstas son muy superficiales y cuando están asociadas con suelo arenoso (Subirós, 2000, Lizandro et al., 2002, & Romero, 2009).

Estudios realizados demuestran que el sistema radical está formado por dos tipos de raíces las cuales son:

Raíces de la estaca original o primordial. Se originan a partir de la banda de primordios radicales, localizados en el anillo de crecimiento del trozo original (estaca) que se planta o siembra. Son delgadas, muy ramificadas y su período de vida llega hasta el momento en que aparecen las raíces en los nuevos brotes, lo cual ocurre entre los 2 y 3 meses de edad.

Raíces permanentes. Brotan de los anillos de crecimiento radical de los nuevos brotes. Son numerosas, gruesas, de rápido crecimiento y su proliferación avanza con el desarrollo de la planta.

La cantidad, longitud y la edad de las raíces permanentes depende de las variedades; sin embargo, existen factores ambientales como el tipo de suelo y la humedad que influyen en estas características (Amaya , Cock, Hernández , & Irvine, 1995).

5.7.4. Flores

La inflorescencia es una panícula de forma y tamaño variables, características de cada cultivar o variedad usado, las flores son hermafroditas completas. La manipulación sexual o por semillas se utiliza solamente en programas de mejoramiento, para la obtención de híbridos más productivos, resistentes a ciertas plagas y enfermedades o adaptables a una región específica (OCÉANO, 2000).

La caña de azúcar presenta dos fases de desarrollo. La vegetativa, originada por la división celular en los puntos de crecimiento; y la reproductiva o de floración, que es una continuación de la anterior las condiciones ambientales de fotoperíodo, temperatura, disponibilidad de agua y nivel de nutrimentos en el suelo son favorables.

La inflorescencia de la caña de azúcar es una panícula sedosa en forma de espiga. Está constituida por un eje principal con articulaciones en las cuales se insertan las espiguillas, una frente de la otra; estas contienen una flor hermafrodita con tres anteras y un ovario con dos estigmas. Cada flor está rodeada de pubescencias largas que le dan a la inflorescencia un aspecto sedoso. En cada ovario hay un óvulo, el cual, una vez fertilizado, da origen al fruto o cariósida. Por lo tanto, lo que comúnmente se conoce como semilla es una cariósida. El fruto es de forma ovalada de 0.5 mm de ancho y 1.5 mm de largo, aproximadamente (Amaya , Cock, Hernández , & Irvine, 1995).

5.7.5. Hojas

Es en forma de vaina, su función principal es proteger a la yema, nace en los entrenudos del tallo. A medida que la caña se desarrolla, las hojas bajas se vuelven senescentes, se caen y son reemplazadas por las que aparecen en los nudos superiores (Subirós, 2000, Lizandro et al., 2002, & Romero, 2009).

La hoja es un órgano especializado cuya función es llevar a cabo la fotosíntesis; proceso mediante el cual los cloroplastos convierten la energía lumínica en energía química. También las hojas cumplen un papel importante en el proceso de respiración celular, en la transpiración y en el intercambio gaseoso.

Las hojas son alternas, colocadas más o menos en el mismo plano de adherencia, el nudo está constituido por el limbo y la vaina (yagua), y esta, es la parte que envuelve el tallo (Granados, 2003).

5.7.6. Tallo

La parte esencial para la producción de azúcar lo constituye el tallo, dividido en nudos y entrenudos. El largo de los entrenudos puede variar según las variedades y desarrollo de la planta, está compuesto por una parte sólida llamada fibra y una parte líquida, el jugo, que contiene agua y sacarosa. En ambas partes también se encuentran otras sustancias en cantidades muy pequeñas (Subirós, 2000, Lizandro et al., 2002, & Romero, 2009).

Es el órgano más importante de la planta de la caña, ya que en él se almacenan los azúcares. La caña de azúcar forma cepas constituidas por la aglomeración de los tallos, que se originan de las yemas del material vegetativo de siembra y de las yemas de los nuevos brotes subterráneos. El número, el diámetro, el color y el hábito de crecimiento del tallo dependen, en gran parte, de las condiciones agroecológicas de la zona donde crece y del manejo que se le brinde a la variedad.

Existen variedades en las cuales el desarrollo vegetativo no es uniforme y presentan una alta frecuencia de tallos con edades muy diferentes. También ocurre, a veces, que cuando estos alcanzan un avanzado desarrollo brotan numerosos tallos débiles que no tienen valor para la molienda, y en algunos casos presentan, un grosor exagerado y se les denomina “bretones”. Este tipo de tallo aparece con frecuencia cuando las yemas basales del tallo principal quedan expuestas a una mayor acción de los rayos solares, como ocurre cuando se presentan volcamientos o el hábito de crecimiento es abierto (Amaya , Cock, Hernández , & Irvine, 1995).

Tabla 3: Principales componentes del tallo de caña de azúcar

Componentes	% del tallo
Agua	73-76
Sacarosa	8-15
Fibra	11-16

Fuente: EcuRed, 2013: <http://goo.gl/Xcji0r>

5.8. VARIEDAD DE CAÑA DE AZÚCAR CP-72-2086

5.8.1. Origen

La variedad CP-72-2086 fue seleccionada de una progenie proveniente del cruce entre CP62-374 x CP63-588 realizado en 1,967. La variedad CP-72-2086 fue desarrollada a través de la investigación cooperativa entre la USDA-ARS, la Universidad de Florida y la Liga de Cañicultores de Florida y fue liberada a la industria azucarera en 1,982. CP es el lugar de origen Canal Point (Florida), 72 es el año en que fue seleccionada y 2086 el número de correlativo de selección de la variedad. Esta variedad tiene hábitos de crecimiento de tallos semiabiertos con regular cantidad de follaje. El deshoje natural es catalogado como regular y el cogollo es largo (Marín, 2010).

Es una variedad de tallo mediano (25 – 30 mm de diámetro), de color amarillo con algunos parches gruesos, sus entrenudos son medianos llegando a alcanzar 14 cm de entre nudos, rugosos por la presencia de ceras, el nudo es hendido y conoidal, su color cuando joven es amarillo claro y maduro varia de amarillo a verde; su anillo de crecimiento es protuberante y ancho, yema ovalada y hoja erecta con la punta curvada (Granados, 2003).

En lo específico se identifica la variedad CP-72-2086 como la más destacable en la región centroamericana al ocupar el primer lugar de cultivo y uso comercial, reportando en Nicaragua un 53,3% de cobertura de siembra, seguido por El Salvador con el 53,0%, Guatemala con el 33,3%, Costa Rica con el 12,6%, Panamá con el 8,1% y Belice con un 2,3%. En los primeros cinco países esa variedad ocupa como se indica el primer lugar, lo que no deja duda de su aceptación y calidad productiva (Chaves M. , 2015).

5.8.2. Siembra

En siembra aplicando pre-riego al fondo del surco y a una profundidad de 15 cm, ha mostrado porcentajes promedio de emergencia de 35.1% con 2 a 2.5 tallos secundarios por brotes primario en los primeros 45 días después de siembra.

Los mejores resultados se obtienen colocando 8 yemas por metro lineal, siendo posible utilizar el sistema de siembra en cadena sencilla sin traslape. El éxito de una buena emergencia depende de la calidad de semilla, profundidad de siembra y disponibilidad de humedad en el suelo al momento de la siembra (Granados, 2003).

5.8.3. Adaptabilidad al suelo

Ha demostrado ser una variedad de adaptación universal a las diversas condiciones de suelo existentes en la zona limitada por la altitud, la cual presenta buen comportamiento a altura de 0-550 msnm, a excepción de los suelos tipo 1, 5 y 6 en los cuales indispensablemente es necesario contar con riego para el cultivo en épocas seca para asegurar la productividad de la plantación (Granados, 2003).

5.8.4. Descripción Botánica

Entrenudo y nudo

El entrenudo es curvado y ligeramente formado en zigzag, y contiene una cicatriz foliar ligeramente abultada. Tiene color verde amarillento con manchas negras y cerosas. El nudo tiene forma de crecimiento cilíndrico los entrenudos están cubiertos por una moderada capa oscura en la parte que envuelve la vaina, corteza de dureza media cerosa y longitud moledera de 2.5 m a 3 m (Marín, 2010).

Vaina, lamina foliar, aurícula y lígula

La vaina es de color verde con manchas rojizas, borde seco unido longitudinalmente, es de desprendimiento intermedio. La lámina foliar es de hoja ancha, verde oscuro o intenso. La aurícula posee forma lanceolada larga y corta en un lado y en el otro transicional inclinada. La lígula es deltoides con rombo (Marín, 2010).

Cuello

El cuello de la CP-72-2086 es color verde oscuro y de superficie mayormente lisa, tiene incidencia baja a escaldadura y carbón (Marín, 2010).

Yema

Redondeada, tocando el anillo de crecimiento, pero no la cicatriz foliar. Poro germinativo sub-apical. Posee alas membranosas sin pelos y ausencia de apéndice, la yema es redonda con protuberantes alas (Marín, 2010).

Hojas

De inserción semierecta y compactas, con puntas dobladas. De lámina ancha y de color verde oscuro o intenso, con bordes aserrado fino y de textura suave al tacto (Marín, 2010).

Floración

La floración es temprana y por ello se le clasifica dentro de las variedades de duración temprana, es de abundante floración (90%), sin embargo, dicha floración disminuye en las fincas del estrato bajo debido principalmente al fotoperíodo mientras mayor sea la intensidad lumínica menor será la floración.

Dicha floración la clasifica como una variedad de maduración temprana siendo muy rendidora al inicio de la zafra. Se recomienda cortar en los meses de noviembre, diciembre y a mediados de enero inclusive. Debido a la floración, produce corcho y en condiciones fuertes del inicio del verano y el tiempo que transcurre al corte puede deteriorar los entrenudos superiores (Marín, 2010).

Características agronómicas

Es de buena germinación, macollamiento bueno y temprano, buen desarrollo cuando se siembra en la época adecuada; despaje regular, las hojas permanecen adheridas al tallo, se desprenden fácilmente con la mano, resistente al acame, regular tenacidad, abundante floración, prospera bien en suelos húmedos y bajo riego a una altitud de 0 a 220 msnm, se adapta bien a suelos francos, franco-limosos, franco arenoso y franco arcilloso profundos. A pesar de que posee una coloración verde amarillento en los primeros estadios de desarrollo presenta tonalidades cafés. Posee buen vigor y buen cierre de calle. Su hábito de crecimiento es erecto sin embargo tiende a acamarse, aunque no en su totalidad.

La CP-72-2086 es una variedad de muy buen tonelaje y alta productora de azúcar. A un nivel comercial ha logrado alcanzar una gran preferencia debido a sus altos tonelajes en el campo y elevadas producciones de azúcar en la fábrica (Camparini, 2006).

Características Industriales

Presenta características sobresalientes cuando se le tiene y conserva como variedad pura. Su fibra normalmente no excede de 13%, cuando se le roza oportunamente a su madurez, su Pol en caña alcanza valores en el rango de 15 a 18% con purezas de sus jugos que oscilan entre 86 y 92% (Granados, 2003).

Tabla 4: Principales ventajas y desventajas de la variedad CP-72-2086

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Alto rendimiento de azúcar por unidad de área 	<ul style="list-style-type: none"> • Susceptible a Mosaico
<ul style="list-style-type: none"> • Producción estable 	<ul style="list-style-type: none"> • Susceptible A raya roja
<ul style="list-style-type: none"> • Adaptable a diferentes manejos 	<ul style="list-style-type: none"> • Medianamente susceptible a YLS
<ul style="list-style-type: none"> • Se puede cosechar en toda la zafra 	<ul style="list-style-type: none"> • Medianamente susceptible a Roya naranja <i>Puccinia Kuehnii</i>

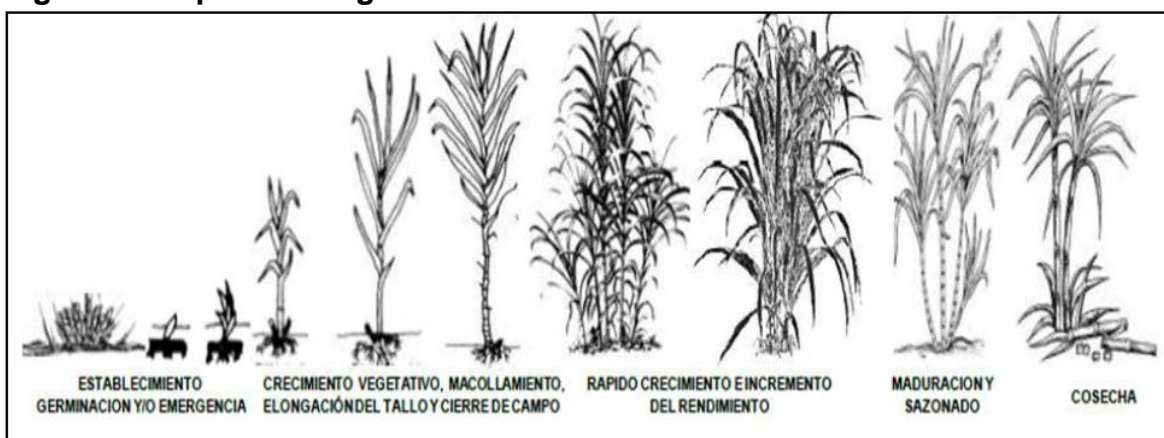
Fuente: Marín, 2010: <https://goo.gl/gtVwsT>

5.9. ETAPAS DE DESARROLLO VEGETATIVO

5.9.1. Etapas fenológicas del cultivo de caña de azúcar

El cultivo de caña de azúcar en su ciclo de plantilla tiene un desarrollo vegetativo de duración variable, dado a que depende de la variedad y de la influencia del clima. De la siembra a la cosecha, el cultivo en variedades tempranas puede durar desde los 10 a 11 meses y en variedades tardías de 14 y hasta 17 meses. En este período la caña de azúcar pasa por cuatro etapas: germinación y/o emergencia, macollamiento o ahijamiento, rápido crecimiento y maduración (Figura 1). En tanto, el desarrollo de las socas (segundo corte de la caña) tiene una duración de 11 a 13 meses y se distinguen tres etapas: brotación y macollamiento, rápido crecimiento y maduración. A continuación se describe cada una de estas etapas (FIRA, 2010).

Figura 1: Etapas fenológicas del cultivo de caña de azúcar



Fuente: CONADESUCA, 2015: <http://goo.gl/Wywoau>

Germinación y emergencia

La germinación es el proceso que da paso a los órganos primordiales latentes en la yema al estado activo de crecimiento y desarrollo. Aunque la duración de esta etapa puede variar, inicia entre los 7 a 10 días después de la siembra. El crecimiento inicial se prolonga hasta los 35 días. Las temperaturas óptimas para la brotación oscilan entre los 24 a 37°C con disponibilidad de buena humedad en el suelo.

El éxito de esta fase radica en la magnitud, ritmo y uniformidad de la emergencia (desarrollo inicial de la plántula), como también en el logro de una adecuada distribución espacial de los tallos primarios en el surco. Emergencias pobres y prolongadas afectarán el cumplimiento efectivo de las siguientes fases y finalmente la producción del cañaveral (Romero, 2016).

macollamiento o ahijamiento

Esta etapa comienza alrededor de los 35 a 40 días después de la plantación y se caracteriza por el brote de varios tallos a partir de las articulaciones nodales que se encuentran en la base de los tallos primarios. Los factores que favorecen el ahijamiento son: la variedad, los días de larga duración y alta intensidad luminosa, una temperatura cercana a los 30°C es la óptima, buenas condiciones de humedad en el suelo y buen nivel de nitrógeno (FIRA, 2010).

Es una fase de gran importancia en la definición del rendimiento, ya que en su transcurso se establece el número potencial de órganos cosechables. Además, durante esta fase ocurre la generación del sistema radicular adventicio y definitivo del cañaveral (Romero, 2016).

Rápido crecimiento

En esta etapa se da la formación y elongación de la caña con rapidez. Así mismo, en esta fase también se presenta una gran acumulación de materia seca y la planta alcanza su máxima área foliar (hojas). Esta etapa puede prolongarse de acuerdo a la variedad, la temperatura y la humedad. Sin embargo, como referencia puede citarse que comienza alrededor de los 120 días después de la plantación y es a los 180 días aproximadamente que queda definido la población de tallos (sólo sobreviven entre el 40 y el 50% de los hijuelos o retoños). En esta fase el cultivo requiere temperaturas sobre los 30°C, disponibilidad de nutrientes y buena condición de humedad (FIRA, 2010).

Como se mencionó, durante esta etapa se define la producción de caña al determinarse la población final de tallos a moler y en gran medida, el peso fresco por tallo. Además, se inicia el almacenamiento de azúcar en los entrenudos que van completando su desarrollo. En esta fase el cultivo expresa la máxima respuesta a los factores ambientales y de manejo (Romero, 2016).

Maduración

En esta etapa de desarrollo de la planta de caña se da el proceso de síntesis y acumulación de sacarosa en los tallos de la caña. La maduración de la caña es de la base al ápice (extremo superior) de la planta. Esta parte del desarrollo tiene una duración de unos 2 a 3 meses. Los factores que favorecen el almacenamiento de sacarosa son aquellos que inhiben el crecimiento de la planta, entre ellos la presencia de noches frescas (temperaturas de 18°C), días calurosos y secos. Aplicaciones elevadas o extemporáneas de nitrógeno tiene un efecto negativo porque retarda la maduración (FIRA, 2010).

Los cultivares (variedades) constituyen un factor intrínseco de gran importancia en la maduración, registrándose entre ellos diferencias en la modalidad y en la producción de azúcar por hectárea (Romero, 2016).

Cosecha

La faena (actividad) de la recolección se lleva a cabo entre los once y los dieciséis meses de la plantación, es decir, cuando los tallos dejan de desarrollarse, las hojas se marchitan y caen y la corteza de la capa se vuelve quebradiza. Se quema la plantación para eliminar las malezas que impiden el corte de la Caña, así como posibles plagas (ratas de campo, víboras, tuzas, etc.) que pudiesen causar daño a los cortadores. Actualmente existe maquinaria para realizar el corte de la caña, sin embargo, la mayor parte de la zafra o recolección sigue haciéndose manualmente. El instrumento usado para cortarla suele ser un machete grande de acero con hoja de unos 50 cm de longitud y 13 cm de anchura, un pequeño gancho en la parte posterior y empuñadura de madera. La caña se corta cerca del suelo al igual que por el extremo superior, cerca del último nudo maduro, ya cortadas se apilan a lo largo del campo, de donde se recogen a mano o a máquina para su transporte al Ingenio (Romero, 2016).

5.10. REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES

La caña de azúcar puede adaptarse a suelos marginales y a cambios bruscos en la fertilidad de los mismos, aunque los suelos pobres propician producciones mediocres en el ámbito internacional. La rusticidad de la planta y la fertilidad del suelo forman una relación importante, esta planta es relativamente tolerante a la presencia de aluminio intercambiable en el suelo, lo que permite el crecimiento de la misma en las capas subsuperficiales de los suelos en la finca (Chaves M. , 2002).

La caña de azúcar está clasificada dentro del grupo de las C4 y es una planta altamente eficiente en la utilización de los nutrimentos del suelo. La cantidad de los nutrimentos extraídos por la planta y su forma absorbible.

5.11. REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMÁTICOS

La caña de azúcar es un cultivo tropical, que se puede cultivar en diversas latitudes, lo que nos hace ver al amplio rango de adaptabilidad del cultivo, claro está que se obtienen mejores resultados cuando las condiciones tales como temperatura, precipitación, humedad y el suelo favorecen el óptimo desarrollo de este cultivo (Palacios & Peña, 2015).

5.11.1. Clima

Temperatura

Los requerimientos de temperatura de este cultivo están definidos en dos periodos, el periodo de crecimiento y desarrollo con temperaturas entre los 25 a 30 °C y el periodo de maduración entre los 18 a 22 °C (Palacios & Peña, 2015).

Luminosidad

Se ha establecido suficiente evidencia del efecto de la luz sobre la caña, se han realizado experimentos para determinar la sensibilidad fototrópica de la caña y sus resultados demuestran que no es un atributo continuo en la planta; que la atracción que la luz ejerce sobre la planta es efímera y restringida a estados incipientes en su desarrollo, la longitud del día es muy importante para la planta pues afecta el metabolismo e interviene directamente en la floración.

A mayor brillo solar mayor actividad fotosintética, este factor también favorece el traslado de los carbohidratos de las hojas al tallo y así se tiene que en zonas de menor luminosidad habrá menor rendimiento ya que la caña de azúcar es altamente fotosintética (Granados, 2003).

Precipitación

La caña de azúcar necesita de la precipitación en el periodo de desarrollo del cultivo, este periodo coincide con la estación lluviosa en los meses de Mayo a Octubre, la precipitación óptima esperada es del orden de los 1,500 mm con una buena distribución a lo largo del periodo de desarrollo (Palacios & Peña, 2015).

5.11.2. Suelos

Textura

La caña de azúcar se cultiva en diferentes tipos de suelos, alcanzando los mayores rendimientos en texturas franco arcillosas, arcillosas, francos, por ser suelos aireados, porosos, permeables, de buen drenaje y ricos en nutrientes (Palacios & Peña, 2015).

Profundidad

Los suelos muy profundos resultan ser los mejores, para el óptimo desarrollo de la caña de azúcar, lo que genera una mayor producción. A profundidades inferiores a los 0.30 m se considera como una profundidad marginal, por ser la profundidad de siembra (Palacios & Peña, 2015).

Pendiente

La pendiente no es un factor que limite el desarrollo de la caña de azúcar, más bien limita el grado de mecanización y al riego en su potencial erosivo, pudiendo ser de hasta 10 % (Palacios & Peña, 2015).

Drenaje

El drenaje es una variable a considerar y se mide en función de la velocidad de infiltración del agua en el suelo, para la mejor utilización del agua por la planta, el rango de utilización va de 2.0 a 12.7 cm /h (Palacios & Peña, 2015).

pH

Este factor afecta al cultivo desde el punto de vista de la absorción de nutrientes de la solución del suelo, el valor óptimo de ph se considera 6.5 ligeramente ácido, pero el rango a considerar es de 5.5 a 7.5 (Palacios & Peña, 2015).

Tabla 5: Requerimientos Edafoclimáticos

Variable	Característica
Clima	
Temperatura	De 25 a 30 °C en crecimiento y 18 a 22 °C en maduración.
Precipitación	1500 mm bien distribuidos a lo largo de su ciclo.
Suelo	
Profundidad	Mayor de 1.5 m.
Infiltración básica	Desde 2.2 a 12.7 cm/h.
Reacción	De 5.5 a 7.5 de ph.

Fuente: Palacios, 2015: <https://goo.gl/JYB6kA>

5.12. LABORES CULTURALES

El proceso productivo se inicia con la preparación del terreno, etapa previa de siembra de la caña. Una vez madurada la planta, las cañas son cortadas y se apilan a lo largo del campo, de donde se recogen a mano o máquina, se atan en haces y se transportan al ingenio, que es un molino en el cual se trituran los tallos y se le extrae el azúcar. No debe transcurrir mucho tiempo al transportar la caña recién cortada a la fábrica porque de procesarse dentro de las 24 horas después del corte se producen pérdidas por inversión de glucosa y fructuosa (Monografía de la caña de azúcar).

5.12.1. Preparación de la tierra

La preparación de tierras en Nicaragua está enmarcada en el periodo de la estación seca entre los meses de noviembre a mayo inclusive, debido a las características de los suelos, las precipitaciones y las ubicaciones de los ingenios azucareros, tiene como objetivo el realizar la menor cantidad de labores en todo el periodo, para garantizar las óptimas condiciones físico-mecánico al momento de la siembra.

Los objetivos son: airear el suelo y descompactarlo, destruir los residuos de cosechas tales como; socas de caña, malezas o plantas naturales, incorporar abonos, facilitar la profunda penetración de las raíces, ayudar a preservar la estructura del suelo, destruir los terrones superficiales y subsuperficiales, preparar la tierra para la siembra y la realización de surcos, la absorción de agua, nutrientes, y fomentar la caña de retoño (Palacios & Peña, 2015).

Subsolado

La labor de subsolado se realiza con la finalidad de eliminar las capas compactas e impermeables mediante su fragmentación, causada por el uso de maquinaria, la compactación tiene efectos negativos que disminuyen la velocidad de infiltración, el drenaje interno, el desarrollo radicular; que produce el volcamiento en zonas con viento fuerte, la porosidad y aumenta la erosión laminar.

Esta labor se realiza cuando el suelo está seco a ligeramente húmedo ya que la fragmentación es mucho mejor, logrando mejorar la aireación, la infiltración, reduce la erosión y mejora el drenaje interno, con una profundidad de 0.50 a 0.60 m, con 6 elementos en la máquina, distanciados de 1 a 1.5 m, realizándose 45 días antes de la siembra (Palacios & Peña, 2015).

Arado o rastra ramplona

Luego de realizar el subsoleo, se procede a arar eligiéndose entre un arado de discos o de vertedera, para complementar la labor anterior tratando así un mayor volumen de suelo en los primeros 40 cm de profundidades, con un arado de discos de 32 pulgadas, labor que se realiza unos 35 días antes de la siembra (Palacios & Peña, 2015).

Gradeo

El gradeo es conocido como el pase de rastra final, esta labor tiene el objetivo de eliminar los terrones grandes y convertirlos en partículas de menor tamaño, si es necesario se pueden realizar dos pases en forma cruzada, la máquina a utilizar tiene 6 discos de entre 22 y 24 pulgadas, labor que se realiza unos 18 días antes de la siembra (Palacios & Peña, 2015).

Surcado

Esta labor consiste en abrir surcos con una máquina con dos surcadores, cuando el terreno es plano esta labor se realiza en línea recta de 100 a 130 m de longitud, la profundidad de trabajo es de 0.30 a 0.35 m y se realiza de 12 a 15 días antes de la siembra (Palacios & Peña, 2015).

Tratamiento de la semilla

Es necesario tratar la semilla (esquejes) antes de la siembra, con el objetivo de protegerla de las diferentes plagas del suelo, que puedan dañarla y destruirla. Existen diferentes tratamientos con agua caliente, aire caliente, utilizando cal, pero el más fácil en el campo es el químico, utilizando una combinación de insecticidas y fungicida aplicado al material de caña sembrado al fondo del surco (Bastida , 2011).

5.12.2. Sistema de siembra

En Nicaragua el sistema de siembra más utilizado es en surco, el cual consiste en depositar la semilla en el fondo del surco y luego se tapa, este sistema de siembra tiene variantes a la hora de depositar la semilla y estas son: chorrillo corrido sencillo, chorrillo y medio y chorrillo doble y triple (Palacios & Peña, 2015).

Chorrillo corrido sencillo

La semilla se deposita en el fondo del surco de manera que vaya inmediatamente después de otro con un traslape de aproximadamente 2 pulgadas entre cada trozo de 0.60 m, siendo este el método más usado tanto en la hacienda como en el ingenio (Palacios & Peña, 2015).

Distribución y profundidad de la semilla en la siembra

Al distribuir la semilla en el surco, debe ser manipulada cuidadosamente, para que queden a 0.20 m de profundidad en el surco, procurando que todas sus partes estén en contacto con el suelo, que está en dependencia de la correcta preparación de tierras. La profundidad de siembra depende de las características del suelo (Palacios & Peña, 2015).

Fertilización en la siembra

La caña de azúcar responde bien a la fertilización, la que se realiza en base a un estudio previo de las necesidades particulares de cada región, generalmente se sugiere adicionar una fuente fosfórica en el fondo del surco, para suplir las necesidades de este elemento y para favorecer al desarrollo radicular (Palacios & Peña, 2015).

Aplicación de insecticida

La aplicación de estos deberá hacerse si verdaderamente se justifica, tomando en cuenta las plagas que deseen combatirse, como ejemplo podemos citar el carbofuran, mefosfolan, aldicarb, para combatir coleópteros se usa el profos, sin embargo su periodo de control es reducido (Palacios & Peña, 2015).

Tape de la semilla

Una vez colocado el fertilizante, el insecticida y la semilla se procede a tapar esta lo antes posible con una capa de tierra de 1 pulgada para que no se deshidrate. Durante la época lluviosa no debe taparse demasiado porque esto retarda el tiempo de emergencia y puede disminuir el porcentaje de germinación, en cambio en verano, debido a la rápida desecación del suelo, puede taparse un poco más.

El tape manual es más lento y costoso que el mecánico, pero asegura una buena cobertura de la semilla con el suelo, al contrario, el tape mecánico es más rápido y barato y con una buena supervisión del operario y del implemento se garantiza la adecuada cobertura y pronta germinación. Al realizar el tape mecánico se debe

realizar una retapa manual, sobre todo en las entradas y salidas del lote, debido a que la tapadora no las cubre (Palacios & Peña, 2015).

Resiembra

Idealmente no debe hacerse esta labor, pero con frecuencia se producen fallas en la germinación que obliga a ello, por ejemplo, uso de material de siembra inapropiado, realizar un corte malo, mal manejo y transporte, exceso o carencia de lluvias o de riego, mala preparación de la tierra, entre otras.

La resiembra debe reducirse para bajar los costos y al mismo tiempo porque todo campo resembrado se atrasa en relación a los demás, ya que necesita cuidados especiales para emparejarlo, esta labor está limitada a las plantaciones de retoños, según el análisis de germinación y población.

Esta labor consiste en el surcado de las áreas perdidas con palas o mediante equipo mecánico, colocando de nuevo los trozos en el fondo del surco procediendo a taparlos, al detectar el problema se debe proceder con rapidez para evitar que el cultivo entre en competencia con áreas aledañas (Palacios & Peña, 2015).

Despoblación

La despoblación existente en los campos de caña de azúcar es la causa que incide en los bajos rendimientos agrícolas y al mismo tiempo relacionado con el enervamiento en los campos, ya que el área despoblada recibe los mismos beneficios, en ella se consume agua, herbicidas, fertilizantes, maquinaria, combustible, uso del suelo y no se obtiene producción (Palacios & Peña, 2015).

Densidad poblacional

Un campo bien poblado debe tener una planta cada 0.60 m o 8,368 plantas por manzana, sembrada a una distancia estándar de 1.40 m entre surcos sencillos y en surcos dobles una planta cada 0.60 m o 9,758 plantas por manzana sembrada a una distancia estándar de 2.40 m entre centro (Palacios & Peña, 2015).

Población

Es el número de plantas que hay en una unidad de superficie dada y a la que nos referimos en este trabajo por su importancia para el rendimiento agrícola, los costos y la producción cañera en general, se estima que un campo tiene una buena población al tener 90 % de esta, y esta despoblado al tener menos del 60 % (Palacios & Peña, 2015).

Germinación

Es el control de las yemas brotadas de cada 100 colocadas en el fondo del surco, transcurridos unos 45 días después de la siembra, el objetivo de este trabajo es dar un procedimiento para el control de población en áreas de producción a gran escala.

5.12.3. Control de malezas

Se ha encontrado que el período crítico de competencia de la caña planta con las malezas, ocurre entre los veinte y cien días después de la siembra y para las socas entre los veinticinco y noventa días después del corte.

A partir de los noventa o cien días del cultivo, la sombra que proyecta el follaje es suficiente para no permitir el crecimiento de las malezas. El combate de las malezas en el cultivo de la caña debe ser integrado, ya que, no existe un método de combate único que proporcione un combate efectivo. Para realizar un manejo integrado se deben considerar los métodos culturales, mecánicos y químicos (Olea, Sabate, Vinciguerra, & Romero, 2009).

Manual

Se utiliza en explotaciones pequeñas de difícil mecanización por la topografía del terreno, también es usado en explotaciones medianas, y cuando la aplicación de productos químicos no ha sido eficaz (Olea, Sabate, Vinciguerra, & Romero, 2009).

Mecánico

Se basa en el efecto que sobre las malezas ejercen los implementos acoplados al tractor. Una buena preparación de tierras permite a la plantía emerger con muy pocas malezas, que, con un método efectivo de control, puede llevar al cultivo al cierre, es decir cubrir la superficie con el follaje y controlar las malezas por sombrío. Pases sucesivos de cultivadores o labores de aporque, ayudan también a controlar las malezas. Este método de control de malezas se usa en explotaciones que cuentan con maquinaria adecuada y un clima y topografía favorable (Olea, Sabate, Vinciguerra, & Romero, 2009).

Químico

La gran mayoría de los productos químicos requieren que las malezas estén comenzando su germinación o estén en etapas iniciales de crecimiento, y que haya suficiente humedad en el suelo, para actuar eficientemente. El producto o productos

químicos a utilizar deberán ser seleccionados en función de los tipos de malezas predominantes (Olea, Sabate, Vinciguerra, & Romero, 2009).

5.13. RIEGO EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR

Una escasa cantidad de reservas orgánicas edáficas propicia también una pobre acumulación de agua disponible para el cultivo, por lo que en zonas irrigadas es necesario incrementar el número de riegos para abastecer al cultivo. Cuando se cuenta con riego, es fundamental saber aplicar las láminas de agua en cantidad, frecuencia y oportunidad. Cuando no se tiene manera de tener un abasto controlado de agua, se afecta de manera negativa el rendimiento y producción de azúcar, aunque es importante mencionar que el estrés hídrico moderado durante la maduración del cultivo (mes a mes y medio antes de la cosecha) retarda la floración y aumenta la producción. Los riegos o lluvia excesiva durante la etapa vegetativa causan problemas en la plantación, porque disminuye la tasa de difusión del oxígeno y afectan la absorción de nutrientes (Romero, 2016).

El agua es vital en la agricultura. La caña de azúcar es un cultivo con relativamente alta eficiencia del uso consuntivo del agua. Sus rendimientos de campo y de azúcar son más altos donde se les da atención a las necesidades de agua.

Estudios realizados en Australia reportan que el cultivo de caña tiene un requerimiento óptimo de agua de 1,530 mm/año, distribuido de la siguiente manera:

Tabla 6: Requerimientos óptimos de agua para la caña de azúcar

Etapa del cultivo	Periodo (días)	Evapotranspiración (mm/día)	Requerimiento total de agua (mm/días)
Siembra a establecimiento	90	4	360
Crecimiento	150	7	1,050
Maduración de azúcares	60	2	120

Fuente: *Guía técnica para el cultivo de caña de azúcar, 2010*: <https://goo.gl/WPQYe8>

5.14. FERTILIZACIÓN EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR

La planta de caña posee altos requerimientos nutricionales en consideración a su elevada capacidad de extracción, y remoción de nutrientes del suelo y a su alta producción de materia verde y seca, se ha demostrado en la práctica que este

cultivo rápidamente agota los suelos, siendo necesario un programa adecuado de fertilización, que restituya al suelo lo extraído por la planta, y lo que haya perdido a través de la materia prima cosechada y procesada en el Ingenio (Ricardo, 2010).

Para una buena fertilización en el cultivo se recomienda realizar análisis de suelo previo a la siembra y análisis foliar a los 4 meses de edad, para conocer el estado nutricional de la planta. A la falta de dicho análisis se recomienda la siguiente fertilización: 308 lb/mz de nitrógeno, 123 lb/mz de fósforo, 154 lb/mz de potasio, fraccionándolo de la siguiente manera:

Tabla 7: Fertilización de la caña de azúcar

Caña Nueva	N	P	K
1- A la siembra	1/3	Todo	1/2
2- A 35 DDS	1/3	0.0	1/2
3- A los 6 meses	1/3	0	0

Fuente: *Guía técnica para el cultivo de caña de azúcar, 2010*: <https://goo.gl/WPQYe8>

Para la caña soca se recomienda utilizar, 277 lb/mz de nitrógeno; 55 lb/mz de fósforo, siempre y cuando se haya realizado la fertilización en caña nueva o plantía.

Tabla 8: Fertilización de la caña Soca

Caña Soca	N	P	K
1- Inicio de invierno	1/2	Todo	0
2- 35 días después	1/2	0	0

Fuente: *Guía técnica para el cultivo de caña de azúcar, 2010*: <https://goo.gl/WPQYe8>

Debido a que el nitrógeno es muy volátil se recomienda su fracción en tres aplicaciones, estudios en Taiwán reportan que, por cada 2 kilos de N, se obtiene 1 tonelada de caña, pero hay que tener mucho cuidado con su exceso, ya que puede ocasionar una maduración muy tardía. En cuanto a fósforo se tiene reportes que es poco móvil en el suelo por eso hay que aplicarlo todo a la siembra y más cerca de la planta. El potasio se fracciona en dos aplicaciones porque se lava muy fácilmente y se recomienda aplicarlo 1 vez cada 3 años (Navarrete, 1986).

El fertilizante es un insumo que contribuye de manera apreciable en la rentabilidad del cultivo, cuando se necesita ajustar el presupuesto, se reducen los niveles por ser un rubro importante en los costos de producción, sin embargo, es uno de los factores que más contribuyen en el aumento del rendimiento de la caña.

El suministro de nutrientes en forma de fertilizante están dentro de los sistemas de producción tecnificada, con el objetivo de incrementar los rendimientos, utilizando formulas nitrogenadas y de completo (Palacios & Peña, 2015).

5.14.1. Completo: 10-30-10

En el mercado existe una variedad de mezclas físicas y químicas usadas para suplir más de un elemento, se debe realizar una aplicación de la formula comercial 10-30-10, la que hace referencia al porcentaje de N, P_2O_5 y K_2O soluble en agua, en este caso contiene 10 % de N, 30 % de P_2O_5 y 10 % de K_2O , con una dosis de 2 qq/Mz (Palacios & Peña, 2015).

5.14.2. Urea 46%

Es la fuente nitrogenada que se emplea con mayor frecuencia en la caña, con un 46 % de nitrógeno, es uno de los más baratos por unidad de este elemento, de moderada higroscopicidad, tiene un contenido de biuret del 2 % que puede causar toxicidad, debiéndose hidrolizar primero con amonio y luego nitrificarse mediante bacterias aeróbicas, existen diversos tipos de ureas, de las cuales las granuladas y súper granuladas son más eficientes agrónomicamente que las priladas, se aplica a razón de 4 qq/Mz (Palacios & Peña, 2015).

5.14.3. Eficiencias

Los nutrientes que se adicionan a los fertilizantes, no son asimilados completamente por el cultivo, la eficiencia de estos oscila entre un 40 a 80 %, específicamente N de un 50 a 70 %, P de 30 a 50 % y K de 50 a 80 %, hay factores que lo afectan son las propiedades físicas, químicas, biológicas del suelo, el clima, las propiedades físico químicas del fertilizante, el método y momento de aplicación, laboreo del suelo y las variedades, para obtener una máxima eficiencia en la absorción de nutrientes, estos se deben distribuir uniformemente dentro de la zona radicular, aumentando las posibilidades de contacto entre la raíz y el fertilizante, minimizando así las pérdidas (Palacios & Peña, 2015).

5.15. PLAGAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR

5.15.1. Gusano taladrador (*Diatraea saccharalis*)

Hay que tener en cuenta las diferentes fases por las que este gusano pasa en su ciclo de vida. En estado adulto se encuentra en estado de reposo, escondido en el envés de las hojas secas de la caña de azúcar durante el día para por la noche retomar su actividad. En estado de larva se encarga de la perforación del raquis de las hojas y posteriormente de taladrar las plantas tiernas. En plantas con un desarrollo mayor, tienen más trabajo a nivel foliar por lo que espera la llegada de la segunda muda para penetrar el tronco y formar galerías a lo largo del mismo. Por último, justo antes de convertirse en pupa, hace galerías de mayor tamaño hasta salir fuera. Las cubre con hilos y fibras de la caña y finalmente se convierte en pupa.

Las consecuencias derivadas de la actividad del gusano taladrador en la caña de azúcar se pueden producir en una pérdida del contenido de sacarosa así como del ° Brix de la misma, muerte de cañas jóvenes y disminución del poder vegetativo de la caña de azúcar (InfoAgro, 2011).

5.15.2. Taladrador menor de la caña de azúcar (*Elasmopalpus lignosellus*)

Se trata también de un taladrador. Al igual que en el caso anterior, la larva taladra el tallo, pero en mayor medida ya que consigue hasta la muerte del retoño. Para controlar esta plaga se puede recurrir a la inundación de surcos (InfoAgro, 2011).

5.15.3. Barrenador gigante de la caña o Gusano tornillo (*Castnia licus*)

Su actividad consiste en llevar a cabo excavaciones para realizar galerías que transcurran por la parte inferior del tallo extendiéndose hasta la subterránea. Este daño causado por el gusano tornillo en la planta, puede desencadenar la invasión de diferentes patógenos (InfoAgro, 2011).

5.15.4. Jobotos (*Phyllophaga sp.*)

Esta plaga destruye las raíces de las plantas consiguiendo que la caña de azúcar se torne de color amarillento y que el follaje vaya muriendo lentamente. Su prevención es relativamente fácil ya que la maquinaria destinada a las labores del suelo puede eliminar las larvas y pupas (InfoAgro, 2011).

5.15.5. Gusano medidor (*Mocis latipes*)

Este gusano se come los bordes de las hojas de las plantas tiernas principalmente. En ocasiones puede llegar a dejar solamente el nervio central de la misma (InfoAgro, 2011).

5.15.6. Salta hojas antillano (*Saccharosydne saccharivora*)

Esta plaga succiona savia y secreta una sustancia azucarada. Sobre esta sustancia se forma fumagina, la cual dificultará la fotosíntesis y transpiración de los tejidos vegetales de la caña de azúcar (InfoAgro, 2011).

5.16. ENFERMEDADES DE LA CAÑA DE AZÚCAR

5.16.1. Causadas por hongos

➤ Roya marrón: Agente causal: (*Puccinia melanocephala*)

Es una enfermedad foliar no sistémica. Inicialmente se observan manchas cloróticas, alargadas, de color amarillo, visibles en ambos lados de la hoja. Cuando aumentan de tamaño adquieren un color herrumbroso y se rodean de un halo amarillo. Luego se forman las pústulas, en el envés de las hojas que rompen la epidermis, liberando las urediniosporas de color anaranjado. Las lesiones pueden fusionarse y dar origen a grandes áreas de tejido muerto (EEAOC).

➤ Carbón: Agente causal: (*Sporisorium scitamineum*)

Es una enfermedad sistémica. Se manifiesta presentando uno o más látigos, que son órganos cilíndricos de longitud variable cubierto por una masa de esporas negras. Las cepas se van deformando, con proliferación de brotes laterales, tomando una apariencia herbácea. Se observa reducción del vigor y la altura de las plantas enfermas como así también disminución del diámetro de tallos (EEAOC).

➤ Pokkah Boeng: Agente causal: (*Fusarium moniliforme*)

Es una enfermedad no sistémica. Provoca áreas blanquecinas y clorosis en la base de las hojas jóvenes, éstas pueden arrugarse, deformarse y desgarrarse, con la aparición de necrosis en el tejido foliar. En ataques severos se produce la deformación y muerte del brote apical, dando lugar a la brotación lateral. Puede haber acortamiento, deformación y hendidura en los entrenudos (EEAOC).

➤ **Mancha parda: Agente causal: (*Cercospora longipes*)**

Es una enfermedad foliar no sistémica que provoca manchas planas, de color pardo, ovales, rodeadas de un halo amarillo. Luego, el centro se seca tornándose de color pajizo. Las manchas pueden fusionarse y formar parches visibles en ambos lados de la hoja. Ataques severos provocan la muerte prematura de hojas y las plantas toman la apariencia de chamuscadas (EEAOC).

5.16.2. Causadas por bacterias

➤ **Raquitismo de la caña soca: Agente causal: (*Leifsonia xyli subsp.*)**

Es una enfermedad sistémica. No muestra síntomas externos específicos. En infecciones severas se observa enanismo, adelgazamiento progresivo de los tallos de las cepas en los sucesivos cortes y caída de la producción. El crecimiento del cañaveral en general es más lento y los vasos conductores presentan una coloración rojo-anaranjada en la zona nodal (EEAOC).

➤ **Escaldadura de la hoja: Agente causal (*Xanthomonas albilineans*)**

Es una enfermedad sistémica que puede presentarse con tres síntomas característicos: agudo, crónico y latente. En el primer caso los brotes, y a veces toda la planta, se marchitan y mueren. Si algunos tallos sobreviven brotan lateralmente exhibiendo síntomas crónicos. En el segundo caso, aparecen en las hojas, estrías largas y estrechas de color blanquecino, paralelas a la nervadura central que puede necrosarse.

En el interior de los tallos infectados se observa una coloración rojiza en los vasos conductores de la región nodal. Por último en esta fase, los síntomas pasan desapercibidos y se requiere de técnicas de laboratorio especiales para diagnosticarla (EEAOC).

➤ **Estría roja: Agente causal: (*Acidovorax avenae subsp.*)**

Es una enfermedad no sistémica. Puede presentarse en dos estados: rayado de las hojas y podredumbre del brote terminal. El primero, se caracteriza por estrías rojas, angostas, uniformes, paralelas a las nervaduras; puede haber sobre las estrías escamas blanquecinas de los exudados bacterianos. Generalmente este estado se da en hojas jóvenes y en el período de gran crecimiento del cultivo.

Cuando el patógeno afecta hojas jóvenes que aún no se desarrollaron, produce la podredumbre del brote guía (Polvillo). Estas plantas presentan las hojas bajas amarillas, pudiendo o no exhibir las estrías típicas.

Cuando la enfermedad avanza el brote se desprende fácilmente y se forman grandes cavidades en el interior de los tallos, emanando un olor pútrido, desagradable, debido a la desintegración de los tejidos (EEAOC).

5.16.3. Causadas por virus

➤ Mosaico: Agente causal: SCMV (Sugarcane mosaic virus)

Es una enfermedad sistémica. Debido a que el virus destruye la clorofila, se observan áreas amarillas o verde pálido mezcladas con el verde normal de la hoja. Las cepas afectadas tienen un retardo en el desarrollo, pudiendo reducir su altura a la mitad, con la consiguiente disminución de la producción.

Los síntomas pueden variar y hasta desaparecer debido al fenómeno de recuperación aparente. En variedades extremadamente susceptibles, los tallos pueden presentar síntomas de estrías y desarrollar necrosis del tejido subepidérmico.

Puede haber acortamiento de entrenudos. Las pérdidas de rendimiento varían mucho dependiendo de la variedad, la raza del virus y condiciones de clima y suelo (EEAOC).

➤ Amarillamiento de la hoja: Agente causal: ScYLV (Sugarcane yellow leaf virus)

Es una enfermedad sistémica. El virus provoca un amarillamiento intenso de la nervadura central que se extiende a la lámina de la hoja, comenzando desde la punta hacia la base. Eventualmente, puede aparecer un enrojecimiento de los bordes de la nervadura central (EEAOC).

5.17. MICROORGANISMOS UTILIZADOS EN LA AGRICULTURA

5.17.1. MICROORGANISMOS BENEFICOS

➤ Hongo *Trichoderma harzianum*

Trichoderma sp., es un hongo anaerobio facultativo, que se encuentra de manera natural, en suelos y otros tipos de medios; se caracteriza por tener un comportamiento saprófito o parásito, propiedades que benefician su actividad antagónica (H. C. , 2005). Se conoce que existen más de 30 especies alrededor del mundo (FIA, 2008).

El género *Trichoderma* incluye un gran número de especies y cepas reconocidas como agentes de biocontrol (BCAs). El uso de este género para el control de enfermedades de las plantas es una alternativa muy prometedora al uso de compuestos químicos. La utilización de especies y cepas de *Trichoderma* como antagonistas de diferentes hongos está ampliamente referenciada.

Diversas especies de este género se utilizan para el tratamiento de semilla e incluso contra hongos que causan la degradación de la madera. Las cepas más importantes reconocidas y utilizadas como agentes de biocontrol (BCAs) pertenecen a las especies *T. virens*, *T. viride* y sobre todo a *T. harzianum*.

Excelentes resultados de control biológico y control integrado se han obtenido principalmente contra *Rhizoctonia Verticillium*, *Pythium*, *Sclerotinia*, *Fusarium* y *Botrytis* en cultivos de algodón patata, tabaco, etc.

La capacidad de las cepas de *Trichoderma* como BCAs se debe a su elevada capacidad reproductiva, habilidad de sobrevivir bajo condiciones desfavorables, eficiencia en la utilización de nutrientes, capacidad de modificar la rizósfera, fuerte agresividad frente a hongos fitopatógenos y elevada eficiencia en la promoción del crecimiento de las plantas y estimulación de los mecanismos de defensa de las mismas.

Estas propiedades hacen de *Trichoderma* un género muy ubicuo presente en la mayoría de los hábitats, con altas densidades de población, y que es más eficiente en suelos ácidos que en suelos alcalinos.

El género *Trichoderma* está considerado como uno de los mejores agentes de biocontrol por diversas causas: en primer lugar porque no es un hongo fitopatógeno; en segundo lugar por que presenta un gran potencial antagónico frente a diversos hongos que causan daños significativos en numerosos cultivos y en tercer lugar por

que emplea una gran variedad de mecanismos de antagonismo para combatir a otros hongos como micoparasitismo, antibiosis, competencia por nutrientes y producción de compuestos volátiles. Quizá el más simple sea la competencia por nutrientes y el espacio.

Los mecanismos de biocontrol de las cepas de *Trichoderma* pueden clasificarse en directos e indirectos. El micoparasitismo es un mecanismo indirecto, los mecanismos indirectos comprenden la competición por los nutrientes y el espacio, la promoción del crecimiento y la activación de los mecanismos de defensa de las plantas. Los mecanismos directos e indirectos pueden actuar coordinadamente y su efectividad en los procesos de biocontrol dependerá de la cepa de *Trichoderma* utilizada, del hongo antagonista a controlar y de las condiciones ambientales.

Mecanismos de biocontrol

Micoparasitismo

El ataque directo de un hongo por otro es un proceso complejo que incluye varias etapas: reconocimiento, penetración y muerte. Las cepas de *Trichoderma* pueden parasitar un amplio rango de hongos fitopatógenos, esta capacidad difiere de una a otra cepa. Es debida en parte a la expresión secuencial de enzimas que degradan la pared celular de otros hongos, fundamentalmente quitinasas, glucanasas y proteasas.

Competencia por nutrientes y el espacio

Las cepas de *Trichoderma* tienen una velocidad de crecimiento muy rápida, y una gran capacidad para movilizar y absorber los nutrientes del suelo, comparadas estas capacidades con las de otros hongos. Es por ello, que crecen muy rápidamente cuando se inoculan en el suelo. Además, *Trichoderma* es resistente a una gran variedad de compuestos tóxicos como fungicidas, herbicidas, plaguicidas y compuestos fenólicos.

Algunas cepas de BCAs de *Trichoderma* producen sideróforos quelantes del hierro y detienen el crecimiento de otros hongos. La gran habilidad de *Trichoderma* a la hora de competir por los nutrientes y el suelo se evidencia particularmente en los casos de *Fusarium* y *Botrytis*.

Promoción del crecimiento y estimulación de los mecanismos de defensa de las plantas.

Las cepas de *Trichoderma* se encuentran siempre asociadas con las raíces de las plantas. Las cepas y especies de este género deben colonizar las raíces previamente para que se produzca la estimulación del crecimiento vegetal y la protección contra infecciones. La colonización de las raíces por *Trichoderma* incrementa el crecimiento de las mismas, la producción de los cultivos, la resistencia a estrese abióticos, y la absorción y uso de los nutrientes.

Trichoderma se define como simbioses oportunistas avirulentos, y diferentes cepas pueden sintetizar factores de crecimiento como auxinas, citoquininas y etileno.

La capacidad de las cepas de *Trichoderma* en la protección de los cultivos se debe por un lado a su capacidad antagonista contra los patógenos y por otro, a la estimulación de los mecanismos de defensa de las plantas. La inoculación de cepas de este hongo en la rizósfera de las plantas las protege contra numerosos patógenos víricos, bacterianos y fúngicos. Además, los mecanismos de *Trichoderma* actúan como elicitores.

Antibiosis

Es la asociación antagonica entre organismos en detrimento de uno de ellos por no soportar las sustancias toxicas segregadas por el otro. La mayoría de cepas de *Trichoderma* producen metabolitos tóxicos volátiles y no volátiles que inhiben el crecimiento de otros organismos.

Entre los volátiles las alquil pironas son las más efectivas; y entre los metabolitos solubles se encuentran la ciclosporina por *T. polysporum*, los antibióticos de tipo isonitrilo y la trichodermina producidos por *T. hamatum*, y como principal agente soluble antifúngico las trichorzianinas. Pero *Trichoderma harzianum* junto a las trichorzianinas sintetiza una gran variedad de compuestos solubles como la harzianolida. La composición de esta mezcla de sustancias antagonistas difiere enormemente entre las diferentes cepas, de ahí la importancia de estudiar las cepas que rinden mejores resultados y averiguar la naturaleza de las sustancias que producen. Muchos de estos compuestos se han localizado en los conidios (Rincon, 2004).

Taxonomía

Tabla 9: Clasificación Taxonómica *Trichoderma sp*

Reino	Fungi
División	Eucomycota
Subdivisión	Eumycota
Clase	Hyphomycetes
Orden	Hyphales
Familia	Moniliaceae
Género	<i>Trichoderma</i>

Fuente: Wikipedia, 2016: <https://goo.gl/FrD7xK>

Morfología

Es un hongo que posee estructura del tipo de conidias hialinas unicelulares, ovoide en conidióforo hialino largo no verticilado, nace en centros pequeños. Tiene la capacidad de producir clamidosporas en sustratos naturales, estructura de vital importancia para la sobrevivencia del género en el suelo bajo condiciones adversas. Es saprófito del suelo y de la madera y el crecimiento en el suelo es muy rápido. Tiene excelentes propiedades para el control biológico, siendo especialmente efectiva contra *Rhizoctonia*, *Fusarium* y *Pythium*. A su vez, es un excelente estimulador del crecimiento radicular.¹¹

➤ **Bacteria *Streptomyces sp***

Streptomyces es el género más extenso de Actinobacterias, un grupo de bacterias Gram positiva. Se encuentran predominante en suelos y en la vegetación descompuesta y la mayoría produce esporas (también denominados conidios) en los extremos de las hifas aéreas. El característico olor a tierra se debe a la producción de geosminas por parte de estos microorganismos.

La mayoría de reportes de actinomicetos como agentes potenciales biofungicidas se basan en el género *Streptomyces* y se le presta poca atención a los otros géneros de actinomicetos, ya que son de difícil aislamiento (Barreto & Castro, 2011).

¹¹ http://www.ecured.cu/Trichoderma_harzianum

Su propiedad más llamativa es la producción de antibióticos. Más de 60 antibióticos producidos por especies de *Streptomyces* se emplean en medicina humana y veterinaria. Tienen una enorme importancia en la industria farmacéutica (Sabalette, 2012).

Actinomicetos

Los actinomicetos son una de las poblaciones microbianas que predominan en el suelo. Estos microorganismos pertenecen a un diverso grupo de bacterias filamentosas Gram positivas, que juegan un papel ecológico muy importante en la rizósfera al estar involucrados en diversas asociaciones.

Los actinomicetos muestran crecimiento óptimo en suelos neutros y levemente alcalinos con un rango de pH óptimo entre 6.5 y 8.0, son aeróbicos, heterótrofos y saprófitos; la mayoría tiene un máximo crecimiento entre 25-30 °C, aunque también se encuentran representantes termotolerantes y termofílicos. Estos microorganismos presentan actividades metabólicas que los pueden catalogar como rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. Se ha reportado su habilidad de producir sideróforos de tipo hidroxamato, hormonas de crecimiento vegetal *in vitro* y otro tipo de metabolitos promotores de crecimiento vegetal en la rizósfera. Por otro lado, se han descrito como agentes biocontroladores de hongos fitopatógeno por su habilidad de sintetizar una variedad de enzimas biodegradativas como quitinasas, glucanasas, celulasas y otras enzimas involucradas en su actividad micoparasitaria (Barreto & Castro, 2011).

Hay especies de actinomicetos que producen compuestos químicos que inhiben el crecimiento micelial y la germinación de esporas de hongos fitopatógeno (Rodríguez, 2014).

Actividad Antagónica frente a patógenos fúngicos

Los actinomicetos se propagan por esporas y colonizan el suelo. Hacen parte de la comunidad de la rizósfera la cual está fuertemente influenciada por las raíces de las plantas. Debido a la gran variedad de microorganismos presentes, entre ellos patógenos fúngicos, los actinomicetos son capaces de generar mecanismos como antibiosis, produciendo metabolitos de bajo peso molecular fácilmente difusibles que inhiben el crecimiento vegetativo de estos patógenos. Sin embargo, se han reportado otros mecanismos de acción biocontroladores por parte de los actinomicetos tales como; la producción de sideróforos, sustancias de bajo peso molecular capaces de quelar el hierro haciéndolo este elemento esencial no disponible para los hongos, la competencia por nutrientes, en algunos casos su

capacidad micoparasítica, la inducción de resistencia sistémica en las plantas y la producción de enzimas líticas de pared celular fúngica, tanto quitinasas como glucanasas (Barreto & Castro, 2011).

Mecanismo de acción de los Actinomicetos

Los actinomicetos poseen diferentes mecanismos de acción para la inhibición del crecimiento fúngico *in vitro*; por un lado la producción de metabolitos antifúngicos difusibles al medio como antibióticos y sideróforos, metabolitos volátiles como el ácido cianhídrico y la producción de enzimas líticas de pared como proteasas, glucanasas y quitinasas (Barreto & Castro, 2011).

Taxonomía

Tabla 10: Clasificación taxonómica de *Streptomyces sp*

Dominio	Bacteria
Filo	Actinobacteria
Orden	Actinomycetales
Suborden	Streptomicyneae
Familia	Streptomycetaceae

Fuente: Wikipedia, 2016: <https://goo.gl/fHbGYG>

Morfología

El género *Streptomyces* incluye aeróbicas bacterias filamentosas, bacterias Gram positivas, que producen hifas vegetativas bien desarrolladas con ramas. Ellos forman un micelio sustrato complejo que ayuda en la recolección de residuos compuestos orgánicos de sus sustratos. Aunque el micelio y las hifas aéreas que surgen de ellos son amotile, la movilidad se consigue por la dispersión de esporas. Superficies de esporas pueden ser peludos, rugoso, liso, espinoso o verrugoso. En algunas especies, las hifas aéreas consisten en largos filamentos rectos, que llevan 50 o más esporas en más o menos regulares intervalos, dispuestas en verticilos. Cada rama de un verticilo produce, en su vértice, una umbela que lleva de dos a varias cadenas esféricas a las esporas lisas o rugosas elipsoidales. Algunas cepas forman cadenas cortas de esporas sobre las hifas sustratos. Sclerotia, picnidios, esporangios y estructura synnemata similares son producidas por alguna cepas.¹²

¹² <http://lasaludfamiliar.com/caja-de-cerebro/conocimiento-224.html>

➤ **Bacteria *Bacillus sp***

Son bacterias Gram positivas pertenecientes a la familia *Bacillaceae*, tienen forma de bastón y su tamaño varía de 0.5 x 1.2 x 10 µm con terminaciones cuadradas que se disponen en largas cadenas, aerobios o anaerobios facultativos, móviles con flagelos laterales, saprófitos, la mayoría de las especies presentan catalasa positiva, su crecimiento se desarrolla favorablemente en ambientes con pH ácido y básico entre un rango de (5.5 – 8.5), sus características fenotípicas son colonias grandes, con bordes irregulares de color blanco a grisáceo. (Corrales, Arevalo, & Moreno, 2014).

El género *Bacillus sp.* Incluye especies responsables del control biológico de enfermedades y plagas que atacan los cultivos. Actualmente los estudios que se llevan a cabo con estas bacterias se han centrado en la capacidad de algunos de sus representantes de actuar como bacterias bioprotectoras y promotoras de crecimiento vegetal.

Bacillus es uno de los géneros más comunes de bacterias de vida libre presentes en el suelo. En este hábitat, se ubica desde las cepas más superficiales hasta las más profundas y se encuentra colonizando la rizósfera de las plantas. Estas bacterias han demostrado tener una amplia distribución en todas las regiones geográficas del planeta, alcanzando alrededor del 24% del total de las bacterias aisladas en el suelo (Paulitz, 2015).

Bacillus como un potencial Solubilizador

El género *Bacillus* se ha destacado como un potencial Solubilizador de fosfato y puede ser utilizado como biofertilizante que va a permitir obtener un producto agrícola de calidad y sin generar consecuencias al ambiente. Es el género más representativo del grupo solubilizadores de fosfato, se encuentra presente en el suelo, agua y aire, poseen diversos mecanismos de supervivencia como la formación de esporas centroméricas ante situaciones adversas, hasta encontrar las condiciones favorables para su crecimiento, con una gran capacidad metabólica que conlleva a que su colonización en la rizósfera sea exitosa (Corrales, Arevalo, & Moreno, 2014).

El fósforo y su importancia

El fósforo es uno de los requerimientos esenciales para el crecimiento y funcionamiento de la planta, este se encuentra involucrado en el desarrollo de la raíz y el grano, en el crecimiento y la floración, además se encuentra constituyendo

los fosfolípidos de las membranas celulares y del material genético; cumple funciones en el metabolismo energético celular y en procesos de fotosíntesis, glucólisis, respiración y síntesis de ácidos grasos.

El fósforo es uno de los elementos vitales para el desarrollo vegetal, sin embargo, este se encuentra en baja disponibilidad en la corteza terrestre debido a que la movilidad en el suelo es restringida, de tal forma que la planta absorbe el elemento de su entorno específico en mínimas cantidades, esta condición natural ha generado interés por encontrar alternativas que faciliten la absorción de este por las raíces de las plantas y así incrementar la concentración disponible en la rizósfera (Corrales, Arevalo, & Moreno, 2014).

Mecanismo de solubilización de fosfato en el suelo

La solubilización se da por la producción extracelular de ácidos orgánicos, los cuales, entre otras funciones intervienen en la quimiotaxis microbiana y detoxificación de los metales. Los ácidos orgánicos son compuestos de bajo peso molecular, entre los que se encuentran: ácido butírico, oxálico, succínico, málico, glucónico, acético, láctico, cítrico, fumárico, 2-cetoglucónico, los cuales actúan sobre compuestos insolubles de fosfato inorgánico como: fosfato dicálcico, fosfato tricálcico y roca fosfórica (hidroxiapatita, apatitas, fluorapatita, cloroapatita). La presencia de ácidos orgánicos permite la acidificación del suelo facilitando la absorción de este elemento, poseen carga negativa formando complejos al quedar los iones metálicos como el Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+3} , Al^{+3} que se encuentran asociados con fósforo insoluble y se transforman en fósforo soluble para la planta (Corrales, Arevalo, & Moreno, 2014).

Bacillus amyloliquefaciens

Es una bacteria Gram positiva del suelo estrechamente relacionados con las especies de *Bacillus subtilis*. Las dos especies comparten muchos genes homólogos y aparecen tan similares que no es posible separar visualmente las dos especies (Priest, 1987).

Bacillus amyloliquefaciens contiene flagelos peritricos permitiendo la motilidad. Las células a menudo aparecen como largas cadenas a diferencia de otros *Bacillus* especies que se forman individuales. La temperatura óptima para el crecimiento celular es de entre 30 y 40 grados Celsius. Similar a otros *Bacillus* especies, *B. amyloliquefaciens* forma endósporas que permiten la supervivencia durante un largo periodo de tiempo. Las endósporas aparecen en el centro de las células que no tienen una apariencia hinchada. La especie también muestra algunas propiedades

antifúngicas que son influenciados por la disponibilidad de nitrógeno del medio ambiente (Caldeira & otros, 2007).

Las cepas del genero *Bacillus* como *B. liqueniformes* y *B. amyloliquefaciens* son bacterias solubilizadoras y emplean rutas como los glicólisis siendo esta la fermentación láctica primaria para la obtención de ácidos orgánicos como el láctico, también usan otras rutas como la oxidación anaerobia del piruvato adquiriendo ácido butírico (Corrales, Arevalo, & Moreno, 2014).

Mecanismos de estimulación de bacterias del genero *Bacillus*

Los efectos de estimulación del crecimiento se pueden dividir en mecanismos indirectos y directos. Los métodos indirectos son aquellos donde la bacteria sintetiza antibióticos u otros compuestos que tienen un efecto inhibitorio sobre organismos fitopatógenos. Los segundos son aquellos donde la bacteria puede influir positivamente en el crecimiento de la planta por medio de la síntesis y excreción de sustancias fitoestimuladoras, que pueden incluir diversos tipos de fitohormonas como las auxinas o citocininas, compuestos orgánicos volátiles e incluso activando la producción en la planta de compuestos que refuerzan la inmunidad vegetal como ácido jasmónico, ácido salicílico y fitoalexinas (Rojas, Contreras, & Santoyo, 2013).

Son diversas las especies y cepas de *Bacillus* las cuales promueven el crecimiento, dichas cepas y especies producen todo un arsenal de compuestos, tales como citocininas, auxinas, ácido abscísico; así también solubilizan nutrientes, reducen el hierro; sintetizan y emiten compuestos volátiles como lo es el 2,3-butanediol, acetoína, aldehídos, cetonas y alcoholes, también producen antibióticos de tipo lipopéptido como fengicina, surfactina y diferentes iturinas, además la capacidad de *Bacillus* para esporular le permite sobrevivir por largos periodos hasta encontrar las condiciones óptimas en el ambiente. Todo este conjunto hace de las diferentes especies de *Bacillus* candidatos oportunos para producir bioinoculantes que permitan eliminar o disminuir el uso de pesticidas químicos que dañan el ambiente (Rojas, Contreras, & Santoyo, 2013).

Taxonomía

Tabla 11: Clasificación taxonómica *Bacillus sp*

Reino	Eubacteria
Filo	Firmicutes
Clase	Bacilli
Orden	Bacillales
Familia	Bacillales
Género	<i>Bacillus</i>
Especie	<i>Amyloliquefaciens</i>

Fuente: Wikipedia, 2016: <https://goo.gl/JOkqSe>

Morfología

El género *Bacillus* comprende grandes bacilos aerobios Gram positivos que se organizan en cadenas. Son bacilos de gran tamaño (4-10 μm), son formadores de esporas, la mayoría no causa enfermedades y son resistentes a condiciones desfavorables, en total existen 60 especies de bacilos. La mayor parte de los miembros de este género es saprófita y viven en la tierra, en el agua, aire y en la vegetación. Algunos son patógenos para los insectos. La presencia de esporas en los bacilos hace que este no tome mucho algún colorante (Urrutia, 2016).

5.17.2. MICROORGANISMO FITOPATÓGENO

➤ Hongo *Fusarium sp*

Fusarium es un extenso género de hongos filamentosos ampliamente distribuido en el suelo y en asociación con plantas. Se encuentra como microbiota normal en arroz, frijol, soya y otros cultivos. Además de ser un contaminante común y fitopatógenos. La mayoría de las especies son saprófitas y son unos miembros relativamente abundantes de la microbiota del suelo. Las esporas del hongo son fácilmente reconocibles al microscopio por su forma de media luna o de canoa. Son patógenos facultativos, capaces de sobrevivir en el agua y suelo alimentándose de materiales en descomposición. Son importantes agentes de contaminación en los laboratorios de microbiología (Tangarife, 2016).

Hay muchas especies de *Fusarium*, de los que sólo algunos son patógenos o susceptibles de emitir micotoxinas (fusariotoxinas en este caso), que plantean problemas en la agricultura o en medicina humana y para la industria alimentaria.¹³

La mayoría de las especies son inofensivos saprófitos relativamente abundantes en la comunidad microbiana del suelo. Sin embargo algunas especies de *Fusarium* son económicamente significativas debido al devastador impacto que pueden tener en las cosechas (Tangarife, 2016).

Fusarium moniliforme

Es un patógeno obligado, que no tiene un hospedero específico y se puede encontrar en cultivos como sorgo, maíz, caña de azúcar, algodón, frijol, tomate, cacahuates, plátano, soya, pimiento verde o algunos forrajes. Sin embargo, su hospedero más importante son las gramíneas, el ciclo de vida de este hongo está compuesto de un estado saprófito y otro parasítico. Durante el estado saprófito *F. moniliforme* obtiene los nutrientes de los tejidos muertos produciendo estructuras infectivas para establecer una enfermedad. Por otro lado, durante el estado parasítico, el hongo obtiene sus nutrientes de las células del hospedero después de una colonización intracelular. Las enfermedades sintomáticas y la muerte de las plantas no son muy comunes, pero el estado parasítico es el responsable de la pérdida económica en cultivos de maíz, sorgo y caña de azúcar (Cantú, 2015).

Es uno de los patógenos más frecuentes aislados en el cultivo de caña de azúcar afectando la germinación de la semilla agámica de esta importante gramínea (López, 2000).

Existen diversas enfermedades atribuidas a este hongo que causan daño a las gramíneas, son marchitamiento de la planta, así como pudrición en el tallo, raíz y en la semilla (Cantú, 2015).

Gestión y control

Las especies patógenas de *Fusarium* son difíciles de controlar debido a su habilidad para sobrevivir en la tierra durante largos períodos con o sin planta receptora, así como por ser saprófitos. Un programa del manejo de *Fusarium* debería incluir prevención, prácticas culturales, saneamiento y control biológico y químico.

¹³ <https://es.wikipedia.org/wiki/Fusariosis>

Una disminución en el estrés de la planta reducirá el riesgo de que el hongo se extienda. Asegúrate de que usas plántulas o semillas limpias y libres de enfermedades. Evita el riego en exceso, una plantación profunda, el exceso de fertilizante con nitrógeno o fósforo y dañar las plantas cuando las estés plantando. El cultivo, la recolección y la selección son algunas de las prácticas que pueden ayudar a prevenir la expansión de *Fusarium*.

Aprender a distinguir los síntomas de la enfermedad en una etapa temprana es la práctica más efectiva para prevenir la expansión de *Fusarium*. Además, la desinfección del suelo y el uso de fungicidas químicos, la rotación de la cosecha o el uso de variedades resistentes, son las mejores prácticas culturales, biológicas y químicas para controlar y limitar enfermedades provocadas por *Fusarium*.¹⁴

Taxonomía

Tabla 12: Clasificación taxonómica de *Fusarium sp*

Reino	Fungi
Filo	Ascomycota
Clase	Sordariomycetes
Orden	Hypocreales
Familia	Nectriaceae
Género	<i>Fusarium</i>
Especie	<i>moniliforme</i>

Fuente: Wikipedia, 2016: <https://goo.gl/aQftJO>

Morfología

La clasificación morfológica en el género *Fusarium* se basa en las características macro y microscópicas del suelo. El tipo de micelio aéreo, pigmentación y tasa de crecimiento de la colonia, así como la ausencia o presencia de esporodoquios, esclerocios o estroma en diferentes medios son características básicas de identificación. El color que desarrollan depende de las especies, y puede ser blanco, crema, rojo, púrpura, etc. El medio de cultivo agar papa glucosa (APG) es el más utilizado en las observación de estas características (Sedici, 2016).

¹⁴ <http://www.canna.es/fusarium-plagas-enfermedades>

5.18. SUSTRATOS NATURALES¹⁵

El sustrato es el medio que soporta la planta y que le proporciona las sustancias nutritivas que requiere. En condiciones naturales el sustrato puede ser el mismo suelo o el agua, sin embargo, en vivero, el sustrato para germinación está compuesto por combinaciones de diversos materiales, los cuales difieren mucho entre sí por las propiedades físicas y químicas que poseen. Cada componente que se le adiciona a un sustrato tiene ciertas propiedades que inciden directamente en la forma como se presenta la germinación, de esta manera, mediante la combinación apropiada de materiales se puede obtener un medio que le proporciona a la semilla buenas condiciones de humedad y aireación logrando una germinación lo más homogénea posible.

5.18.1. Como se elaboran los sustratos naturales ¹⁶

La elaboración de un sustrato varía según los componentes que se desea utilizar, estos pueden ser: tierra orgánica, tierra mineral, arena, Bocashi (materia orgánica fermentada), fibra de coco, turba (material de origen vegetal), humus, perlita, vermiculita, entre otros. Una vez seleccionados todos los componentes del sustrato deben ser mezclados uniformemente en una proporción no menor del 50% en volumen, lo cual solo se consigue efectivamente cuando esta operación se hace antes del llenado de los contenedores (maceteras).

5.18.2. Características de un sustrato natural ¹⁷

El mejor medio de cultivo depende de numerosos factores como son el tipo de material vegetal con el que se trabaja (semillas, plantas, estacas, etc.), especie vegetal, condiciones climáticas, sistemas y programas de riego y fertilización, aspectos económicos, etc.

Para obtener buenos resultados durante la germinación, el enraizamiento y el crecimiento de las plantas, se requieren las siguientes características del medio de cultivo:

¹⁵ <https://es.slideshare.net/raulgonzalogarciavargas/sustratos-para-viveros>

¹⁶ https://www.ecured.cu/Sustratos_Naturales

¹⁷ <https://es.slideshare.net/GerardoPM88/los-sustratos>

a) Propiedades físicas:

- Elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible.
- Suficiente suministro de aire.
- Distribución del tamaño de las partículas que mantenga las condiciones anteriores.
- Baja densidad aparente.
- Elevada porosidad.
- Estructura estable, que impida la contracción (o hinchazón del medio).

b) Propiedades químicas:

- Baja o apreciable capacidad de intercambio catiónico.
- Suficiente nivel de nutrientes asimilables.
- Baja salinidad.
- Elevada capacidad tampón y capacidad para mantener constante el pH.
- Mínima velocidad de descomposición.

5.19. PROPIEDADES HÍDRICAS DE LOS SUSTRATOS NATURALES

5.19.1. Capacidad de campo (CC)

Esta propiedad hidrofísica del suelo es de gran importancia ya que con la misma se puede conocer las posibilidades de almacén de agua en el suelo, así como sirve de base para el cálculo del agua disponible y la porosidad de aireación del suelo factores determinante del rendimiento de los cultivos.

No es posible concebir la aplicación de la técnica de riego sin el uso de este parámetro. Cuando el suelo alcanza la capacidad de campo se manifiesta la mayor disponibilidad de agua para la planta.

5.19.2. Punto de Marchitez Permanente (PMP)

Se considera punto de marchitez, a la cantidad de agua que queda en el suelo expresada en porcentaje base suelo seco, en el momento en que las plantas sufren de marchitez irreversible o permanente, es decir, es el agua que la planta no es capaz de absorber, lo cual se demuestra por sintomatología de la carencia de la misma. El conocimiento del punto de marchitez es fundamental para poder determinar el momento de riego, el cual debe hacerse antes de que el suelo llegue al porcentaje de humedad correspondiente a este punto, debido a que la planta cuando la marchitez es permanente, aunque se riegue no se recupera.

5.20. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUSTRATOS NATURALES

Entre las propiedades físicas se encuentran la textura, la densidad del suelo en su estructura natural, la densidad de su fase sólida, la porosidad. Estas propiedades son necesarias para el establecimiento del régimen de riego.

5.20.1. Estructura

La estructura del suelo es la granulometría de los elementos que lo componen y del modo como se hallan éstos dispuestos. La evolución natural del suelo produce una estructura vertical estratificada a la que se conoce como perfil. Las capas que se observan se llaman horizontes y su diferenciación se debe tanto a su dinámica interna como al transporte vertical.

5.20.2. Textura

Es la cantidad relativa expresada en % de arena, % de limo y % de arcilla contenida en una porción de suelo. Este término se refiere a las diferentes proporciones de separados en la fracción mineral del suelo, denominándose de la siguiente manera: ARENAS: Si sus tamaños son de 2.00 a 0.05mm de diámetro.

LIMOS: Si sus tamaños son de 0.05 a 0.002mm de diámetro.

ARCILLAS: Si sus tamaños son menores de 0.002mm de diámetro

5.20.3. Densidad Aparente (Da)

Por densidad se entiende a la masa de volumen de suelo seco en su estructura natural. En este caso se debe tener en cuenta los huecos o poros que existen en el suelo.

La densidad se determina por medio de la desecación y el pesado de las muestras, con una estructura sin alterar y un volumen rigurosamente determinados, extraídas en el campo con cilindros metálicos.

La densidad aparente refleja el contenido total de porosidad en un suelo y es importante para el manejo de los suelos (refleja la compactación y facilidad de circulación de agua y aire). También es un dato necesario para transformar muchos de los resultados de los análisis de los suelos en el laboratorio (expresados en % en peso) a valores de % en volumen en el campo.

5.20.4. Densidad real (Dr)

La densidad real es la masa de una unidad de volumen de la misma. Dicha masa depende de la composición mineralógica y de la cantidad de sustancia orgánica, pero no depende de la estructura del suelo.

5.20.5. Porosidad

El suelo está constituido por partículas sólidas de distinto tamaño que dejan entre sí unos espacios o poros ocupados por aire y agua. Por lo general, el aire ocupa una gran parte del espacio de los poros grandes, mientras que el agua ocupa los poros más pequeños. El conjunto de los poros se llama porosidad, su valor puede oscilar entre 40% y 60% del volumen total del suelo.

5.21. PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS SUSTRATOS NATURALES

5.21.1. Acidez (pH)

La determinación de la acidez del suelo, se ha utilizado comúnmente como medio para diagnosticar la alcalinidad de los mismos; cuando los valores de pH varían entre (6.8-7.2) generalmente es una indicación de la presencia de un pH neutro, cuando el valor de pH es menor de 6.8 indica que estamos en presencia de un suelo ácido (presencia de sales) y si estamos con un pH mayor de 7.2 es una indicación que está presente un suelo básico.¹⁸

5.21.2. Materia Orgánica (MO)

La materia orgánica es uno de los componentes del suelo, en pequeña porción, formada por los restos vegetales y animales que por la acción de la microbiana del suelo son convertidos en una materia rica en reservas de nutrientes para las plantas, asegurando la disponibilidad de macro y micronutrientes.

5.22. RIEGO POR GOTEO

Es un método de riego localizado donde el agua es aplicada en forma de gotas a través de emisores, comúnmente denominados “goteros”. La descarga de los emisores fluctúa en el rango de 2 a 4 litros por hora por gotero.

¹⁸ www.educando.edu

El riego por goteo suministra a intervalos frecuentes pequeñas cantidades de humedad a la raíz de cada planta por medio de delgados tubos de plástico. Este método, utilizado con gran éxito en muchos países, garantiza una mínima pérdida de agua por evaporación o filtración, y es válido para casi todo tipo de cultivos.

5.22.1. Riego por goteo en Nicaragua

El riego por goteo en Nicaragua tuvo sus inicios a finales del año de 1,977 con un área de 3.6 hectáreas aproximadamente; la cual se inició en forma experimental y al mismo tiempo con carácter comercial, ya que el trabajo consistía en sembrar semilla de hortalizas para obtener semilla híbrida, certificarla y posteriormente exportarla.

En la actualidad en Nicaragua, existe un fuerte empuje del riego por goteo, como una estrategia prodigiosa para el desarrollo agrícola. Esta técnica es la innovación más importante en agricultura desde la invención de los aspersores en los años 1,930 y continuará incrementándose en la medida en que se tome como una vía para el desarrollo de los procesos agrícolas hacia una modernización del sector (Gornat, 2014).

Características

- Utilización de pequeños caudales a baja presión.
- Localización del agua en la proximidad de las plantas a través de un número variable de puntos de emisión (emisores o goteros).
- Al reducir el volumen de suelo mojado, y por tanto su capacidad de almacenamiento, se debe operar con una alta frecuencia de aplicación, a caudales pequeños. Pero si el agua está a mucha presión subirá mejor hacia lugares de mayor altura.

Ventajas y desventajas

Ventajas del Riego por Goteo (Magrama, 2014)

- Mejor aprovechamiento del agua. Se ahorra entre un 40-60 % de agua con respecto a otros sistemas de riego.
- Facilidad para realizar fertirrigación.
- Disminución del riesgo de enfermedades.
- Reducción de la mano de obra, sobre todo porque disminuyen las malas hierbas al no humedecer la totalidad del suelo.
- Disminución de la utilización de abonos y fitosanitarios.

- Incremento de la productividad y de la calidad de los cultivos.
- Riegos de alta frecuencia.
- Facilita la automatización. Se puede utilizar en terrenos de mucha pendiente.
- Uso de terrenos con topografía accidentada, suelos pedregosos y de baja infiltración.
- Mejor aprovechamiento de riego.
- Reduce los problemas de malezas, debido a la menor superficie húmeda
- Aplicación de fertilizantes, pesticidas y correctores con el agua de riego.
- No impide las labores agrícolas.

Desventajas del Riego por Goteo (Magrama, 2014)

- Posibilidad de salinización del suelo.
- Necesidad de mayor preparación técnica del agricultor.
- Necesidad de fertilizantes totalmente solubles en agua.
- Necesidad de alto grado de filtración.
- Inversión inicial elevada.
- Tratamiento y filtración del agua.
- Daños de animales.
- Se necesita riego de germinación.
- Adquisición de repuestos.
- Se necesita personal calificado.
- Es preciso hacer un control de las dosis de agua, fertilizante, pesticidas y productos aplicados al agua de riego.

5.22.2. Diseño de un sistema de riego

Para realizar un proyecto de instalación de riego localizado, se requiere de una serie de datos de campo y otros antecedentes técnicos obtenidos a partir de los anteriores, que permitirán dimensionar, tanto el equipo como la red de tuberías, de forma tal que se satisfagan completamente los requerimientos hídricos del cultivo y que se logre una alta eficiencia del sistema.

Diseño agronómico

El diseño agronómico es uno de los estudios fundamentales en todo proyecto de riego. Es la parte en la que los errores tienen consecuencias más graves, por ejemplo, la salinización del suelo por falta de lavado o la insuficiencia en el volumen de suelo humedecido, por instalar un número equivocado de emisores. En el diseño agronómico de un sistema de riego se debe de considerar el suelo, la planta y el clima. Consiste en determinar o definir la lámina de riego que se debe aplicar o bien el tiempo de riego, el intervalo de riego y con estos el número de emisores por planta o espacio de riego para llegar finalmente a conocer la capacidad requerida del sistema; en caso de no coincidir con la capacidad disponible realizar los ajustes correspondientes.

El diseño agronómico se desarrolla en dos fases:

1. Cálculo de las necesidades de agua.
2. Determinación de la dosis, frecuencia y tiempo de riego. Número de emisores por planta y caudal del emisor.

Diseño hidráulico

Esta corresponde a la etapa inmediatamente posterior al diseño agronómico. Se consideran parámetros de presión y pérdidas de carga que buscan optimizar el uso de la energía.

En esta etapa del diseño se contempla el dimensionamiento del equipo de bombeo y toda la red de tuberías (matrices, secundarias, terciarias y laterales) que lo componen. Para tal efecto, utilizando criterios de diseño preestablecidos, se calculan las pérdidas de carga, presión y caudal de las diferentes combinaciones de diámetros y longitudes de tuberías. Finalmente se define una determinada combinación, que genera unos requerimientos de presión determinados para el caudal necesario. Para la selección de la bomba, hay que especificar dos características relacionadas con los requerimientos operacionales del sistema, el caudal y la presión de trabajo. El caudal necesario, corresponde al caudal total del sector de riego más grande.

5.23. DISEÑO EXPERIMENTAL

En la experimentación Agrícola, conjuntamente con la adecuada definición de los elementos fundamentales que componen el experimento, la decisión acerca del diseño experimental que deberá ser aplicado constituye uno de los aspectos decisivos dentro de la fase de planificación de las investigaciones.

El diseño experimental como tal puede ser definido como la disposición en tiempo y espacio de las variantes o tratamientos.

Se puede decir también que los diseños experimentales son las formas que se han ideado para arreglar las parcelas y satisfacer las necesidades de cada experimento, sus objetivos y el cultivo de que se trate. No es más que el esquema de distribución de las variantes en el experimento.

El objetivo fundamental que se persigue al seleccionar el diseño experimental es asegurar condiciones iguales para la comparación de las variantes, eliminando al máximo la variabilidad de la fertilidad del suelo.¹⁹

5.23.1. Diseño de bloques completos al azar

En este diseño, los tratamientos se asignan aleatoriamente, a un grupo de unidades experimentales denominado bloque o repetición.

El objetivo consiste en mantener la variabilidad entre unidades experimentales dentro de un bloque tan pequeño como sea posible, y maximizar las diferencias entre bloques. Si no hay diferencia entre los bloques, este diseño no contribuirá a la precisión para detectar las diferencias de tratamientos.

Cada tratamiento es asignado el mismo número de veces a unidades experimentales dentro de un bloque, usualmente una vez; pero todos o ciertos tratamientos pueden repetirse dos o más ocasiones dentro de un bloque. Por regla general, es más eficiente tener una sola repetición de cada tratamiento por bloque. A fin de minimizar el error experimental, deben de tomarse todas las precauciones para tratar las unidades experimentales dentro de un bloque lo más uniformemente posible.

Los bloques pueden estar constituidos por áreas compactas de un campo, grupos de animales que pueden manipularse de un modo uniforme, o diferentes tiempos de aplicación de tratamientos a unidades experimentales.

Por lo que respecta a sembradíos, las parcelas de campo adyacentes suelen producir en forma más parecida que aquellos separados por alguna distancia. Los bloques se pueden mantener compactos, disponiendo las parcelas, usualmente de forma larga y estrecha, cercanas unas a las otras. El número de tratamientos debe ser el menor posible; no obstante, debe ser suficiente para lograr los objetivos del

¹⁹ http://www.ujcm.edu.pe/bv/links/cur_agronomica/ModExperimentacionAgricola.pdf

experimento. Cuando el tamaño del bloque aumenta, se incrementará la variabilidad dentro de éste. No es necesario que cada bloque sea de la misma forma; pero en los experimentos de campo con sembradíos, esto es normalmente deseable, puesto que las diferencias en las formas de los bloques generalmente incrementan la variabilidad dentro del bloque.

Después de que las unidades experimentales han sido agrupadas en los bloques deseados, los tratamientos se asignan aleatoriamente a las unidades dentro de cada bloque, con una distribución aleatoria hecha para cada bloque (Little, 1983).

5.24. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

5.24.1. Análisis de varianza (ANAVA)

El Análisis de la Varianza (ANAVA), permite probar hipótesis referidas a los parámetros de posición (esperanza) de dos o más distribuciones. La hipótesis que se somete a prueba generalmente se establece con respecto a las medias de las poblaciones en estudio o de cada uno de los tratamientos evaluados en un experimento:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_a \quad \text{con } i=1, \dots, a$$

Donde a = número de poblaciones o tratamientos. El ANAVA es un procedimiento que descompone la variabilidad total en la muestra (suma de cuadrados total de las observaciones) en componentes (sumas de cuadrados) asociados cada uno a una fuente de variación reconocida.

En experimentos con fines comparativos, usualmente se realiza la aplicación de varios tratamientos a un conjunto de unidades experimentales para valorar y comparar las respuestas obtenidas bajo cada tratamiento. En este caso es deseable administrar eficientemente los recursos que permiten incrementar la precisión de las estimaciones de las respuestas promedio de tratamientos y las comparaciones entre ellas. Se entiende por tratamientos a las acciones que se aplican sobre las unidades experimentales y que son objeto de comparación. Los tratamientos pueden ser representados por los niveles de un factor o por la combinación de los niveles de dos o más factores (estructura factorial de tratamientos).

Uno de los principales objetivos en la planificación de una experiencia, siguiendo un diseño experimental, es la reducción del error o variabilidad entre unidades experimentales que reciben el mismo tratamiento, con el propósito de incrementar

precisión y sensibilidad al momento de la inferencia, por ejemplo, aquello relacionado a la comparación de efectos de tratamientos.

El diseño experimental es una estrategia de combinación de la estructura de tratamientos (factores de interés) con la estructura de unidades experimentales (parcelas, individuos, macetas, etc.), de manera tal que las alteraciones en las respuestas, al menos en algún subgrupo de unidades experimentales, puedan ser atribuidas solamente a la acción de los tratamientos excepto por variaciones aleatorias. Así, es posible contrastar (comparar) medias de tratamientos o combinaciones lineales de medias de tratamientos con el menor “ruido” posible (Balzarini M.G., 2014).

5.24.2. Prueba de Tukey

Se basa en el estadístico de Tukey el cual sirve para probar todas las diferencias entre medias de tratamientos de una experiencia. La única exigencia es que el número de repeticiones sea constante en todos los tratamientos (Balzarini M.G., 2014).

5.25. SOFTWARE INFOTAT

InfoStat es un software para análisis estadístico de aplicación general. Cubre tanto las necesidades elementales para la obtención de estadística descriptiva y gráficos para el análisis exploratorio, como métodos avanzados de modelación estadística y análisis multivariado. Es importante la sencillez de su interfaz combinada con capacidades profesionales para cálculo y el manejo de datos (Zambrano, 2012).

VI. HIPÓTESIS

6.1. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

Los microorganismos nativos (*Trichoderma harzianum*, *Bacillus amyloliquefaciens* y *Streptomyces sp*) provocan un efecto benéfico como antagonistas contra *Fusarium sp*, además de ser promotores de crecimiento y biofertilizantes en el cultivo de caña de azúcar variedad CP-72-2086.

6.2. HIPÓTESIS ALTERNATIVA (HA)

Al menos uno de los microorganismos (*Trichoderma harzianum*, *Bacillus amyloliquefaciens* y *Streptomyces sp*) provocan un efecto benéfico como antagonista contra *Fusarium sp*, promotores de crecimientos y biofertilizantes en el cultivo de caña de azúcar variedad CP-72-2086.

6.3. HIPÓTESIS NULA (HO)

Ninguno de los microorganismos (*Trichoderma harzianum*, *Bacillus amyloliquefaciens* y *Streptomyces sp*) provocan un efecto benéfico como antagonista contra *Fusarium sp*, promotores de crecimientos y biofertilizantes en el cultivo de caña de azúcar variedad CP-72-2086.

VII. METODOLOGIA

7.1. LOCALIZACIÓN

La presente investigación se llevó a cabo en la ubicación de la sede central de la Universidad Nacional de Ingeniería del Recinto Universitario Simón Bolívar (UNI-RUSB) en el costado noroeste del edificio Rigoberto López Pérez, ubicado en el departamento de Managua; el cual se localiza entre las coordenadas geográficas: 86° 16' 9.598" longitud oeste; 12° 07' 54.127" latitud norte, a una altura de 107 msnm.

7.1.1. Macrolocalización

Figura 2: Macrolocalización



Fuente: Google Earth

7.1.2. Microlocalización

Figura 3: Recinto Universitario Simón Bolívar (UNI-RUSB)



Fuente: Google Earth

7.2. CONDICIONES CLIMÁTICAS

La estación seleccionada a la cual correspondió nuestra área de estudio se identifica por su clima tropical húmedo, con veranos calientes e inviernos fríos con precipitaciones que van de 600 - 1,700 mm, anualmente. La temperatura del municipio de Managua oscila entre 28 - 32^o C y presenta la temperatura mínima de 24^o C en diciembre y la máxima de 36^o C correspondiente al mes de abril, según datos meteorológicos de la estación; la fisiología corresponde a terrenos de 0-50 msnm (INETER, 2015).

7.2.1. Descripción de las condiciones climáticas

Para el desarrollo de este trabajo se analizó información climatológica registrada en una estación perteneciente a la red de estaciones meteorológicas del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), ubicada en el Aeropuerto Internacional Augusto César Sandino en el municipio de Managua. Se utilizaron los datos de temperatura mínima, temperatura máxima, humedad, velocidad del viento e insolación, estos sirvieron para la determinación de la evapotranspiración de la zona haciendo uso del software Cropwat 8.0. La ubicación de la estación, su código, sus coordenadas geográficas en grados, minutos y segundos y su elevación se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 13: Ubicación de la estación meteorológica

ESTACIÓN	AEROPUERTO INTERNACIONAL
Código	69027
Municipio	Managua
Latitud	12°08'36"
Longitud	86°09'49"
Elevación	56 msnm

Fuente: INETER, 2015

7.3. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

Ubicados en la parcela experimental se procedió a identificar el área que presentara las mejores condiciones de acuerdo a la topografía del terreno y tomando en cuenta la fuente de abastecimiento de agua más cercana. Haciendo uso de un GPS se registraron los puntos limitantes del área y se transfirieron a un computador para procesarlos con el software, MapSource, Google Earth, Excel y AutoCAD, obteniendo así el plano topográfico de la denominada parcela experimental.

7.4. MUESTREO DEL SUELO

El sustrato que se trajo del descapote de la mina y la tierra de jardín, se tomó una muestra por cada material, de aproximadamente 1kg y se depositó en bolsas plásticas ziploc debidamente identificadas para ser enviadas al laboratorio de Edafología de la UNI, donde se procedió a hacer una mezcla compuesta y realizar el respectivo análisis.

Para determinar la densidad aparente se utilizó el método de la probeta, se tomó una muestra del sustrato de las maceteras seleccionando una pequeña área de 9 cm de ancho por 9 cm de largo y con una profundidad de 9 cm, obteniendo un volumen de sustrato de 345 cm³, dicho volumen fue utilizado para calcular la densidad aparente con la fórmula utilizada en el método de la probeta.

7.5. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO- QUÍMICAS DEL SUSTRATO

La realización del análisis físico-químico del suelo se llevó a cabo en el laboratorio de Edafología de la Facultad de Tecnología de la Construcción donde recurrieron a los procedimientos pertinentes para determinar las siguientes propiedades:

- Capacidad de campo (Cc).
- Punto de marchitez permanente (PMP).
- Densidad aparente (Da).
- Densidad real (Dr).
- Porosidad total (Pt).
- Textura.
- Potencial Hidrógeno (pH).
- Conductividad Eléctrica (CE).
- Fósforo disponible (P).
- Materia Orgánica (MO).

7.6. MANEJO AGRONÓMICO

7.6.1. Instalación del Riego

Se realizó la instalación del sistema de riego por goteo autocompensado que fue empleado para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo, la instalación estuvo dirigida por coordinadores del Programa Institucional Agropecuario y Agroindustrial (PIAG-UNI) y por el Ingeniero José Méndez Úbeda profesor y especialista en sistemas de riego del Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios (UNI-RUPAP).

El sistema de riego establecido fue por gotero autocompensado, conectados a una manguera de polietileno de 16 mm de diámetro. El caudal de los goteros de botón fue de 4 l/h, autocompensados, las redes laterales fueron conectadas a una tubería de PVC cédula número 26 de 1 ¼ pulgada de diámetro. Abastecidas por la red de tubería del edificio Rigoberto López Pérez donde el tubo de toma de agua es de 1 ½ pulgadas de diámetro.

7.6.2. Preparación del sustrato

Para la preparación del sustrato se obtuvo suelo del descapote de la mina o banco de material ubicada en el kilómetro 9 carretera nueva a León, bocashi (abono orgánico) y tierra de jardín; una vez obtenidos estos tres elementos se hizo primeramente una mezcla utilizando un 50% de bocashi y un 50% de tierra de jardín y se usó como material o herramienta un palín de jardinería.

7.6.3. Llenado de maceteras

La relación de las proporciones de los diferentes sustratos en las macetas fue un 60% de suelo de descapote y un 40% de la mezcla obtenida de bocashi y tierra de jardín se usó como herramienta una pala.

7.6.4. Fertilización

Antes de proceder a la siembra y depositar la semilla o esqueje de caña de azúcar en la macetera se incorporó el fertilizante con una dosis de completo (fertilizante N-P-K) de 7gr/plt, haciendo uso de un palín de jardinería se removió todos los materiales hasta obtener el sustrato adecuado para la siembra.

7.6.5. Selección y siembra de la semilla

En conjunto con el ingeniero de campo de la Corporación Monte Limar se seleccionó la variedad CP-72-2086 para este estudio de la caña de azúcar.

La semilla fue cortada del semillero y trasladada del campo a las instalaciones de la UNI (Recinto Universitario Simón Bolívar), en donde se procedió a seleccionar de manera visual los esquejes que presentaban ojo bien desarrollados y sin signos de marchitez.

El diseño utilizado de Bloque completo al azar (BCA), con un arreglo entre macetas de 0.65 metro y 1.4 metro entre hilera o bloques. Colocando 1 esqueje en cada una de las macetas de forma horizontal a una profundidad de 2 pulgadas, se procedió a tapar la semilla haciendo uso de un palín de jardinería; una vez terminada la siembra se orientaron las mangueras de riego sobre cada bloque.

7.6.6. Riego

El riego es crucial en el cultivo de caña de azúcar, hay que tomar en cuenta que tiene una alta sensibilidad a las deficiencias de humedad sobre todo en suelos arenosos franco los cuales retienen poca humedad debido a la porosidad que los caracteriza.

Realizando los cálculos pertinentes se llegó a la conclusión que el riego se debía de efectuar a una frecuencia diariamente, por un periodo de tiempo de dos horas y media.

7.6.7. Control de malezas

El control de maleza se realizó periódicamente a lo largo del desarrollo del cultivo, con machete y rastrillo, eliminando la mayor cantidad de maleza posible, con el machete se eliminaron las malezas que se encontraban entre las maceteras y entre los bloques para después sacarla del área experimental con un rastrillo.

El control de malezas del área experimental se hizo de manera mecánica y dentro de las maceteras el control se hizo de forma manual, evitando así el uso de productos químicos.

7.7. PLAGAS ENCONTRADAS EN EL CULTIVO

7.7.1. El salivazo de la caña de azúcar o salivita (*Aeneolamia varia*)

Las ninfas chupan la savia de las raíces de la planta mientras que los adultos prefieren la de las hojas. A la vez que están chupando la savia se encargan de inyectar a la planta una toxina que posteriormente le causará la aparición de necrosis y de manchas rojizas para debilitarla hasta que se seque (InfoAgro, 2011).

7.7.2. Chinche de encaje (*Leptodictya tabida*)

Este insecto es nativo de México y se le conoce con este nombre debido a que la nervadura de sus alas se asemeja a un tejido de encaje. Sus medidas son de 3 a 4 milímetros de longitud por 2 milímetros de ancho y es de color rojizo.

Los daños: las colonias de chinche compuesta por adultos y ninfas habitan en las partes inferiores de las hojas de donde se alimentan y se reproducen. Aun con ello, los daños que causan no son de consideración.

El Control: En vista de que los daños son de poca importancia, no se justifica el control químico (Campos & Lugo, 2012).

7.7.3. Picudo del Pseudotallo, Picudo rayado (*Metamasius hemipterus*)

Es susceptible de ser infectado aquel material vegetal que por diferentes razones está más debilitado. De esta forma, dicho material vegetal se sembrará infectado y los brotes serán débiles. En consecuencia, a lo largo del cultivo, se dispondrá de una caña de azúcar que se tumba y con un contenido de jugos azucarados mucho menor que una sana en las mismas condiciones (InfoAgro, 2011).

7.7.4. Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*)

Es un insecto polífago, prefiere plantas de la familia de las gramíneas: maíz, sorgo, arroz, avena, trigo, caña de azúcar, pastos y otros.

La importancia del daño de este insecto en caña de azúcar depende de la edad de la planta, siendo mayor al tiempo de germinación cuando puede destruir las plántulas, bien por devorar el cogollo, las yemas germinales, consumir el follaje o por trozarlas. En cañas bien desarrolladas solo tiene importancia económica cuando el insecto se presenta como “gusano ejército”, en cuyo caso pueden llegar a desfoliar las plantas, también cuando perforan los tallos y hace que estos se quiebren (Saldarriaga, 2015).

7.8. CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

Para control de insectos como gusano cogollero, salivita y picudo, se aplicó frecuentemente insecticida (Triazofos 20EC) a razón de 1.5 cc/lts y para controlar Chinche de encaje y piojo algodonoso se hizo control biológico haciendo una sola aplicación del hongo conocido como *Beauveria bassiana*.

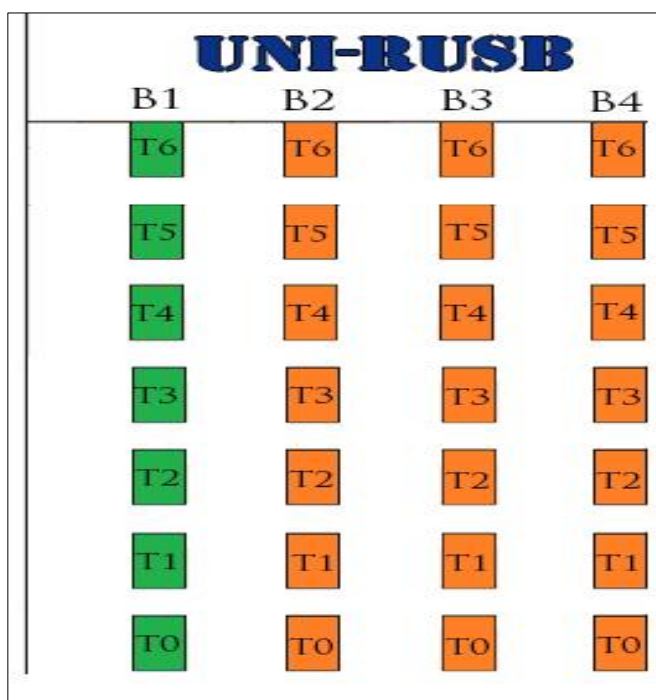
Se le dio seguimiento a las enfermedades según la escala descriptiva de enfermedades de la caña de azúcar, mostrando presuntamente síntomas muy similares a la enfermedad conocida como: Escaldadura de la hoja causada por la bacteria *Xanthomonas albilineans* en su segunda etapa de afectación (crónico) presentando síntomas de estrías blanquecinas paralelas a la nervadura central y en ocasiones secado de algunas hojas; también se presume que en los primeros meses del ciclo vegetativo (120 DDS), hubieron síntomas de la enfermedad conocida como Pokkah Boeng o cogollo retorcido provocada por el hongo *Fusarium moniliforme*. Para el control de las enfermedades antes mencionadas no se realizó ningún control, pero si se le dio seguimiento a las enfermedades sin mostrar síntomas severos descritos en la escala de enfermedades los cuales no mostraron deterioro a la planta, ni daños relevantes que pudieran afectar el rendimiento.

7.9. DISEÑO EXPERIMENTAL

7.9.1. Tratamientos

Las dimensiones del área de estudio fueron de 7.52 metros de largo por 6.44 metros de ancho es decir un área total de 48.42 m² (7.52x6.44), conteniendo 4 bloques bien alineados, cada bloque constó en primera instancia de un testigo absoluto seguido de 6 tratamientos (macetas); estos bloques tuvieron 1.4 metros de distancia entre ellos y el espacio entre tratamiento fue de 0.6 metros.

Figura 4: Diseño experimental UNI-RUSB



Fuente: Elaboración propia

7.9.2. Características de los tratamientos

Se sembraron 28 esquejes o semillas todas de una sola variedad (CP-72-2086), la parcela contó con una germinación de un 100% obteniendo así 28 plantas germinadas, donde cada bloque contaba con 7 plantas, 6 tratamientos y un testigo absoluto los cuales fueron seleccionados con el propósito de obtener las variables de respuesta.

7.10. MICROORGANISMOS UTILIZADOS EN EL ENSAYO

El proceso de inoculación a cada uno de las plantas se hizo directamente al sustrato utilizando 2 hongos (*Fusarium sp* y *Trichoderma harzianum*) y dos bacterias (*Streptomyces sp.* y *Bacillus amyloliquefaciens*), a una concentración de 10^8 UFC/mL, para la aplicación se utilizó un recipiente PVC en Spray con una dosis de 3mL.

Los tratamientos se aplicaron de la siguiente manera:

Tabla 14: Tratamientos aplicados en el ensayo

Tratamiento	Microorganismo		
T ₀	Testigo absoluto		
T ₁	<i>Fusarium sp.</i>		
T ₂	<i>Fusarium sp.</i>	<i>Trichoderma harzianum.</i>	
T ₃	<i>Trichoderma harzianum.</i>		
T ₄	<i>Streptomyces sp.</i>	<i>Fusarium sp.</i>	
T ₅	<i>Bacillus amyloliquefaciens.</i>	<i>Fusarium sp.</i>	
T ₆	<i>Streptomyces sp.</i>	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	<i>Trichoderma harzianum</i>

Fuente: Elaboración propia

7.11. VARIABLES DE RESPUESTA

Se tomaron en cuenta un grupo de variables de desarrollo y de cosecha con el fin de obtener los datos que posteriormente fueron evaluados y comparados para el registro de la información, se seleccionó el tallo principal de cada tratamiento. Estas variables se describen a continuación.

7.11.1. Variables de desarrollo

Estas mediciones se hicieron semanal a partir de los 25 días después de la emergencia, hasta concluir con toda la etapa fenológica del cultivo.

Diámetro del tallo (mm): Las mediciones se realizaron durante todo el ciclo vegetativo del cultivo a partir de los 25 DDS concluyendo a los 220 DDS, las medidas se tomaron en la base del tallo, exactamente en el tercer entrenudo, haciendo uso de un vernier o pie de rey.

Altura del tallo (cm): Se llevó a cabo la medición de la variable altura del tallo principal a los 25 DDS, concluyendo a los 220 DDS, para este proceso se usó una cinta de medición (centímetros) tomando la longitud desde la base del tallo hasta la yema apical.

Número de hijos o tallos: Se contabilizaron el número de tallos a partir de los 45 DDS concluyendo a los 70 DDS.

Número de hojas del tallo principal: El número de hojas se contó al tallo principal de la planta el cual tuvo visible la señalización y la toma de datos se hizo semanal a partir de los 25 DDS, hasta concluir a los 220 DDS.

Número de hojas afectadas: Las hojas afectadas por síntoma de secado se contabilizaron únicamente al tallo principal a partir de los 45 DDS, concluyendo a los 220 DDS, utilizando la escala descriptiva de enfermedades de la caña de azúcar para determinar el grado de afectación y presumir que tipo de enfermedad estaba relacionada a estas observaciones.

7.11.2. Variables de cosecha

Peso de biomasa fresca (kg planta completa): La toma de datos para esta variable se hizo al momento de la cosecha haciendo uso de una báscula, se cortaron todos los tallos que tenía la macetera y se procedió a pesarlos incluyendo hojas y cogollo.

Contenido de sacarosa (Brix del jugo): El periodo de madurez comenzó a los 312 DDS (10 meses y 12 días) durante este periodo se empezaron a notar las primeras flores en la parcela experimental; después de la tercera semanas de la floración se hizo la prueba de grados Brix para determinar si la caña de azúcar estaba en las condiciones adecuadas para ser cosechada o no, los grados Brix se midieron con un refractómetro portátil.

Refractómetro portátil: Es un instrumento óptico que sirve para medir los índices de concentración de azúcar del jugo de la caña u otras frutas. Un rango estrecho (parte superior e inferior del tallo) de lectura indica madurez de la caña, mientras que un rango amplio indica que la caña ya está demasiado madura. Cuando la lectura de los grados Brix fueron uniformes a lo largo del tallo, se procedió a la cosecha.

Primeramente se tomó una muestra de la parte superior del tallo y una muestra de la parte inferior, haciendo uso de un horador de acero inoxidable, se exprimió la muestra utilizando un alicate hasta obtener la cantidad de jugo adecuado para hacer las lecturas en el refractómetro; antes de colocar la muestra a analizar del jugo, se calibró el refractómetro con agua destilada de tal manera que indicara una lectura de cero grados Brix, posteriormente se procedió a depositar la muestra sobre el prisma o lente del refractómetro, se cerró la tapa y el instrumento se colocó a contra luz para así obtener una primera lectura clara y precisa de la concentración de azúcar presentes en el tallo, se siguió los mismos pasos para los demás tratamientos pero enjuagando los instrumentos utilizados con agua destilada y limpiándolos con papel servilleta para evitar alteración por residuos de las muestras anteriores.

Peso de las Raíces (Kg): Por cada una de las macetas se pesaron las raíces y se promediaron los pesos para luego poder comparar los resultados entre los tratamientos, este proceso se llevó a cabo utilizando una báscula digital.

7.11.3. Variables de laboratorio

Prueba in vitro:

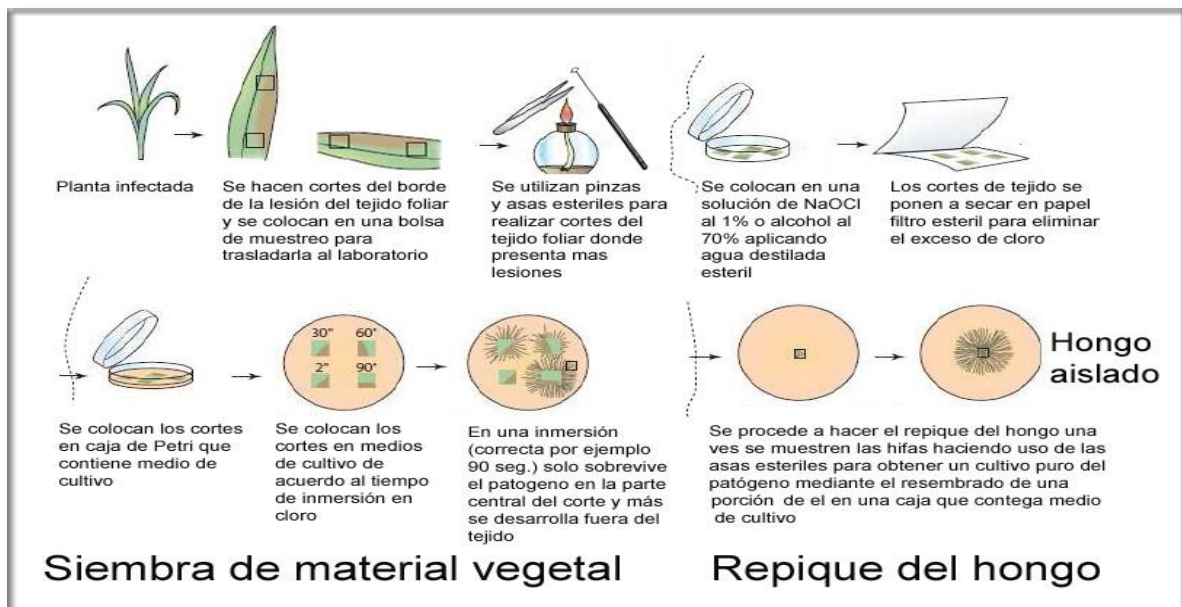
Para comprobar el efecto patogénico del *Fusarium* las muestras fueron trasladadas al Laboratorio de alimentos de la Facultad de Ingeniería Química. De acuerdo a los síntomas observados se tomaron varias muestras de tejido vegetal tanto del área foliar como de los tallos y raíces. Se cortaron pequeñas secciones de 1cm² y se lavaron con agua destilada estéril y cloro al 1%. Estas muestras se sembraron directamente en el medio de cultivo apropiado. Para el aislamiento de este patógeno se tomó en cuenta los siguientes postulados.

Postulados de Koch:

1. El patógeno debe encontrarse asociado con la enfermedad en todas las plantas enfermas que se examinen.
2. El patógeno debe aislarse y desarrollarse en un cultivo puro en medios nutritivos y se deben describir sus características (Parásito obligado) y registrar su presencia y los efectos que produzca.
3. El patógeno que se desarrolle en un cultivo puro debe ser inoculado en plantas sanas de la misma variedad o especie en que apareció la enfermedad y debe producir la misma enfermedad en las plantas inoculadas.
4. El patógeno debe aislarse una vez más en un cultivo puro y sus características deben corresponder a las anotadas en el segundo punto.

En caso de que los puntos mencionados (comúnmente conocidos como postulados de Koch) se cumplan, se tendrá la certeza de que el patógeno aislado es la causa de la enfermedad.

Figura 5: Tratamiento de muestra en el laboratorio

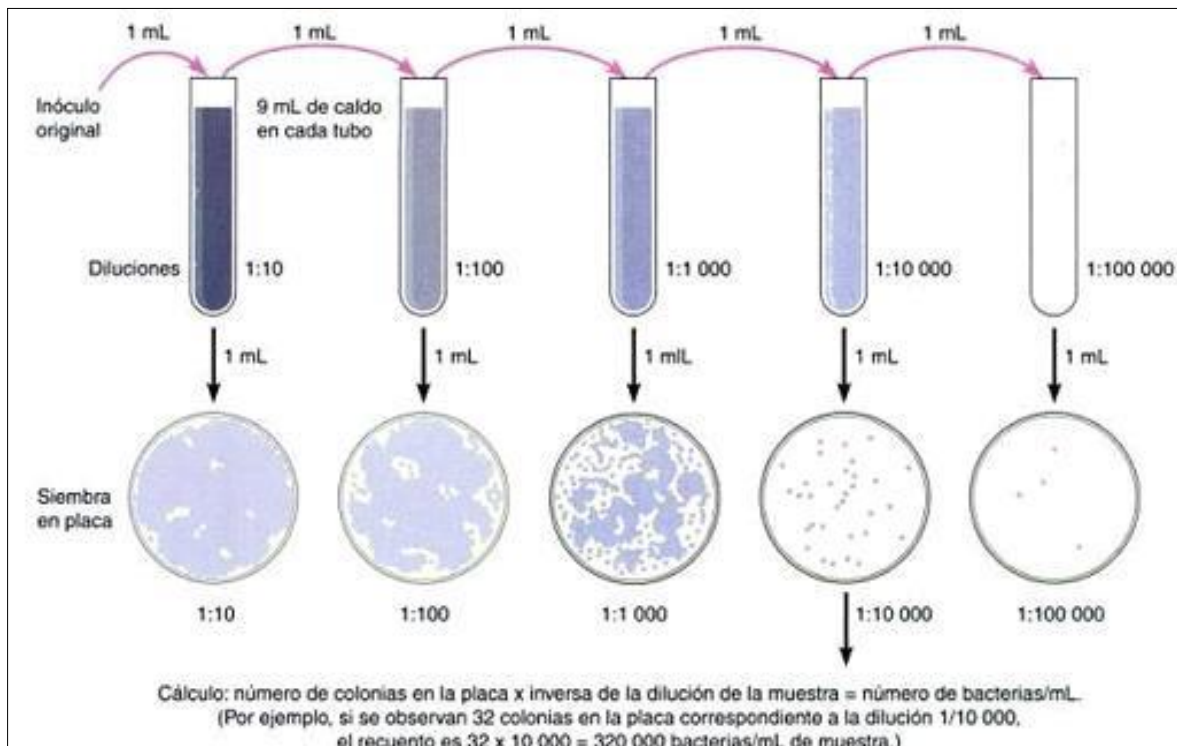


Fuente: Urbina, 2011: *Introducción a la Fitopatología* <https://goo.gl/gj9XVJ>

Supervivencia en el suelo:

Los microorganismos inoculados fueron aislados del sustrato para comprobar que podían vivir en las condiciones del ensayo y su efecto en el cultivo, para las muestras de suelo se usó la técnica de dilución seriada. Se tomó 1 gramo de suelo que fue diluido en 10 mL de agua estéril o solución salina al 1% y se preparó 7 tubos con 9 mL de agua estéril. De la solución madre se tomó 1 mL y se transfirió al tubo de 10⁻¹ y así sucesivamente hasta 10⁻⁷, las tres últimas diluciones fueron sembradas en platos Petri con medio de cultivo, se transfirió 100 uL y luego se expandió usando el asa Digrafski. Los platos fueron incubados a 30°C por 96 horas haciendo chequeos diarios.

Figura 6: Método de dilución seriada de microbiología



Fuente: Universidad Nacional Abierta a Distancia, 2015: <https://goo.gl/FFlgjq>

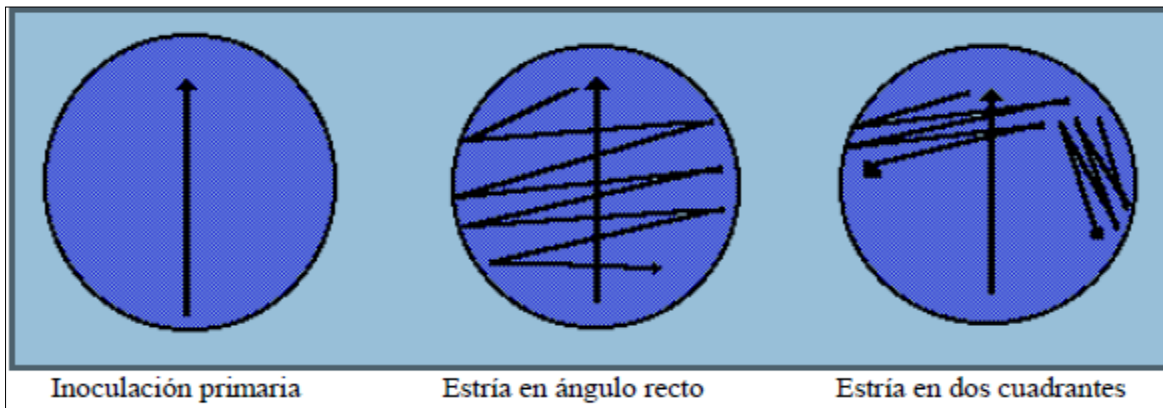
Preparación de medio de cultivo

Todos los medios que se usaron son comerciales. La preparación consistió en la resuspensión del polvo de acuerdo al volumen a preparar, se calentó en cocina para diluir y luego se esterilizó en autoclave por 15 minutos a 121°C.

Siembra y purificación de microorganismos

La siembra de microorganismos se realizó inicialmente por la técnica de cultivo en placa, luego se procedió a la purificación de microorganismos de interés, fueron tomados con un asa de siembra estéril y se sembraron en un plato petri con cultivo por la técnica de agotamiento, se tuvieron colonias individuales aisladas, una vez se confirmó la pureza del microorganismo se sembró en una nueva placa para observar su morfología y el estudio microscópico.

Figura 7: Siembra de microorganismos en placa



Fuente: *Técnicas básicas de cultivo de microorganismos*, 2015: <http://goo.gl/INptzH>

Ensayo de patogenicidad

Las colonias almacenadas se sembraron en platos con medio de cultivo estéril y para bacterias se usó medio líquido. A partir de los medios de cultivo con crecimiento luego de 72-96 horas se prepararon soluciones de cada microorganismo fueron suspendidas en agua estéril para ser colocados en un atomizador.

7.12. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos recopilados de las variables de respuesta tomadas en este trabajo de investigación debieron promediarse, utilizando Microsoft Excel 2013; estos datos se sometieron al análisis de Varianza (ANAVA) y a la Prueba de Tukey ambos con un nivel de significancia del 5 %, la razón por la cual se realizaron estos análisis fue obtener la información sobre el efecto de las variables en estudio para cada tratamiento.

7.12.1. Análisis de Varianza:

El análisis de Varianza (ANAVA) es un conjunto de técnicas estadísticas que sirve para determinar las diferencias que existen entre las medias de tres o más grupos. para determinar el análisis de Varianza se utilizó el software InfoStat el cual nos proyectó una tabla en la que nos basamos en un valor de significancia de 5% para luego ser comparado con un p-valor que la misma tabla nos calcula automáticamente, si el p-valor es menor que el nivel de significancia, entonces se concluye que al menos una media es diferente y se acepta o se rechaza la hipótesis nula. Se recomienda utilizar el método de Tukey para determinar la diferencia entre medias específicas.

7.12.2. Prueba de Tukey:

La prueba de Tukey se realizó después del análisis de Varianza, ya que si dicho análisis confirma la diferencia entre tratamientos es conveniente investigar e identificar que tratamientos son estadísticamente diferentes y en cuanto oscila el valor de esa diferencia.

El objetivo fundamental de la Prueba de Tukey es comparar entre sí medias de tratamientos o grupos de ellas. Se obtuvieron las medias a través de la prueba de Tukey y se hizo la comparación entre sí de los tratamientos y bloques, dicha prueba proyectó una tabla y su respectivo gráfico dentro del cual se podía observar si había diferencia significativa o no, si el grafico mostraba letras diferentes al hacer la comparación podría asegurarse que si había diferencia estadísticamente significativa, esta prueba nos mostró una tabla dentro de la cual se tomó en cuenta el número de tratamientos (N) y el error estándar (E.E), con 5 % de significancia Software InfoStat.

Se utilizó la versión estudiantil del software InfoStat para llevar a cabo el análisis de Varianza y la prueba de Tukey, primeramente se utilizó Microsoft Excel 2013 para promediar los datos obtenidos en la parcela experimental de las variables de respuesta, tanto de desarrollo como de cosecha, se elaboró una tabla con los valores promedios siguiendo el orden de modelos de bloques completos al azar (BCA), dicha tabla fue copiada y pegada directamente al InfoStat y se seleccionó análisis de Varianza de la opción estadística, se procedió a seleccionar las variables dependientes y de clasificación, se seleccionó el método de comparación (Tukey), se le dio un valor de significancia de 5 % y posteriormente el InfoStat nos proyectó automáticamente las tablas del análisis de Varianza y gráficos de la prueba de Tukey.

VIII. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

8.1. ANALISIS FISICOQUIMICO DEL SUSTRATO

En la siguiente tabla se presentan los resultados del análisis del suelo realizado en el laboratorio de Edafología (UNI-FTC).

Tabla 15: Resultados de análisis fisicoquímico del sustrato utilizado

PROPIEDAD	VALOR	CLASIFICACIÓN
Capacidad de campo:	18.76 %	Media baja
Punto de marchitez permanente:	10.19 %	Medio
Densidad aparente:	0.20 gr/cm ³	Muy baja
Densidad real:	2.27 gr/cm ³	Baja
Porosidad:	91.18 %	Muy alta
Textura:	Arcilla: 5%, Limo: 21%, Arena: 74%	Arenoso franco
Potencial Hidrogeno (pH):	7.43	Ligeramente alcalino
Conductividad Eléctrica (CE) :	2.52 (mmhos/cm)	Poco salino
Fosforo (P disp.):	32.46 ppm	Alto
Materia Orgánica (MO):	7.66 %	Alto

Fuente: Laboratorio de Edafología (UNI), la escala utilizada se muestra en las siguientes tablas

8.1.1. Capacidad de campo (CC)

En el análisis del sustrato realizado en el Laboratorio de Edafología de la UNI se obtuvo como resultado una capacidad de campo de 18.76%. Esto significa que la capacidad de retención de agua en este suelo es media baja debido a la influencia de la textura y al alto porcentaje de porosidad de este suelo (**ver tabla 16**).

Tabla 16: Evaluación de la Capacidad de Campo.

Capacidad de campo (%)	Observaciones
Menor de 7	Muy baja
7-12	Baja
12-20	Media baja
20-30	Media
Mayor de 30	Elevada

Fuente: Laboratorio de Edafología (UNI)

8.1.2. Punto de Marchitez Permanente

En el análisis del sustrato; el porcentaje de punto de marchitez permanente fue de 10.19% esto significa que el punto de marchitez permanente se encuentra en el rango Medio, si el porcentaje de humedad disminuye de ese rango las plantas alcanzan un punto irreversible, se marchitaran y comenzaran a secarse ocasionando pérdidas de cosecha (**Ver tabla 17**).

Tabla 17: Evaluación del Punto de Marchitez Permanente

Punto de Marchitez Permanente %	Clasificación
<9.2	Baja
9.2 – 24.5	Media
24.5 – 45.8	Alta
>45.8	Muy Alta

Fuente: Laboratorio de Edafología (UNI)

8.1.3. Densidad Aparente (Da)

La densidad aparente en un suelo es la relación entre el peso de una muestra y el volumen que ella ocupa.

En los resultados de laboratorio de densidad aparente que obtuvimos fue de 0.20 gr/cm³, es una densidad aparente muy baja, es debido al efecto beneficioso de la materia orgánica, ya que disminuye la densidad aparente al influir positivamente en la porosidad, habrá menos compactación y probablemente mayor contenido de humedad en el sustrato (**Ver tabla 18**).

Tabla 18: Evaluación de la Densidad Aparente

Evaluación Densidad Aparente (Da)	gr/cm ³
Muy Baja	<1.0
Baja	1.0– 1.2
Media	1.2 – 1.45
Alta	1.45 – 1.60
Muy Alta	>1.60

Fuente: Laboratorio de Edafología (UNI)

8.1.4. Densidad Real (Dr)

Es el cociente entre la masa del suelo seco y el volumen ocupado por la partícula sólida, es decir, el volumen de suelo descartando los poros. La densidad real de los suelos es casi constante e igual a 2.6 gr/cm^3 pudiendo disminuir cuando aumente la materia orgánica.

En el análisis de laboratorio la densidad real que presentó el sustrato se considera baja, siendo este de 2.27 gr/cm^3 , esto es debido al alto porcentaje de materia orgánica presente en el sustrato (**Ver tabla 19**).

Tabla 19: Evaluación de la Densidad Real

Densidad Real gr/cm ³	Evaluación
<2.40	Bajo
2.40 – 2.60	Medio
2.60 – 2.80	Alto
>2.80	Muy Alto

Fuente: Laboratorio de Edafología (UNI)

8.1.5. Porosidad

La porosidad se encuentra relacionada con las propiedades anteriores, el resultado obtenido de 91.18 % nos revela que es muy alta dando a conocer un sustrato con gran capacidad de aireación y circulación de líquidos, en este caso agua (**Ver tabla 20**).

Tabla 20: Evaluación de la Porosidad

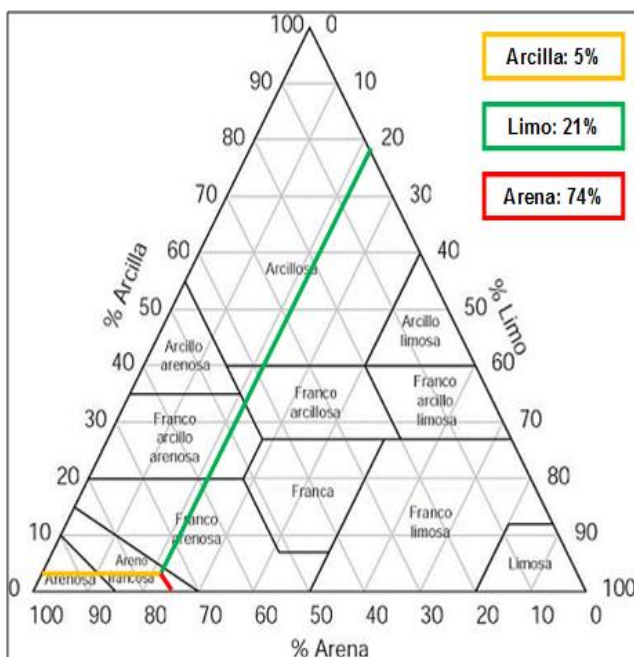
Evaluación Porosidad Total (Pt)	Porcentaje (%)
Muy Alta	>65
Alta	55 – 65
Media	45 – 55
Baja	40 – 45
Muy Baja	<40

Fuente: Laboratorio de Edafología (UNI)

8.1.6. Textura

La textura del suelo es la proporción en la que se encuentran distribuidas variadas partículas elementales que pueden conformar un sustrato. Según sea el tamaño, porosidad o absorción del agua en la partícula del suelo o sustrato, pueden clasificarse en 3 grupos básicos que son: la arena, el limo y las arcillas.

Figura 8: Triángulo Textural



La textura se refiere a la granulometría, al tamaño de las partículas que lo constituyen. El tipo de sustrato se determinó mediante el índice de textura; es decir, por medio del porcentaje de arena, arcilla y limo.

Al obtener los porcentajes de partículas por el método de Boyoucos y con ayuda del triángulo textural en función de la composición de la muestra del sustrato se determinó la textura del mismo, dando como resultado un sustrato arenoso franco, con un 5% de arcilla, 21% de limo y un 75% de arena. **(Ver Figura 8)**

Fuente: Propiedades Físicas del suelo, 2016:

<https://goo.gl/TsndZJ>

8.1.7. Potencial de Hidrogeno (pH)

La acidez o alcalinidad de un suelo se expresa mediante el pH del mismo, es decir, por la concentración de iones de hidrógeno que se encuentra en esos momentos disociados en la solución suelo/agua.

Se puede apreciar que el potencial de hidrógeno es de 7.43 según clasificación es ligeramente alcalino y se encuentra no muy distante a los valores del pH neutro, por lo tanto, favorece al desarrollo del cultivo de caña de azúcar, el cual se adapta a suelos con pH de 5.5-7.5, y al aproximarse a la neutralidad, en estas condiciones los elementos nutritivos están fácilmente disponibles **(Ver tabla 21)**.

Tabla 21: Rango de valores del pH

Valor de pH	Clasificación
<4.6-5.2	Extremadamente Acido
5.2-5.6	Muy frecuentemente acido
5.6-6.2	Fuertemente acido
6.2-6.6	Medianamente acido
6.6-6.8	Ligeramente acido
6.8-7.2	Neutro
7.2-7.4	Muy ligeramente alcalino
7.4-7.8	Ligeramente alcalino
7.8-8.4	Medianamente alcalino
8.4-8.8	Fuertemente alcalino
8.8-9.4	Muy fuertemente alcalino
>9.4	Extremadamente alcalino

Fuente: Laboratorio de Edafología (UNI)

8.1.8. Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica es una medida indirecta de la cantidad de sales que contiene un suelo, de acuerdo con el resultado de 2.52 (mmhos/cm) es un suelo poco salino, por lo tanto, la caña de azúcar es un cultivo moderadamente sensible a la salinidad, esto indica poco riesgo a problemas de salinización que afecta el crecimiento, rendimiento y la calidad del cultivo debido a los efectos adversos causados por la toxicidad (**Ver tabla 22**).

Tabla 22: Evaluación de la conductividad eléctrica y clasificación del suelo

Conductividad Eléctrica (CE) en milimhos/cm a 25 °C	Clasificación del suelo
<2.0	No salino
2.0 – 4.0	Poco salino
4.0 – 8.0	Medianamente salino
8.0 – 12.0	Fuertemente salino
>12.0	Extremadamente salino

Fuente: Laboratorio de Edafología (UNI)

8.1.9. El fósforo.

El fosforo presentó un alto contenido en el sustrato utilizado con 32.46 ppm, lo que indica una alta adquisición del cultivo de este elemento. (**Ver Anexos III**)

8.1.10. Materia Orgánica (MO)

La materia orgánica se refiere a la cantidad de restos orgánicos que se encuentran alterados en el suelo dando lugar al aumento del contenido de nutrientes, es un parámetro muy útil para conocer de forma indirecta la fertilidad del suelo, como se observa en la tabla el sustrato utilizado se encuentra en un rango alto con un 7.66 % (Ver tabla 23).

Tabla 23: Rango de valores de materia orgánica

Materia Orgánica (%)	Clasificación
Menor de 2	Bajo
2-4	Medio
Mayor a 4	Alto

Fuente: Laboratorio de Edafología (UNI)

8.2. RESULTADO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

En el siguiente cuadro se muestra el resultado de la evapotranspiración para la zona de estudio.

Figura 9: Cálculo de la evapotranspiración (Eto) por el método de Penman

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	Eto mm/día
Enero	21.6	32.8	67	311	9.9	21.2	5.55
Febrero	21.9	33.7	64	346	10.1	23.1	6.40
Marzo	22.7	34.9	60	363	10.3	24.9	7.29
Abril	24.2	35.9	61	337	11.2	26.8	7.64
Mayo	24.5	34.8	69	259	8.7	22.6	6.08
Junio	24.1	32.8	77	199	6.3	18.7	4.63
Julio	23.9	32.6	77	225	6.4	18.9	4.69
Agosto	23.8	33.2	77	199	6.6	19.5	4.76
Septiembre	23.6	32.8	79	173	7.5	20.6	4.78
Octubre	21.4	29.1	73	130	10.2	23.5	4.74
Noviembre	20.3	29.2	68	156	10.2	21.9	4.50
Diciembre	19.8	29.6	64	216	10.3	21.2	4.73
Promedio	22.6	32.6	70	243	9.0	21.9	5.48

Fuente: Software Cropwat, 2016

La tabla anterior muestra el resultado del programa Cropwat 8.0 esta cuenta con la habilidad de calcular automáticamente la evapotranspiración al introducir los valores promedios de las variables climáticas.

Este trabajo investigativo se ejerció en el periodo de enero a diciembre del 2016. En la tabla se observa que el valor más alto comprendido en este periodo pertenece al mes de abril con 7.64 mm/día.

8.3. DISEÑO AGRONÓMICO DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

En la siguiente tabla se muestran los resultados del diseño agronómico del sistema de riego por goteo empleado en el estudio

Tabla 24: Resultados del Diseño agronómico del sistema de riego por goteo

Aspectos del Riego	
Evapotranspiración de Referencia (Eto)	7.64 mm/día
Evapotranspiración del Cultivo (Etc)	9.93 mm/día
Necesidades Totales de Riego (Nt)	12.26 mm/día
Dosis diaria por planta (Dp)	10.31 lts/planta/día
Intensidad de Aplicación del Emisor (Ia)	4.76 mm/h
Número de emisor por m ²	1
Volumen del emisor	12.26 mm/emisor
Tiempo de Riego (Tr)	2.57 hr/día
Norma Neta del suelo (Nn)	146.88 mm
Norma Bruta del suelo (Nb)	163.20 mm
Marco de Plantación	
Separación entre plantas	0.60 m
Separación entre surcos o hileras de plantas	1.40 m
Distribución de la Red según Marco de Plantación	
Separación entre emisores sobre el Lateral	0.60 m
Separación del primer emisor en el Lateral	0.8m
Número de emisores en cada Lateral	7 emisores
Separación entre Laterales sobre tubería Terciaria	1.40 m
Separación del primer Lateral sobre la Terciaria	0.44 m
Número de Laterales en Tubería Terciaria	4 laterales
Longitud de Tubería Conductora	26.95 m
Longitud de Tubería Terciaria	6.44 m
Longitud de Tubería Lateral	5 m

Fuente: Elaboración propia

Se realizaron todos los cálculos pertinentes (**ver anexos II**), tomando datos de la estación meteorológica ubicada en el Aeropuerto Internacional Augusto César Sandino en el Departamento de Managua, los cuales fueron proporcionados por INETER para calcular la Evapotranspiración de Referencia (ET_o) y así determinar la Evapotranspiración del Cultivo (ET_c) y satisfacer sus necesidades hídricas. Las necesidades totales de riego fueron de 12.26 mm/día, para aplicar esta lámina, se calculó un tiempo de riego de 2.57 hr/día (aproximadamente 3 horas por día).

8.4. DISEÑO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el cálculo del diseño hidráulico del sistema de riego por goteo empleado en el experimento.

Tabla 25: Resultados del Diseño hidráulico del sistema de riego por goteo

Dimensiones de las Tuberías	
Lateral (PE)	
Longitud	5 m
Diámetro	16 mm
Terciaria (PE)	
Longitud	6.44 m
Diámetro	38 mm
Conductora (PVC)	
Longitud	26.95 m
Diámetro	25 mm
Caudales en las Tuberías	
Lateral	0.0077 lph
Terciaria	0.031 lph
Conductora	0.06 lph
Régimen de Presiones	
Tubería Lateral	
Pérdida de Carga (hfl)	0.00085 m
Presión a la entrada (hl)	7.0556 m
Presión Mínima (hn)	7.0447 m
Diferencia de presión en la tubería (Δh)	0.0109 m
Tubería Terciaria	
Pérdida de Carga (Hfl)	0.00019 m
Presión a la entrada (HI)	7.0879 m
Presión Mínima (Hn)	7.0233 m
Diferencia de presión en la tubería (ΔH)	0.0646 m

Tubería Conductor	
Pérdida de Carga (H _{fc})	0.000011 m
Presión a la entrada (H _c)	6.95 m

Fuente: Elaboración propia

8.5. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LAS VARIABLES DE DESARROLLO

Los resultados obtenidos afines al análisis de varianza (ANAVA) que se practicó a las distintas variables de desarrollo del cultivo de caña de azúcar se detallan en las siguientes tablas.

8.5.1. Análisis de Varianza para la variable altura 220 DDS

En la siguiente tabla se observan los resultados obtenidos al efectuar el análisis de varianza (ANAVA) a la variable altura a los 220 DDS.

Tabla 26: Resultado del análisis de varianza de la variable altura 220 DDS.

Altura 220 DDS (cm)					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Altura	28	0.53	0.30	16.94	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5283.02	9	587.00	2.28	0.0648
Tratamientos	4722.17	6	787.03	3.06	0.0303
Bloque	560.85	3	186.95	0.73	0.5487
Error	4624.49	18	256.92		
Total	9907.51	27			
SC: Suma de cuadrados, gl: Grados de libertad, CM: Cuadrados					

Fuente: Software InfoStat, 2016

En la tabla anterior, refleja que al analizar la variable altura 220 DDS, por el método análisis de Varianza ANAVA, mostró una diferencia significativa entre tratamientos, ya que el valor p es menor al valor del nivel de significancia de 0.05. En este caso se acepta la hipótesis alternativa (H_a) y se rechaza la hipótesis nula (H₀), por que al menos uno de los tratamientos se comportó diferente al testigo.

8.5.2. Análisis de Varianza para la variable diámetro 220 DDS

En la siguiente tabla se observan los resultados obtenidos al efectuar el análisis de varianza (ANAVA) a la variable diámetro a los 220 DDS.

Tabla 27: Resultado del análisis de varianza de la variable diámetro 220 DDS.

Diámetro 220 DDS (mm)					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Diámetro	28	0.59	0.38	10.10	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	137.05	9	15.23	2.83	0.0286
Tratamientos	121.57	6	20.26	3.77	0.0131
Bloque	15.48	3	5.16	0.96	0.4325
Error	96.69	18	5.37		
Total	233.74	27			

SC: Suma de cuadrados, **gl:** Grados de libertad, **CM:** Cuadrados

Fuente: Software InfoStat, 2016

En la tabla 27. Al realizar el análisis de varianza ANAVA para la variable Diámetro 120 DDS, muestra que existe diferencias significativas entre los tratamientos ya que el valor p es igual a 0.0131 es menor al valor del nivel de significancia de 0.05. En este caso se acepta la hipótesis alternativa (Ha) y se rechaza la hipótesis nula (Ho).

8.5.3. Análisis de Varianza para la variable número de hojas 220 DDS

En la tabla siguiente se observan los resultados obtenidos al efectuar el análisis de varianza (ANAVA) a la variable número de hojas a los 220 DDS.

Tabla 28: Resultado del análisis de varianza de la variable número de hojas 220 DDS.

Número de hojas 220 DDS					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Núm. hojas	28	0.36	0.04	22.84	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	635.21	9	70.58	3.43	0.0125
Tratamientos	325.60	6	54.27	2.64	0.0417
Bloque	309.61	3	103.20	5.01	0.0106
Error	370.68	18	20.59		
Total	1005.89	27			

SC: Suma de cuadrados, **gl:** Grados de libertad, **CM:** Cuadrados

Fuente: Software InfoStat, 2016

En la tabla 28. Al realizar el análisis de Varianza (ANAVA) para la variable número de hojas 220 DDS, muestra diferencia significativa entre los tratamientos, ya que el valor p es igual a 0.0417 y es menor al valor del nivel de significancia de 0.05. En este caso se acepta la hipótesis alternativa (Ha) y se rechaza la hipótesis nula (Ho).

8.5.4. Análisis de Varianza para la variable Número de brotes 220 DDS

En la tabla siguiente se observan los resultados obtenidos al efectuar el análisis de varianza (ANAVA) a la variable número de brotes a los 220 DDS.

Tabla 29: Resultado del análisis de varianza de la variable número de brotes 220 DDS

Número de brotes 220 DDS					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Núm. brotes	28	0.48	0.22	21.69	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	724.17	9	80.46	1.85	0.1272
Tratamientos	549.98	6	91.62	2.11	0.0128
Bloque	174.19	3	58.06	1.34	0.2940
Error	782.43	18	43.47		
Total	1506.60	27			
SC: Suma de cuadrados, gl: Grados de libertad, CM: Cuadrados medios					

Fuente: Software InfoStat, 2016

Para la tabla 29. Al realizar el análisis de Varianza (ANAVA) para la variable número de brotes 220 DDS, muestra diferencia significativa en los tratamientos, ya que el valor p es igual a 0.0128 y es menor al valor del nivel de significancia de 0.05. En este caso se acepta la hipótesis alternativa (Ha) y se rechaza la hipótesis nula (Ho).

8.5.5. Análisis de Varianza para la variable número de entrenudos 120 DDS

Tabla 30: Resultado del análisis de varianza de la variable número de entrenudos a los 120 DDS.

Número de entrenudos 120 DDS					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Núm. entrenudos	28	0.58	0.37	11.05	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	13.08	9	1.45	2.74	0.0330
Tratamientos	59.12	6	1.52	2.86	0.0389
Bloque	3.96	3	1.32	2.49	0.0935
Error	9.56	18	0.53		
Total	22.64	27			
SC: Suma de cuadrados, gl: Grados de libertad, CM: Cuadrados medios					

Fuente: Software InfoStat, 2016

En la tabla 30. Al realizar el análisis de Varianza (ANAVA) para la variable número de entrenudos 120 DDS, muestra diferencia significativa en los tratamientos, ya que el valor p es igual a 0.0389 y es menor al valor del nivel de significancia de 0.05. En este caso se acepta la hipótesis alternativa (Ha) y se rechaza la hipótesis nula (Ho).

8.5.6. Análisis de Varianza para la variable número de hojas afectadas 120 DDS

Tabla 31: Resultado del análisis de varianza de la variable número de hojas afectadas a los 120 DDS.

Número de hojas afect. 120 DDS					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Núm. hojas afectadas	28	0.70	0.55	51.06	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	479.11	9	53.23	4.65	0.0027
Tratamientos	437.68	6	72.95	6.37	0.0010
Bloque	41.43	3	13.81	1.21	0.3363
Error	206.29	18	11.46		
Total	685.40	27			
SC: Suma de cuadrados, gl: Grados de libertad, CM: Cuadrados medios					

Fuente: Software InfoStat, 2016

Según la tabla 31. Refleja que al realizar el análisis de varianza (ANAVA) a la variable número de hojas afectadas a los 120 DDS, muestra una diferencia significativa entre tratamientos, ya que el valor p es igual a 0.010 y es menor que el valor del nivel de significancia de 0.05. En este caso se acepta la hipótesis alternativa (Ha) y se rechaza la hipótesis nula (Ho).

8.6. ANÁLISIS DE VARIANZA DURANTE LA COSECHA

8.6.1. Análisis de Varianza para la variable de cosecha Grados Brix

En la siguiente tabla se observan los resultados obtenidos al efectuar el análisis de varianza (ANAVA) a la variable grados Brix.

Tabla 32: Resultado del análisis de varianza de la variable Grados Brix

Grados Brix					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Grados Brix	28	0.37	0.06	7.62	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	26.12	9	2.90	1.19	0.3607
Tratamientos	22.53	6	3.76	1.53	0.2235
Bloque	3.59	3	1.20	0.49	0.6946
Error	44.06	18	2.45		
Total	70.18	27			
SC: Suma de cuadrados, gl: Grados de libertad, CM: Cuadrados					

Fuente: Software InfoStat, 2016

La tabla 32. Al realizar el análisis de Varianza (ANAVA) para la variable de cosecha Grados Brix del tallo, muestra que no hubo diferencia significativa entre tratamientos, ya que el valor p es igual a 0.2235 y es mayor al valor del nivel de significancia de 0.05. En este caso se acepta la hipótesis nula (Ho) y se rechaza la hipótesis alternativa (Ha).

8.6.2. Análisis de Varianza para la variable de cosecha Peso de biomasa fresca

En la siguiente tabla se observan los resultados obtenidos al efectuar el análisis de varianza (ANAVA) a la variable peso de biomasa fresca.

Tabla 33: Resultado del análisis de varianza de la variable Peso de biomasa fresca

Peso de biomasa fresca (kg)					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Peso de Biomasa	28	0.62	0.42	21.74	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	158.24	9	17.58	3.20	0.0172
Tratamientos	131.58	6	21.93	3.99	0.0103
Bloque	26.67	3	8.89	1.62	0.2208
Error	99.03	18	5.50		
Total	257.27	27			
SC: Suma de cuadrados, gl: Grados de libertad, CM: Cuadrados					

Fuente: Software InfoStat, 2016

La tabla 33. Al realizar el análisis de Varianza (ANAVA) para la variable de cosecha peso de biomasa fresca del tallo, muestra que los tratamientos tuvieron diferencia significativa, ya que el valor p es igual a 0.0103 y es menor al valor del nivel de significancia 0.05. En este caso se acepta la hipótesis alternativa (Ha) y se rechaza la hipótesis nula (Ho).

8.6.3. Análisis de Varianza para la variable de cosecha Peso de la varetta

En la siguiente tabla se observan los resultados obtenidos al efectuar el análisis de varianza (ANAVA) a la variable peso de la varetta.

Tabla 34: Resultado del análisis de varianza de la variable Peso de la varetta

Peso de la varetta (kg)					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Peso de la varetta	28	0.57	0.36	21.16	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	88.99	9	9.89	2.70	0.0346
Tratamientos	81.63	6	13.61	3.72	0.0139
Bloque	7.36	3	2.45	0.67	0.5809
Error	65.81	18	3.66		
Total	154.80	27			
SC: Suma de cuadrados, gl: Grados de libertad, CM: Cuadrados					

Fuente: Software InfoStat, 2016

En la tabla 34. Al realizar el análisis de Varianza (ANAVA) para la variable de cosecha peso de la varetta, muestra que los tratamientos tuvieron diferencia significativa, ya que el valor p es igual a 0.0139 y es menor al valor del nivel de significancia de 0.05. En este caso se acepta la hipótesis alternativa (Ha) y se rechaza la hipótesis nula (Ho).

8.6.4. Análisis de Varianza para la variable de cosecha Peso de las raíces

En la siguiente tabla se observan los resultados obtenidos al efectuar el análisis de varianza (ANAVA) a la variable peso de las raíces.

Tabla 35: Resultado del análisis de varianza de la variable Peso de las raíces

Peso de las raíces (kg)					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Peso de las raíces	28	0.53	0.30	31.20	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	7.83	9	0.87	2.29	0.0648
Tratamientos	7.78	6	1.30	3.40	0.0201
Bloque	0.05	3	0.02	0.05	0.9867
Error	6.86	18	0.38		
Total	14.69	27			
SC: Suma de cuadrados, gl: Grados de libertad, CM: Cuadrados					

Fuente: Software InfoStat, 2016

La tabla 35. Al realizar el análisis de Varianza (ANAVA) para la variable de cosecha peso de las raíces, muestra que los tratamientos tuvieron diferencia significativa, ya que el valor p es igual a 0.0201 y es menor al valor del nivel de significancia de 0.05. En este caso se acepta la hipótesis alternativa (Ha) y se rechaza la hipótesis nula (Ho).

8.7. PRUEBA TUKEY PARA LAS VARIABLES DE DESARROLLO

Se realizó la prueba de Tukey con $\alpha = 5\%$ (Nivel de significancia), a las diferentes variables de estudio, obteniéndose los siguientes resultados durante el desarrollo del cultivo de caña de azúcar.

8.7.1. Prueba de Tukey para variable altura 220 DDS

En la tabla 36. Se presentan los resultados obtenidos de la prueba Tukey, realizada a la variable altura a los 220 DDS.

Tabla 36: Resultados de la prueba de Tukey para la variable altura 220 DDS

Test: Tukey Alfa=0.05					
Error: 256.9160 gl: 18					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
T0	69.90	4	8.01	A	
T6	85.28	4	8.01	A	B
T4	88.56	4	8.01	A	B
T1	100.76	4	8.01	A	B
T3	102.19	4	8.01	A	B
T5	107.46	4	8.01		B
T2	108.24	4	8.01		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: Software InfoStat, 2016

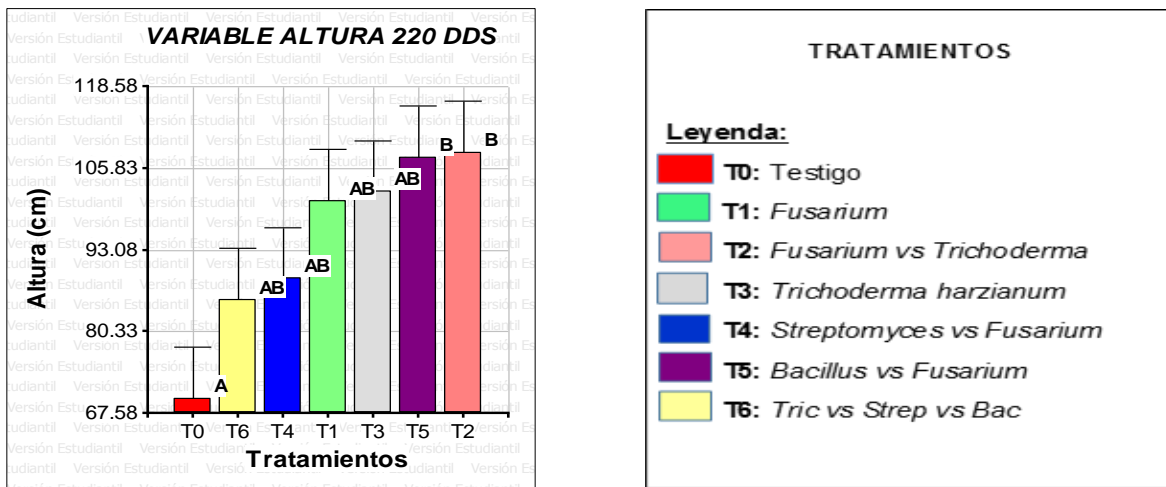
Según los resultados obtenidos de la tabla 36, para la variable altura a los 220 DDS, se puede observar que no existe diferencia estadísticamente significativa entre los 6 tratamientos (T1, T2, T3, T4, T5 y T6) pero si se puede observar que muestra una diferencia significativa en los tratamientos (T2 y T5) con respecto al testigo absoluto (T0), sobre saliendo T2 con una altura de 108.24 cm, seguido de T5 con 107.46 cm.

En el trabajo realizado por Bashan y Holguin (1,997) afirman haber obtenido resultados positivos al utilizar la fertilización con *Trichoderma lignorum* sobre la longitud del tallo de las plantas de caña de azúcar de la variedad CC-934418, dichos tratamientos ejercieron efecto a los 15 DDS, mostrando ser estos significativamente mayores que el tratamiento de control.

Según Rojas y otros (2013) las bacterias del genero *Bacillus* pueden influir positivamente en el crecimiento de la planta por medio de la síntesis y excreción de sustancias fitoestimuladoras, que pueden incluir diversos tipos de fitohormonas como las auxinas o citocininas.

Nuestros resultados se encuentran relacionados con lo citado anteriormente ya que tanto *Trichoderma harzianum* como *Bacillus amyloliquefaciens* mostraron resultados positivos en la variable de desarrollo altura de la planta, mostrando diferencias estadísticamente significativas con respecto al tratamiento de control.

Figura 10: Gráfico de la prueba de Tukey para la variable altura



Fuente: Software InfoStat, 2016

8.7.2. Prueba de Tukey para la variable diámetro 220 DDS

En la tabla 37. Se presentan los resultados obtenidos de la prueba de Tukey, realizada a la variable diámetro a los 220 DDS.

Tabla 37: Resultados de la prueba de Tukey para la variable diámetro 220 DDS

Test: Tukey Alfa=0.05					
Error: 5.3715 gl: 18					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
T0	19.40	4	1.16	A	
T1	20.86	4	1.16	A	B
T6	22.70	4	1.16	A	B
T2	23.34	4	1.16	A	B
T5	23.66	4	1.16	A	B
T4	24.50	4	1.16	A	B
T3	26.16	4	1.16		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: Software InfoStat, 2016

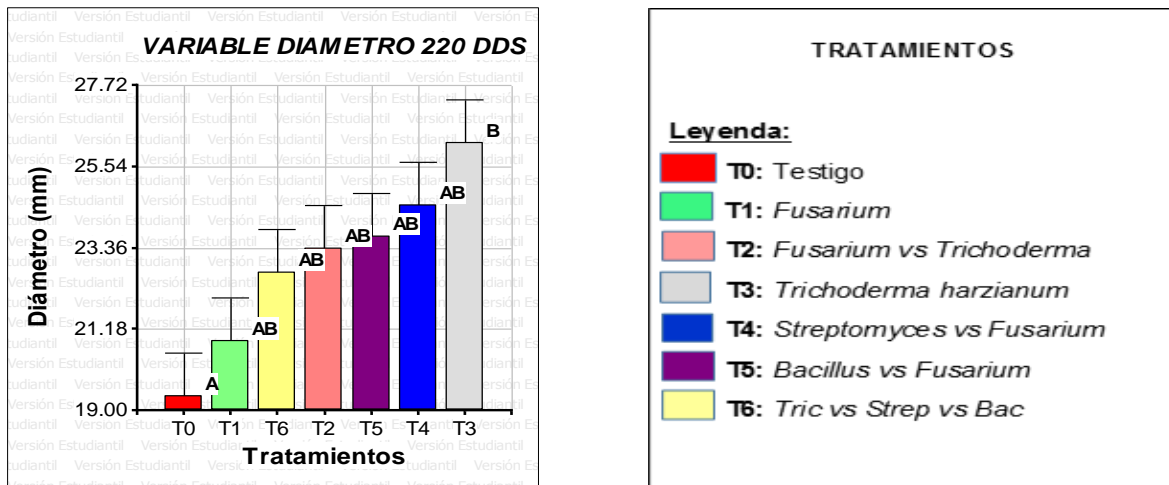
Los resultados mostrados en la tabla 37, para la variable diámetro a los 220 DDS, podemos observar que se presenta diferencia estadísticamente significativa entre el tratamiento (T3) con respecto al Tratamiento de control (T0), sobresaliendo T3 con un grosor de diámetro de 26.16 mm.

Según el estudio realizado por Serna-Cock (2011) el efecto de fertilización con *Trichoderma lignorum* en plantas de caña de azúcar a los 45 DDS presentó resultados positivos en el diámetro del tallo con valores de 9 mm en los tratamientos inoculados con *Trichoderma* con respecto al control.

Benítez y Rincón (2004) afirman que el éxito de las cepas de *Trichoderma* como agentes de control biológico (BACs) se debe a su alta capacidad reproductiva, habilidad para sobrevivir bajo condiciones ambientales desfavorables, eficacia en la utilización de nutrientes, capacidad para modificar la rizósfera, fuerte agresividad contra hongos fitopatógenos y eficiencia como promotor del crecimiento en plantas e inducción en mecanismos de defensa.

Los resultados obtenidos están relacionados con lo citado anteriormente ya que *Trichoderma harzianum* ha mostrado resultados positivos en la variable de desarrollo diámetro del tallo, mostrando diferencia estadísticamente significativa con respecto al tratamiento de control.

Figura 11: Gráfico de la prueba de Tukey para la variable diámetro



Fuente: Software InfoStat, 2016

8.7.3. Prueba de Tukey para la variable número de hojas 220 DDS

En la tabla 38. Se presentan los resultados obtenidos de la prueba Tukey, realizada a la variable número de hojas 220 DDS.

Tabla 38: Resultados de la prueba de Tukey para la variable número de hojas 220 DDS

Test: Tukey Alfa=0.05					
Error: 20.5934 gl: 18					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
T1	24.12	4	2.27	A	
T0	28.58	4	2.27	A	B
T4	28.75	4	2.27	A	B
T6	31.09	4	2.27	A	B
T2	32.08	4	2.27	A	B
T3	33.29	4	2.27	A	B
T5	35.33	4	2.27		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: Software InfoStat, 2016

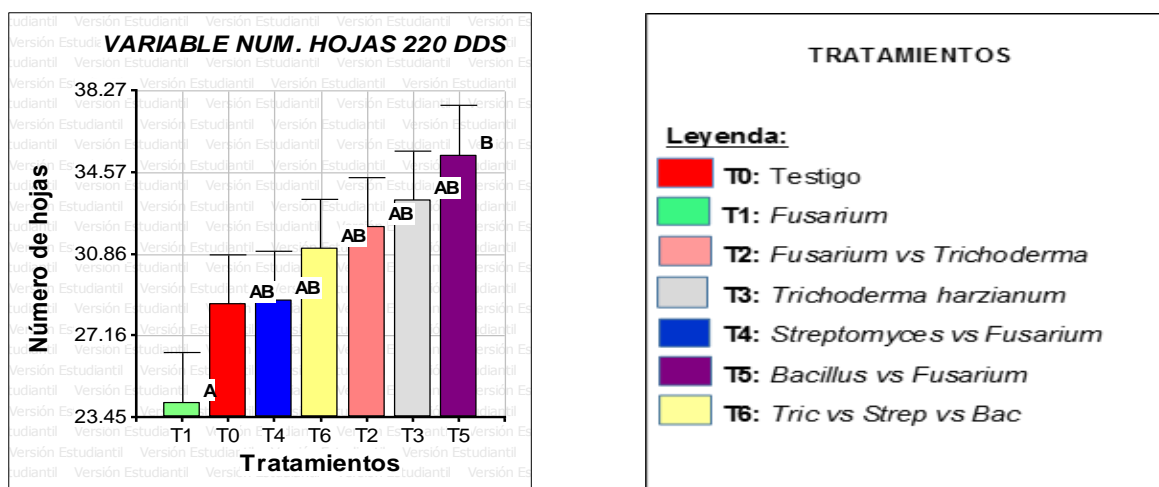
El resultado que muestra la tabla 38. Nos afirma que al realizar la prueba de Tukey para el número de hojas a los 220 DDS, presentó diferencia estadísticamente significativa entre el tratamiento (T5) con un número promedio de hojas de 35.33 y el tratamiento (T1) con 24.12, pero no muestra diferencia significativa con respecto al tratamiento de control ni al compararlo con los demás tratamientos.

Gonzales (2012) afirman en su trabajo de investigación que la aplicación de bacterias del género *Bacillus* en cultivo de fresa en dos variedades diferentes, mostró una tendencia positiva en el número de hojas al igual que en el área foliar.

Sotelo y otros (2011) en su estudio con rábano afirma que la fertilización con cepas de *Bacillus* incremento el promedio de número de hojas obteniendo mejores resultados en los tratamientos donde se utilizó esta bacteria en relación a los tratamientos donde no se aplicó, dichos resultados fueron tales que alcanzaron un promedio de 6 hojas en comparación con los tratamientos no inoculados los cuales presentaron un promedio de 4 a 5 hojas.

Nuestro estudio está vinculado a las afirmaciones anteriores ya que las cepas de *Bacillus amyloliquefaciens* utilizadas en el cultivo de caña de azúcar mostraron la capacidad de incidir de manera positiva el número promedio de hojas a nivel de invernadero.

Figura 12: Gráfico de la prueba de Tukey para la variable número de hojas



Fuente: Software InfoStat, 2016

8.7.4. Prueba de Tukey para variable número de brotes 220 DDS

En la tabla 39. Se presentan los resultados obtenidos de la prueba de Tukey, realizada a la variable número de brotes a los 220 DDS.

Tabla 39: Resultados de la prueba de Tukey para la variable número de brotes 220 DDS

Test: Tukey Alfa=0.05					
Error: 43.4683 gl: 18					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
T6	23.74	4	3.30	A	
T0	28.50	4	3.30	A	B
T1	29.04	4	3.30	A	B
T2	29.54	4	3.30	A	B
T5	30.38	4	3.30	A	B
T3	31.92	4	3.30	A	B
T4	39.61	4	3.30		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: Software InfoStat, 2016

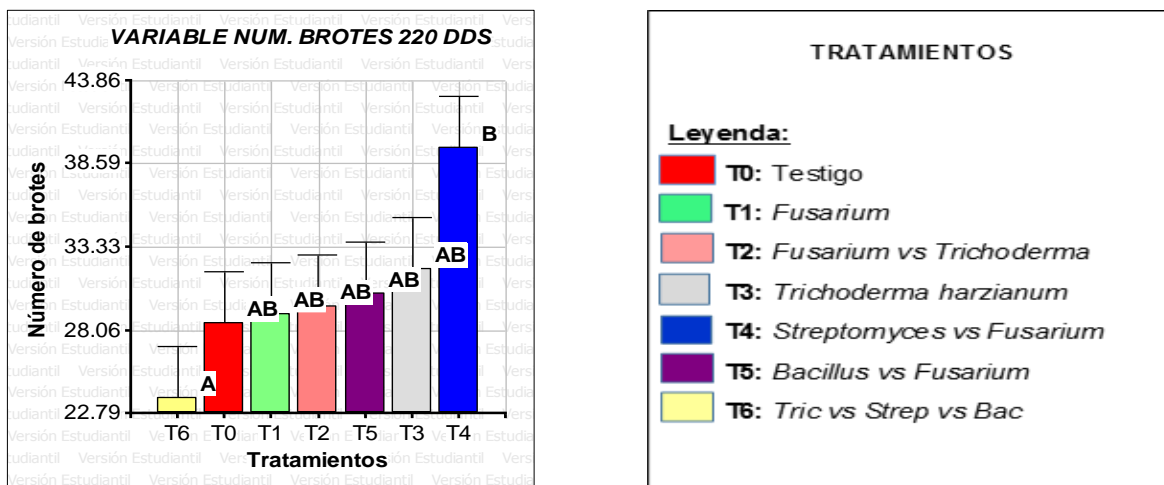
La tabla 39. Nos muestra que al realizar la prueba de Tukey para la variable número de brotes a los 220 DDS, se da una diferencia estadísticamente significativa entre el tratamiento (T4) con respecto al tratamiento (T6), sobresaliendo T4 con un número promedio de brotes de 39.61 mientras que el tratamiento (T6) presentó un valor promedio de 23.74.

Según Torrez y otros (2011) en su estudio realizado en cultivo de sorgo, afirma que la fertilización con bacterias PGPR como es el caso de *Streptomyces sp*, influyeron positivamente en el desarrollo de tallos, número de brotes y el grado de agrupamiento, además de estimular el crecimiento de las plantas, aumentar la capacidad de resistencia a las tensiones bióticas y abióticas y multiplicar el área superficial y el volumen de las raíces.

Rodríguez (2014) afirma que hay especies de *actinomicetos* que producen compuestos químicos que inhiben el crecimiento micelial y la germinación de esporas de hongos fitopatógenos.

Las afirmaciones anteriores están relacionadas con los resultados obtenidos en nuestro trabajo de investigación, las cuales demuestran que *Streptomyces sp*, estimula el desarrollo de brotes en el cultivo de caña de azúcar a nivel de invernadero, además de mostrar resistencia a las condiciones de estrés hídrico.

Figura 13: Gráfico de la prueba de Tukey para la variable número de brotes



Fuente: Software InfoStat, 2016

8.7.5. Prueba de Tukey para variable Número de entrenudos 120 DDS

En la tabla 40. Se presentan los resultados obtenidos del análisis de prueba de Tukey, realizada a la variable Número de entrenudos 120 DDS.

Tabla 40: Resultados de la prueba de Tukey para la variable Número de entrenudos 120 DDS

Test: Tukey Alfa=0.05					
Error: 0.5310 gl: 18					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
T0	5.57	4	0.36	A	
T1	6.19	4	0.36	A	B
T6	6.46	4	0.36	A	B
T2	6.54	4	0.36	A	B
T3	6.83	4	0.36	A	B
T4	7.22	4	0.36	A	B
T5	7.32	4	0.36		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

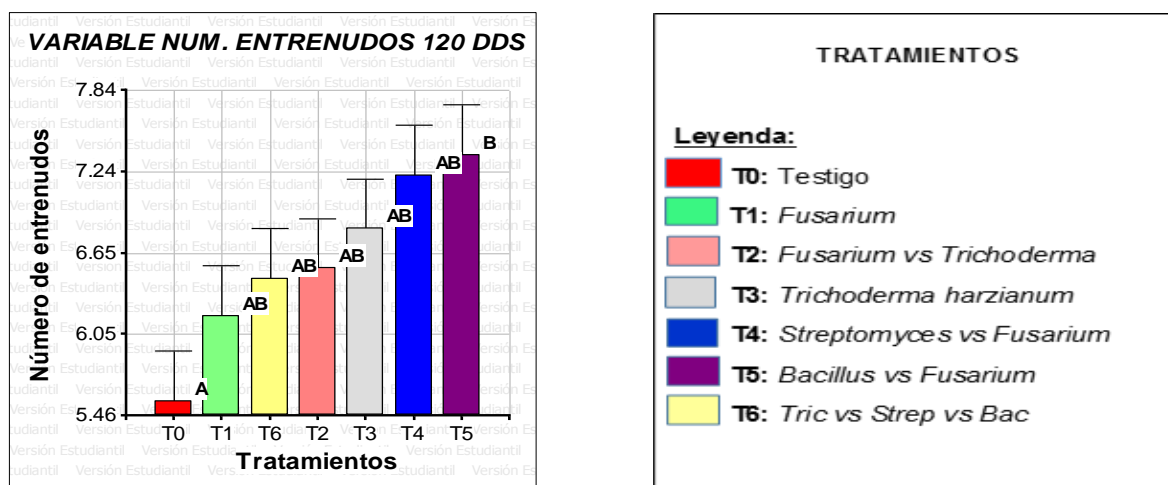
Fuente: Software InfoStat, 2016

Según la tabla 40. Nos muestra la variable número de entrenudos a los 120 DDS, presentó diferencia estadísticamente significativa en el tratamiento (T5) en comparación con el tratamiento de control (T0), sobresaliendo T5 con un promedio de entrenudos de 7.32 y el promedio más bajo T0 con 5.57 con respecto a los demás tratamientos.

El estudio realizado por Mañero y otros (2000) sobre bacterias productoras de giberelinas y estimulantes de crecimiento vegetal, afirman que cepas de *Bacillus pumilus* y *Bacillus licheniformis* mostraron ser capaces de producir este tipo de fitohormonas las cuales desempeñan un papel decisivo en la regulación del crecimiento vegetal, siendo su efecto más llamativo el estímulo del crecimiento longitudinal del tallo, que se manifiesta en mayor número y alargamiento de los entrenudos.

Lo citado anteriormente por Mañero y relacionado con los resultados positivos de nuestro trabajo fortalecen las afirmaciones de que *Bacillus amyloliquefaciens* es capaz de estimular la longitud del tallo y provocar un mayor número de entrenudos en caña de azúcar a través de fitohormonas producidas por esta bacteria.

Figura 14: Gráfico de la prueba de Tukey para la variable número de entrenudos



Fuente: Software InfoStat, 2016

8.7.6. Prueba de Tukey para número de hojas afectadas 120 DDS

En la tabla 41. Se presentan los resultados obtenidos de la prueba de Tukey, realizada a la variable número de hojas afectadas a los 120 DDS.

Tabla 41: Resultados de la prueba de Tukey para la variable número de hojas afectadas 120 DDS

Test: Tukey Alfa=0.05						
Error: 11.4603 gl: 18						
Tratamientos	Medias	n	E.E.			
T3	1.58	4	1.69	A		
T4	2.50	4	1.69	A	B	
T2	4.17	4	1.69	A	B	
T0	5.42	4	1.69	A	B	C
T1	9.92	4	1.69		B	C
T5	10.25	4	0.36		B	C
T6	12.58	4	0.36			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

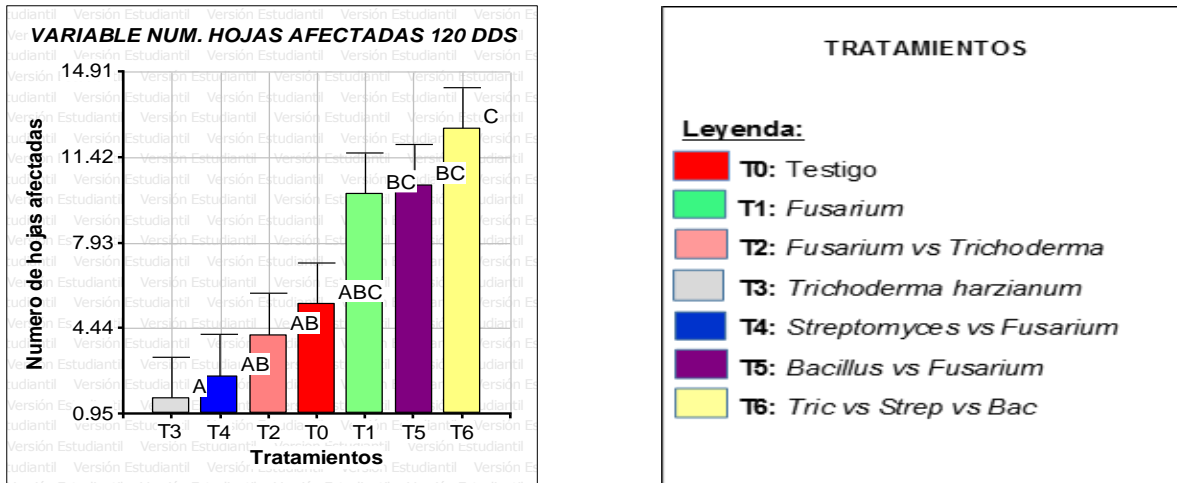
Fuente: Software InfoStat, 2016

La tabla 41. Nos muestra que hubo diferencia estadísticamente significativa en la variable número de hojas afectadas a los 120 DDS, entre el tratamiento (T6) en comparación con los tratamientos (T2, T3 y T4) mostrando síntomas leves, pero con mayor promedio de afectación el tratamiento T6 con 12.58 con respecto a los demás.

Según Rott y otros (1,997) afirman que la escaldadura foliar puede presentar diferentes tipos de síntomas debido a su carácter sistemático como: agudo, crónico y el latente. En el primer caso los brotes y a veces toda la planta se marchitan y mueren, en el segundo caso, aparecen en las hojas estrías largas y estrechas de color blanquecino, paralelas a la nervadura central que puede necrosarse, y en la fase de latencia las plantas infectadas pueden carecer de síntomas externos durante largos periodos, lo que dificulta el diagnóstico y favorece la diseminación de la enfermedad

Nuestros resultados están relacionados a la enfermedad citada anteriormente, aunque no se tiene certeza de que sea la provocada por la bacteria *Xanthomonas albilineans*. Se confirmará por secuenciación de ADN estos resultados posteriormente.

Figura 15: Gráfico de la prueba de Tukey para la variable número de hojas afectadas



Fuente: Software InfoStat, 2016

8.8. PRUEBA DE TUKEY DURANTE LA COSECHA

8.8.1. Prueba de Tukey para variable Grados Brix

En la tabla 42. Se presentan los resultados obtenidos de la prueba de Tukey, realizada a la variable Grados Brix del tallo.

Tabla 42: Resultados de la prueba de Tukey para la variable Grados Brix

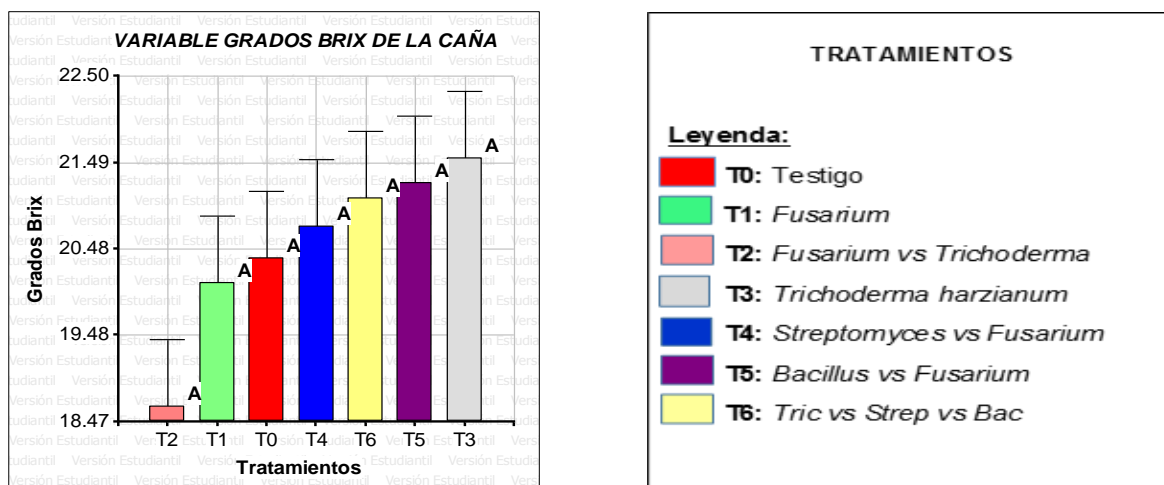
Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T2	18.65	4	0.78	A
T1	20.09	4	0.78	A
T0	20.38	4	0.78	A
T4	20.75	4	0.78	A
T6	21.08	4	0.78	A
T5	21.25	4	0.78	A
T3	21.54	4	0.78	A

Test: Tukey Alfa=0.05
 Error: 2.4479 gl: 18
 Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: Software InfoStat, 2016

En la tabla 42. Se observa que no existe diferencia significativa estadísticamente entre tratamientos. Se puede afirmar que la uniformidad con respecto a los grados Brix tanto de la parte superior como inferior del tallo se debió a que el cultivo de caña estaba en su etapa de madurez fisiológica.

Figura 16: Gráfico de la prueba de Tukey para la variable grados Brix



Fuente: Software InfoStat, 2016

8.8.2. Prueba de Tukey para variable peso de biomasa fresca

En la tabla 43. Se presentan los resultados obtenidos de la prueba de Tukey, realizada a la variable Peso de biomasa fresca.

Tabla 43: Resultados de la prueba de Tukey para la variable peso de biomasa

Test: Tukey Alfa=0.05					
Error: 5.5015 gl: 18					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
T6	7.30	4	1.17	A	
T4	9.17	4	1.17	A	B
T5	10.00	4	1.17	A	B
T2	10.48	4	1.17	A	B
T0	11.23	4	1.17	A	B
T1	13.17	4	1.17		B
T3	14.18	4	1.17		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: Software InfoStat, 2016

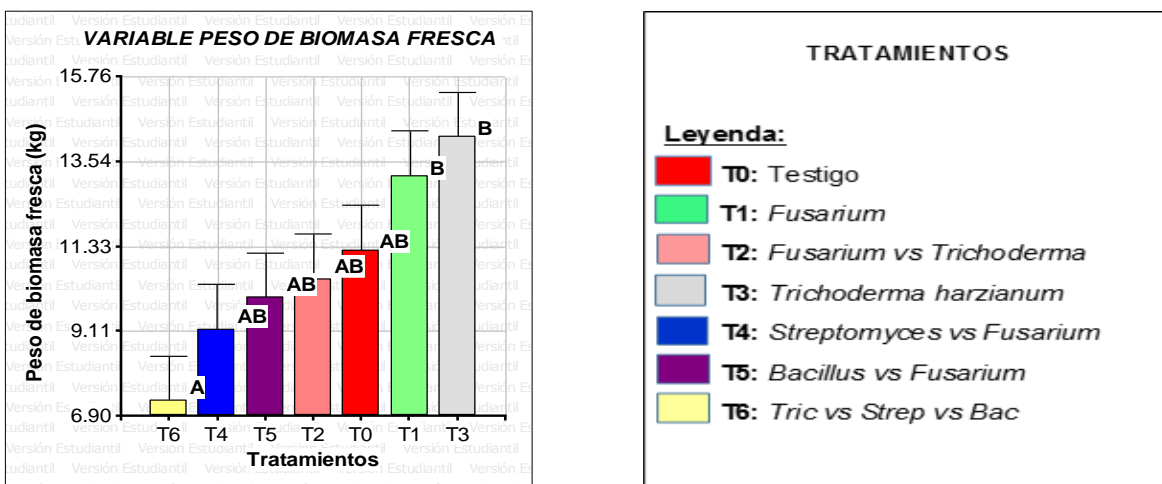
En la tabla 43. Mediante el método de Tukey en la variable peso de biomasa fresca, se observa que hay una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos (T3 y T1) con respecto al tratamiento (T6) sobresaliendo T3 con un peso promedio de 14.18 Kg, seguido del tratamiento T1 con un peso de 13.17 Kg, en comparación con el tratamiento de menor peso T6 con 7.30 Kg.

En la investigación realizada por Núñez (2012) utilizando cepas de *Trichoderma harzianum* en cultivo de maíz y arroz, afirma haber encontrado resultados positivos en peso y producción de biomasa fresca en los tratamientos inoculados con este microorganismo con respecto al testigo. Resultados similares han sido documentados por Pocasangre (2002), quien encontró que plantas inoculadas con cepas de *Trichoderma atroviride* presentaban pesos superiores de 78% en raíces y 41% en peso de biomasa fresca.

Según Tangarife (2016) afirma que La mayoría de las especies de *Fusarium* son inofensivos saprófitos relativamente abundantes en la comunidad microbiana del suelo. Sin embargo, algunas especies de *Fusarium* son económicamente significativas debido al devastador impacto que pueden tener en las cosechas.

De acuerdo a lo citado anteriormente y relacionado con nuestro trabajo de investigación se puede afirmar que a nivel de invernadero *Trichoderma harzianum* mostró un efecto positivo en el peso de biomasa fresca, además que el tratamiento inoculado con *Fusarium* manifestó el síntoma del cogollo retorcido (Pokkah Boeng). De acuerdo a la morfología esta especie es *Fusarium moniliformes* el cual no presentó un efecto devastador en el desarrollo vegetativo y tampoco provocó bajos rendimientos por lo que la afirmación de Tangarife que la mayoría de las especies de *Fusarium* son inofensivos es válida en nuestro trabajo de investigación ya que no mostró ser un patógeno agresivo.

Figura 17: Gráfico de la prueba de Tukey para la variable peso de biomasa fresca



Fuente: Software InfoStat, 2016

8.8.3. Prueba de Tukey para variable Peso de la vareta

En la tabla 44. Se presentan los resultados obtenidos de la prueba de Tukey, realizada a la variable Peso de la vareta.

Tabla 44: Resultados de la prueba de Tukey para la variable Peso de la vareta

Test: Tukey Alfa=0.05					
Error: 3.6561 gl: 18					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
T6	4.36	4	0.96	A	
T4	5.56	4	0.96	A	
T2	6.47	4	0.96	A	B
T0	7.12	4	0.96	A	B
T1	7.62	4	0.96	A	B
T5	8.08	4	0.96	A	B
T3	10.08	4	0.96		B

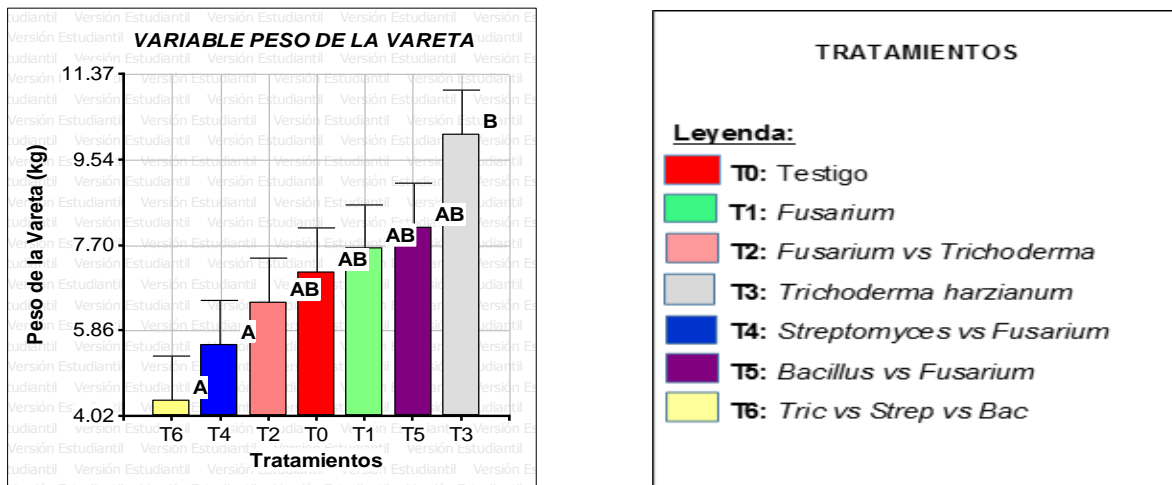
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: Software InfoStat, 2016

En la tabla 44. Mediante el método de Tukey en la variable Peso de la vareta, se observa que hay una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos (T3) con respecto a los tratamientos (T6 Y T4), presentando T3 el mayor promedio de peso con 10.08 Kg, con respecto a los tratamientos que mostraron menor peso T6= 4.36 kg y T4= 5.56 Kg.

Castilla y otros (2006) en su trabajo de investigación la cual consistió en implementar la biofertilización con bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos solubilizadores de fósforo en cultivo de caña de azúcar, afirman haber obtenido un efecto positivo en los tratamientos inoculados con cepas de *Trichoderma viride* mostrando mejores resultados en el peso de las varetas y provocando un aumento de caña de 5.66 toneladas con respecto al testigo. La información anterior, sustenta los resultados obtenidos en nuestro trabajo de investigación ya que *Trichoderma harzianum* ejerció un efecto positivo en el rendimiento, provocando diferencias significativas en el peso de la vareta con respecto a los demás tratamientos.

Figura 18: Gráfico de la prueba de Tukey para la variable peso de la vareta



Fuente: Software InfoStat, 2016

8.8.4. Prueba de Tukey para la variable Peso de las raíces

En la tabla 45. Se presentan los resultados obtenidos de la prueba de Tukey, realizada a la variable peso de las raíces.

Tabla 45: Resultados de la prueba de Tukey para la variable peso de las raíces

Test: Tukey Alfa=0.05					
Error: 0.3810 gl: 18					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
T0	1.05	4	0.31	A	
T1	1.61	4	0.31	A	B
T2	1.70	4	0.31	A	B
T6	2.19	4	0.31	A	B
T4	2.20	4	0.31	A	B
T3	2.31	4	0.31	A	B
T5	2.79	4	0.31		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

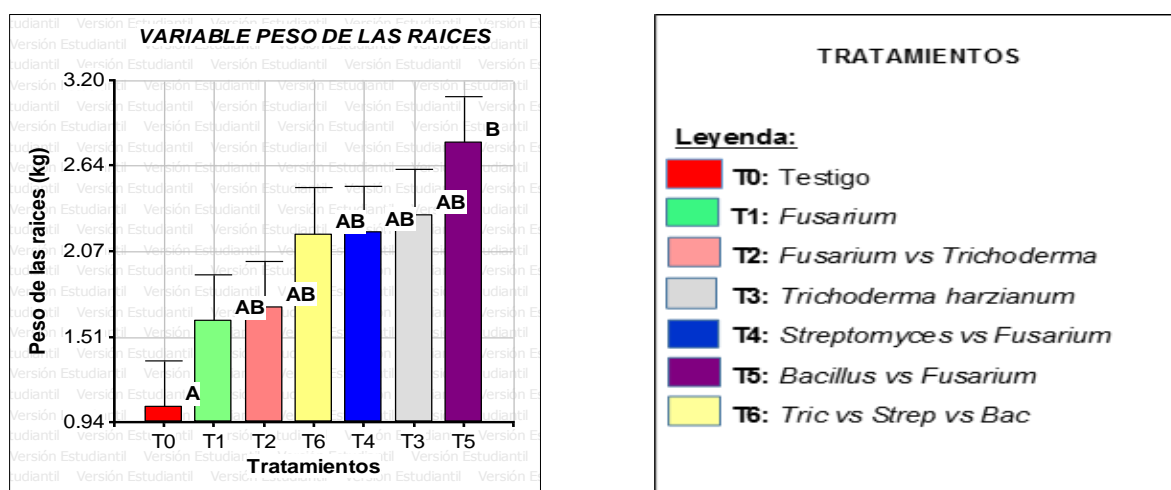
Fuente: Software InfoStat, 2016

En la tabla 45. Mediante el método de Tukey en la variable Peso de las raíces, se observa que hay una diferencia significativa entre el tratamiento (T5) con respecto al testigo (T0), sobresaliendo T5 con un peso promedio de 2.79 Kg, con respecto a los demás tratamientos.

En el trabajo realizado por Joserra (2015) en cultivo de tomate utilizando la biofertilización con cepas de *Bacillus cereus*, afirma haber obtenido un efecto positivo en el peso y desarrollo radicular el cual se reflejó en un 70% de raíces sanas, mayor vigorosidad, reducción de 25-90% de las pérdidas de cosecha y frutos cosechados de calidad.

Lo citado anteriormente y relacionado con nuestro trabajo de investigación se puede afirmar que las cepas de *Bacillus amyloliquefaciens* utilizadas a nivel de invernadero mostraron un efecto positivo tanto en el desarrollo como en el peso de las raíces lo cual se vio reflejado en tallos con mayor vigor, con respecto a al tratamiento de control.

Figura 19: Gráfico de la prueba de Tukey para la variable peso de las raíces



Fuente: Software InfoStat, 2016

IX. CONCLUSIONES

1. El uso a nivel individual de los microorganismos nativos (*Trichoderma harzianum*, *Streptomyces sp* y *Bacillus amyloliquefaciens*) demostró que el principal efecto provocado fue el de promotor de crecimiento, por lo que se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula.
2. Se determinó el efecto biofertilizante y de promotor de crecimiento de *Trichoderma harzianum* para las variables altura de la planta, diámetro, mejor promedio de grados Brix y mayor resistencia a las condiciones de estrés hídrico. De igual manera las cepas de *Bacillus amyloliquefaciens* influyeron positivamente en las variables altura, número de hojas, número de entrenudos y peso radicular. El efecto positivo de las cepas de *Streptomyces sp* se pudo observar en el número de brotes.
3. Se identificó el efecto antagonista de las cepas de *Trichoderma harzianum*, *Bacillus amyloliquefaciens*, y *Streptomyces sp* contra el hongo *Fusarium sp* en las pruebas de confrontación in vitro y a nivel de invernadero ya que estos tratamientos inoculados con estos microorganismos presentaron mejores resultados lo cual indica que inhiben el efecto del fitopatógeno.
4. El sistema de riego y el sustrato utilizado fue el apropiado para el desarrollo del cultivo de caña de azúcar variedad CP-72-2086 establecido en maceteras.

X. RECOMENDACIONES

- Establecer parcelas demostrativas con microorganismos nativos evaluados, en particular *Trichoderma harzianum* y *Bacillus amyloliquefaciens*, y comparar con parcela de manejo tradicional, a nivel de campo.
- Se recomienda la evaluación periódica de la efectividad del tratamiento térmico para asegurar una semilla libre de escaldadura de la hoja (*Xanthomonas albilineans*) y raquitismo de las socas (*Leifsonia xyli subsp*).
- Con respecto a la forma de aplicación de los microorganismos en áreas de cultivo de caña ya establecida, se recomienda suministrarlos a través de inyección en el sistema de riego.

XI. BIBLIOGRAFIA

Amaya , E. A., Cock, J. H., Hernández , A., & Irvine, J. (1995). *Biología. En: CENICAÑA. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia*. Cali. Obtenido de http://www.cenicana.org/pdf/documentos_no_seriados/libro_el_cultivo_cana/libro_p31-62.pdf

Balzarini M.G., G. L. (2014). *Infostat. Manual del usuario*. Cordoba, Argentina: Editorial Brujas.

Barreto, I. A., & Castro, C. (2011). *Pontificia Universidad JAVERIANA*. Obtenido de Cuantificación de la actividad enzimática tipo quitinasa de actinomicetos y su capacidad antagonica frente a hongos fitopatógenos. pag-9-11: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/8818>

Bastida , L. (2011). *Preparación de tierras y siembra de la caña de azúcar. Documento en línea*. Recuperado el 24 de febrero de 2016, de <http://goo.gl/sqf183>

Benitez y Rincon. (2004). *javeriana.edu.co*. Obtenido de <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis98.pdf>

Blanco, M. (2015). *Cultivos Industriales*. Managua, Nicaragua. 60-65 Pp: Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias.

Caldeira, A., & otros. (2007). Environmental dynamics of *Bacillus amyloliquefaciens* CCM1 1051 antifungal activity under different nitrogen patterns. *Journal of Applied Microbiology*, 806-816. Obtenido de <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2672.2007.03601.x/abstract;jsessionid=0A5A7A16B5CD48BB1390526B984CCFC7.d03t01>

Camparini, S. (2006). *Biblioteca Central-USAC*. Obtenido de Evaluación de variedades de caña de azúcar (*Saccharum sp*) en el Ingenio la Unión, Santa Lucía Cotzumalguapa: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2285.pdf

Campos, A., & Lugo, A. (2012). *Biblioteca digital INIFAP*. Obtenido de Manual de plagas y enfermedades en caña de azúcar para el Estado de Morelos:

<http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/3302/Manualdeplagasyenfermedadesencanadeazucar.pdf?sequence=1>

Cantú, J. (2015). *Universidad Autonoma de Nuevo León*. Obtenido de Distribución de cepas de *Fusarium moniliforme* productoras de fumosina B1 en maíz cultivado en el Estado de Nuevo León: <http://eprints.uanl.mx/7216/1/1080087046.PDF>

CENICAÑA. (2015). *Enfermedades de la caña de azúcar en Colombia*. Colombia.

CEPAL. (Agosto de 2010). *CEPAL*. Obtenido de Nicaragua: efectos del cambio climático sobre la agricultura. 8-pp: <http://goo.gl/QoHVe2>

Cervantes, A. (16 de Febrero de 2007). *INFOAGRO*. Obtenido de Microorganismos del suelo beneficiosos para los cultivos: http://infoagro.comhortalizasmicroorganismos_beneficiosos_cultivos.htm.

Chaves, M. (Septiembre de 2002). *Nutrición y Fertilización de la Caña de Azúcar en Costa Rica (en línea)*. Obtenido de Nutrición del cultivo: <http://www.infoagro.go.cr/tecnologia/cana/NUTRI%20Y%20FERT.html>.

Chaves, M. (Marzo de 2015). *Principales Variedades de caña cultivadas comercialmente en algunos países de tradición azucarera del continente americano*. 14-p. Obtenido de LAICA-DIECA: <https://goo.gl/Uk0pss>

Corrales Ramirez, M. C. (2014). Solubilización de fosfatos: una función microbiana importante en el desarrollo vegetal. *NOVa*, 69-73.

Corrales, M., Arevalo, Z., & Moreno, V. (2014). Solubilización de fosfatos: una función microbiana importante en el desarrollo vegetal. *NOVA-Publicacion Científica en Ciencias Biomédicas*, 13.

Duran, J., & Oviedo, M. (Noviembre de 2012). *Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA)*. Obtenido de Catálogo de variedades de caña de azúcar cultivadas en algunas regiones cañeras de costa rica: <https://goo.gl/oRDa9O>

EEAOC. (s.f.). *Estacion experimental agroindustrial obispo colombres*. Obtenido de Programa caña de azúcar. Enfermedades. Informe de fitopatología.: <http://goo.gl/JNAK0g>

- FIA. (2008). *Biocontrol de enfermedades fungosas con Trichodermas*. Chile: Universidad Agraria .
- FIRA. (2010). Producción Sostenible de Caña de Azúcar en México en Boletín Informativo. *Nueva Época*, Num. 11.
- Garcia, M. (30 de Abril de 2016). *Prezi*. Obtenido de Prueba de Turkey: https://prezi.com/gtfrscaw_cnb/prueba-de-tukey/
- Gornat, B. (2014). *Book google*. Obtenido de IV Seminario Latinoamericano sobre riego por goteo y riego localizado: <https://goo.gl/X3iLrR>
- Granados, A. (2003). *Repositorio Institucional*. Recuperado en noviembre de 2016, de Evaluación del efecto de dos bioestimulantes (ETHREL 48 SL y PROFERT) en la germinación de tres variedades (CP-72-2086, Mex 79-431 y PR 83-1172) de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*): <http://ri.ues.edu.sv/4125/1/50100383.pdf>
- H., C. (2005). *Evaluación en campo de la incidencia de Rhizoctonia solani en arroz (Oriza sativa), luego de la inoculación en semillas de un fromulado comercial a base de antagonista Trichoderma harzianum*.
- Harman, G. (2004). *Mythos and dogmas of biocontrol. Changes in perceptions derive from research on Thrichoderma Harzianum T22*.
- InfoAgro. (2011). *Infoagro.com*. Obtenido de Cultivo de caña de azúcar: http://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_cana_azucar.asp
- Jimenez, E., & Rodriguez, O. (2014). *Repositorio UNA*. Obtenido de insectos plaga de los cultivos de Nicaragua. 193-PP: <http://repositorio.una.edu.ni/2700/1/NH10J61ip.pdf>
- Lindow, S., & Wilson, M. (1997). *Manual of industrial Microbiology and Biotechnology. En J. Davies (Ed). Strategies for implementation of biological control of foliar phatogens and pests with bacterial Biocontrol agents. p 1-18*. California University Press: 2da Ed. Berkeley.
- Little, M. (1983). *uru.es*. Obtenido de Diseño de bloques completos al azar: <http://www.uru.edu/fondoeditorial/libros/pdf/manualdestatistix/cap3.pdf>

- López, D. (2000). *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe*. Obtenido de Estudio del efecto inhibitorio de *Fusarium moniliforme sheldon* sobre la germinación de la semilla agámica de la caña de azúcar (*Saccharum* sp. híbrida): <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=209118236006>
- Magrama. (2014). Obtenido de <http://www.magrama.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-tecnologias-probadas/material-de-riego/riego-localizado.aspx>
- Marín, G. (2010). *Universidad Rafael Landívar*. Obtenido de Experiencias en el cultivo de caña de azúcar variedad CP-72-2086; Ingenio Magdalena, S.A, La democracia, Escuintla (2005-2010): <https://goo.gl/gtVwsT>
- Martinez, V. R. (2002). Biofertilización y producción agrícola sostenible. Retos y perspectivas. XIII Congreso Científico del INCA, programa y resúmenes. *Revista Colombiana de Biotecnología*, Pag. 48. Obtenido de Revista Colombia de biotecnología: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/498/891>
- Navarrete, P. (1986). *El suelo y su manejo en caña de azúcar. Fondo Nacional de Investigadores Agropecuarios - Mac 2(20): 18-25.*
- OCÉANO. (2000). *Enciclopedia Práctica de la Agricultura y la Ganadería*. España: Océano / Centrum.
- Olea, I., Sabate, S., Vinciguerra, H., & Romero, E. (2009). *Criterios generales para el manejo de maleza en caña de azúcar.*
- Palacios, C., & Peña, M. (2015). *Bio-nica*. Obtenido de Situación Agrícola de la caña de azúcar en la hacienda El Madroñal: <http://www.bio-nica.info/biblioteca/PalaciosCa%C3%B1aAzucar.pdf>
- Paulitz, T. (2015). *"Biological control in greenhouse system" Ann Rev Phytopathol 39.*
- Priest, F. (1987). *Bacillus amyloliquefaciens* sp. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 69-71. Obtenido de <http://ijs.sgmjournals.org/content/37/1/69.full.pdf>

- R. J. (2010). *Scribd*. Obtenido de Guia técnica para el cultivo de caña de azúcar: <https://es.scribd.com/doc/32839206/cana-de-azucar>
- Rincon, A. (2004). Biocontrol mechanisms of *Trichoderma strain*. *International Microbiology* 7, 249-260. Obtenido de <http://www.phytoma.com/tienda/articulos-editorial/207-172-octubre-2005/6581-trichoderma-mecanismos-de-control#>
- Rodríguez, R. (2014). *Antagonismo e identificación genética de un actinomiceto con potencial para el biocontrol de phytophthora capsici leonian (peronosporales: pythiaceae)*.
- Rojas, S., Contreras, M., & Santoyo, G. (2013). Mecanismo de estimulación del crecimiento vegetal en bacterias del género *Bacillus*. *Biologicas*, pag- 36. Obtenido de Mecanismo de estimulación del crecimiento vegetal en bacterias del género *Bacillus*.: <http://www.biologicas.umich.mx/index.php/biologicas/article/download/166/166>
- Romero, E. (29 de abril de 2016). *Página Web de NETAFIM*,. Obtenido de <http://www.sugarcane crops.com/introduction/>
- Rostran , F. (03 de Mayo de 2016). Zafra azucarera con sabor amargo. *Diario Nica*, págs. 4-pp. Obtenido de <http://www.diarionica.com/index.php/nacionales/4251-el-azucar-en-nicaragua>
- Sabalet, T. (2012). *Fundación io*. Obtenido de *Streptomyces sp.*: <http://fundacionio.org/img/bacteriology/cont/Streptomyces.html>
- Saenz Mata, J. (agosto de 2012). *IPICYT.edu*. Obtenido de <http://www.ipicyt.edu.mx/>
- Saldarriaga, A. (2015). *digitool.gsl.com.mx*. Obtenido de Plagas de la caña de azúcar y métodos de control: <https://goo.gl/QKWPgO>
- Sedici. (28 de abril de 2016). *Sedici*. Obtenido de Aislamiento e identificación de *Fusarium sp.* a partir de granos de trigo. Relación entre ocurrencia de la especie y la identificación de la enfermedad.: <http://goo.gl/J5cavK>

- Serna-Cock. (2011). *alimentos hoy*. [http://alimentos hoy.acta.org.co](http://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/viewFile/18/18). Obtenido de <http://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/viewFile/18/18>
- Solis, D. R. (Diciembre de 2013). *biologicas.umich.mx*. Obtenido de <http://www.biologicas.umich.mx/index.php/biologicas/article/view/166>
- Suarez, M. (30 de Abril de 2016). *Monografías*. Obtenido de *Ánisis de varianza*: <http://www.monografias.com/trabajos91/analisisvarianza/analisisvarianza.shtml>
- Subirós, 2000, Lizandro et al., 2002, & Romero, 2009. (s.f.). *Cultivo de la caña de azúcar*. San Jose, Costa Rica: EULAC.
- Subirós, F. (1995). *El cultivo de a caña de azúcar. pag-11*. San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Tangarife, V. (2016). *Aprende en línea. Plataforma académica para pregrado y posgrado*. Obtenido de *Fusarium sp.*: <http://aprendeonline.udea.edu.co/lms/moodle/mod/page/view.php?id=100813>
- Tovar Castaño, J. C. (Enero de 2008). *javeriana.edu.co*. Obtenido de <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis98.pdf>
- Trabanino, R. (2006). *Manual del módulo de control Biológico*. Zamorano. Valle del Rio Yaguare, Honduras. 19 p.
- Urrutia, C. (30 de Abril de 2016). *Compendio de microbiología médica*. Obtenido de *Bacillus sp.*: <https://carlaurrutia87.wordpress.com/2014/03/24/bacillus-anthraxis/>
- Zambrano, F. (Septiembre de 2012). *Academia*. Obtenido de Infostat manual de uso: <https://goo.gl/xsZdCz>

XII. ANEXOS

ANEXO I. LISTA DE ABREVIATURAS

I+D+i: Investigación, desarrollo e innovación

ANAVA: Análisis de varianza

SP: especies

DDS: Días después de la siembra

UFC: Unidades formadoras de colonias

BCA: Bloques completos al azar

msnm: Metros sobre el nivel del mar

PGPR: Rizobacterias para el crecimiento de las plantas (Plant growth promotion rhizobacteria).

FIQ: Facultad de Ingeniería Química

ADN: Acido desoxirribonucleico

ANEXO II. DISEÑOS

Diseño agronómico

Datos de Entrada.

Datos de Suelo:

Textura del suelo: Franco Arenosa

C.C. = 18.76 %

P.M.P = 10.19 %

Da = 0.20 gr/cm³

Pr = 30cm = 0.30 m

Datos de Clima:

ET_o = 7.64 mm/día (correspondiente al mes de abril)

Datos de Cultivo:

K_c = 1.00 – 1.30

Datos del Sistema de Riego (Goteo Auto compensado):

CU = 90 %

Ea = 90 %

Q_e = 4 lph

Datos de Marco de Plantación:

Sl = 1.40 m

Se = 0.60 m

Cálculos:

- Norma Neta (Nn)

$$Nn = 100 * Da * Pr * (Cc - P.M.P) * 2/3$$

$$Nn = 100 * 0.20 \text{ gr/cm}^3 * 0.30 \text{ m} * (18. - 10.19) * 2/3$$

$$Nn = 146.88 \text{ mm}$$

- Norma Bruta

$$Nb = Nn \text{ diseño} / \text{Eficiencia}$$

$$Nb = 146.88 \text{ mm} / 0.90$$

$$Nb = 163.2 \text{ mm}$$

- Evaporación del Cultivo

$$Etc = ETo * Kc$$

$$Etc = 7.64 \text{ mm/día} * 1.30$$

$$Etc = 9.93 \text{ mm/día}$$

- Necesidades Totales

$$Nt = \frac{Nn}{(1-k)Cu} = Etc / (Ea * Cu)$$

$$k = (1 - \text{eficiencia})$$

$$Nt = (9.93 \text{ mm/día}) / (0.9 * 0.9)$$

$$Nt = 12.26 \text{ mm/día}$$

- Necesidades Diarias por planta

$$Dp = NtxSexSl$$

$$Dp = 12.26 \text{ mm/día} * 0.6 \text{ m} * 1.40 \text{ m}$$

$$Dp = 10.31 \text{ lt/pt/día}$$

- Número de Emisores por área o maceta

$$e = 1 / (se * sl)$$

$$e = 1 / (0.60 * 1.40)$$

$$e = 1.19 \text{ por maceta o m}^2$$

- Volumen del Emisor

$$Ve = (Nt * 1) / e$$

$$Ve = (12.26 \text{ mm/día} * 1) / 1$$

$$Ve = 12.26 \text{ mm/día/emisor}$$

- Intensidad de aplicación del Emisor

$$I_a = \frac{q_m}{A_e}$$

$$I_a = \frac{q_m}{Sl * Se}$$

$$I_a = \frac{4 \text{ lph}}{0.60 \text{ m} * 1.40 \text{ m}}$$

$$I_a = 4.76 \text{ mm /hr}$$

- Tiempo de Riego

$$Tr = Nt / I_a$$

$$Tr = (12.26 \text{ mm}) / (4.76 \text{ mm/hr})$$

$$Tr = 2.57 \text{ hr}$$

Diseño hidráulico

Diseño de tubería lateral

Datos de entrada:

$$\varnothing = 16 \text{ mm (diámetro interno)}$$

$$L = 5 \text{ m}$$

$$Se = 0.60 \text{ m}$$

$$I_0 = Se$$

$$f_e = 0.074$$

$$F = 0.438$$

$$S = 1 \%$$

$$h_m = 10 \text{ psi} = 7.03 \text{ m}$$

$$q_m = 4 \text{ lph}$$

$$n = 7 \text{ emisores}$$

Caudal del Lateral

$$q_l = n * q_m$$

$$q_l = 7 * 4 \text{ lph}$$

$$q_l = 28 \text{ lph} = 0.0077 \text{ lps}$$

- Perdida de Carga Unitaria

$$J = 7.89 \times 10^7 \left(\frac{Q^{1.75}}{D^{4.75}} \right)$$

$$J = 7.89 \times 10^7 \left(\frac{0.0077^{1.75}}{16^{4.75}} \right)$$

$$J = 0.035 \text{ m/100m}$$

- Perdida de carga unitaria corregida (J')

$$J' = J[(Se + fe)/Se]$$

$$J' = 0.035 [(0.60 + 0.074)/0.60]$$

$$J' = 0.039 \text{ m}/100\text{m}$$

- Perdida de carga en el lateral (h_{fl})

$$h_{fl} = J' x Fx(L/100)$$

$$h_{fl} = 0.039 x 0.438 x (5/100)$$

$$h_{fl} = 0.00085 \text{ m}$$

- Presión en la entrada del lateral (h_l)

$$h_l = h_m + \frac{3}{4} h_{fl} \pm \frac{1}{2} \Delta EL$$

$$h_l = 7.03 + \frac{3}{4} (0.00085) + \frac{1}{2} (1 * 5/100)$$

$$h_l = 7.0556 \text{ m}$$

- Presión mínima en el lateral (h_n)

$$h_n = h_l - (h_{fl} + \Delta EL)$$

$$h_n = 7.0556 - [0.00085 + (1 * (5/100))]$$

$$h_n = 7.0447 \text{ m}$$

- Diferencia de presión (Δh)

$$\Delta h = h_l - h_n$$

$$\Delta h = 7.0556\text{m} - 7.0447\text{m}$$

$$\Delta h = 0.0109 \text{ m}$$

❖ Diseño de tubería Terciaria

Datos de entrada

$$\varnothing = 38 \text{ mm (diámetro interno)}$$

$$L = 6.44 \text{ m}$$

$$SI = 1.40 \text{ m}$$

$$Fe = 0.11$$

$$I0 = SI$$

$$F = 0.406$$

$$S = 1 \%$$

$$q_l = 28 \text{ lph}$$

$$N = 4 \text{ laterales}$$

- Caudal de la terciaria

$$q_t = N * q_l$$

$$q_t = 4 * 28 \text{ lph}$$

$$q_t = 112 \text{ lph} = 0.031 \text{ lps}$$

- Perdida de carga unitaria

$$J = 7.89 \times 10^7 \left(\frac{Q^{1.75}}{D^{4.75}} \right)$$

$$J = 7.89 \left(\frac{0.031^{1.75}}{38^{4.75}} \right)$$

$$J = 0.0056 \text{ m/100m}$$

- Perdida de carga unitaria corregida

$$J' = J[(SI + Fe)/SI]$$

$$J' = 0.0056 [(1.40 + 0.11)/1.40]$$

$$J' = 0.00604 \text{ m}/100\text{m}$$

- Perdida de carga en la terciaria

$$h_{ft} = J' \times F_x (L/100)$$

$$h_{ft} = 0.00604 \times 0.491 \times (6.44/100)$$

$$h_{ft} = 0.00019 \text{ m}$$

- Presión al inicio de la terciaria

$$H_t = h_l + \frac{3}{4} h_{ft} \pm \frac{1}{2} \Delta EL$$

$$H_t = 7.0556 + \frac{3}{4} (0.00019) + \frac{1}{2} (1 * 6.44/100)$$

$$H_t = 7.0879 \text{ m}$$

- Presión mínima en la terciaria

$$H_n = H_t - (h_{ft} + \Delta EL)$$

$$H_n = 7.0879 - [0.00019 + (1 * (6.44/100))]$$

$$H_n = 7.02331 \text{ m}$$

- Diferencias de presión (ΔH)

$$\Delta H = H_t - H_n$$

$$\Delta H = 7.0879\text{m} - 7.0233\text{m}$$

$$\Delta H = 0.0646 \text{ m}$$

❖ Diseño de tubería Conductor

Datos de entrada

$$Q = 0.6 \text{ lps} = 0.0006 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = 1.2 \text{ m/s}$$

$$L = 26.95 \text{ m}$$

$$D = \sqrt{\left(\frac{4Q}{\pi V}\right)} \text{ entonces: } D = \sqrt{\left(\frac{4 \cdot 0.0006}{\pi \cdot 1.2}\right)}$$

$$\text{Obteniendo: } D = 0.025 \text{ m} = 25.23 \text{ mm} \approx D = 25 \text{ mm o bien } 1''$$

- Calculo de perdida unitaria (m/100m)

$$J = 7.89 \times 10^7 \left(\frac{Q^{1.75}}{D^{4.75}} \right)$$

$$J = 7.89 \times 10^7 \left(\frac{0.0006^{1.75}}{25^{4.75}} \right)$$

$$J = 0.000042 \text{ m} / 100\text{m}$$

- Pérdida de carga en la tubería conductora

$$h_{fc} = J \times L / 100$$

$$h_{fc} = 0.000042 \times 26.95 / 100$$

$$h_{fc} = 0.000011 \text{ m}$$

- Presión a la entrada de la conductora

$$H_c = h_t + \frac{3}{4} h_{fc} \pm \frac{1}{2} \Delta E_L$$

$$H_c = 7.0879 + \frac{3}{4} (0.000011) - \frac{1}{2} (1 \cdot 26.95 / 100)$$

$$H_c = 6.95 \text{ m} \approx 9.88 \text{ psi}$$

ANEXO III. RESULTADOS DE LABORATORIO.

Figura 20: Resultados de análisis físico de suelo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
 Departamento de Ingeniería Agrícola
 LABORATORIO DE EDAFOLOGIA

RESULTADOS DE ANALISIS DE SUELO

Nombre: MONOGRAFIA CAÑA DE AZUCAR Fecha de muestreo: 13/09/16 Nombre del lugar de muestreo: UNI
 Localidad: UNI- RUSB Municipio: MANAGUA Departamento: MANAGUA
 Tipo de muestra: Alterada.

ANALISIS

Fecha de ingreso: 14/09/2016 Fecha de análisis: 24/09/2016


Ítem	Código	Identificación	Cc (%)	pH	CE (mmhos/cm)	PMP (%)	Da (gr/cm ³)	Dr (gr/cm ³)	%P	%MO	Textura Bouyoucos			
											% Ar	%L	%A	
1	001	Monografía Caña de Azúcar	18.76	7.43	2.52	10.19	0.20	2.27	91.18	7.66%	5	21	74	Franco arenoso
NOTA: Cc (Capacidad de Campo), %pH (Potencial Hidrogeno), CE (Conductividad Eléctrica), PMP (Punto de Marchitez Permanente), Da (Densidad Aparente), Dr (Densidad Real), %P (Porosidad Total), %MO (Materia Orgánica).														


 Ing. Miguel Fonseca Chávez
 Jefe Dpto. Ingeniería Agrícola


 Ing. Lester Lara Corea
 Administrador FTCVO

Fuente: Laboratorio de Edafología (UNI-RUPAP)

Figura 22: Interpretación de resultados de Laboratorio UNA



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE
LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA

INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS DE LABORATORIO
Rango de Clasificación Aproximada de Nutrientes en Suelos
de Nicaragua (Quintana et al., 1983)

pH	Clasificación
< 4.6	Extremadamente ácido
4.6 - 5.2	Muy fuertemente ácido
5.2 - 5.6	Fuertemente ácido
5.6 - 6.2	Medianamente ácido
6.2 - 6.6	Ligeramente ácido
6.6 - 6.8	Muy ligeramente ácido
6.8 - 7.2	Neutro
7.2 - 7.4	Muy ligeramente alcalino
7.4 - 7.8	Ligeramente alcalino
7.8 - 8.4	Medianamente alcalino
8.4 - 8.8	Fuertemente alcalino
8.8 - 9.4	Muy frecuentemente alcalino
> 9.4	Extremadamente alcalino

Capacidad de Intercambio Catiónica


<5	meq/100 g suelo	Muy baja
5 - 15	meq/100 g suelo	Baja
15 - 25	meq/100 g suelo	Media
25 - 40	meq/100 g suelo	Alta
>40	meq/100 g suelo	Muy alta

Rango de contenidos de macronutrientes.

Nutrientes	Unidades	Pobre	Medio	Alto
Nitrógeno (N)	%	< 0.07	0.07 - 0.15	> 0.15
Fósforo (P)	ppm	< 10	10 - 20	> 20
Potasio (K)	meq/100 g	< 0.2	0.2 - 0.3	> 0.3
Calcio (Ca)	meq/100 g	< 2.5	2.5 - 5.5	> 5.5
Magnesio (Mg)	meq/100 g	< 0.3	0.3 - 1.0	> 1.0
Mat. Orgánica (MO)	%	< 2	2 - 4	> 4

Rangos de contenidos de micronutrientes (extracción Olsen)

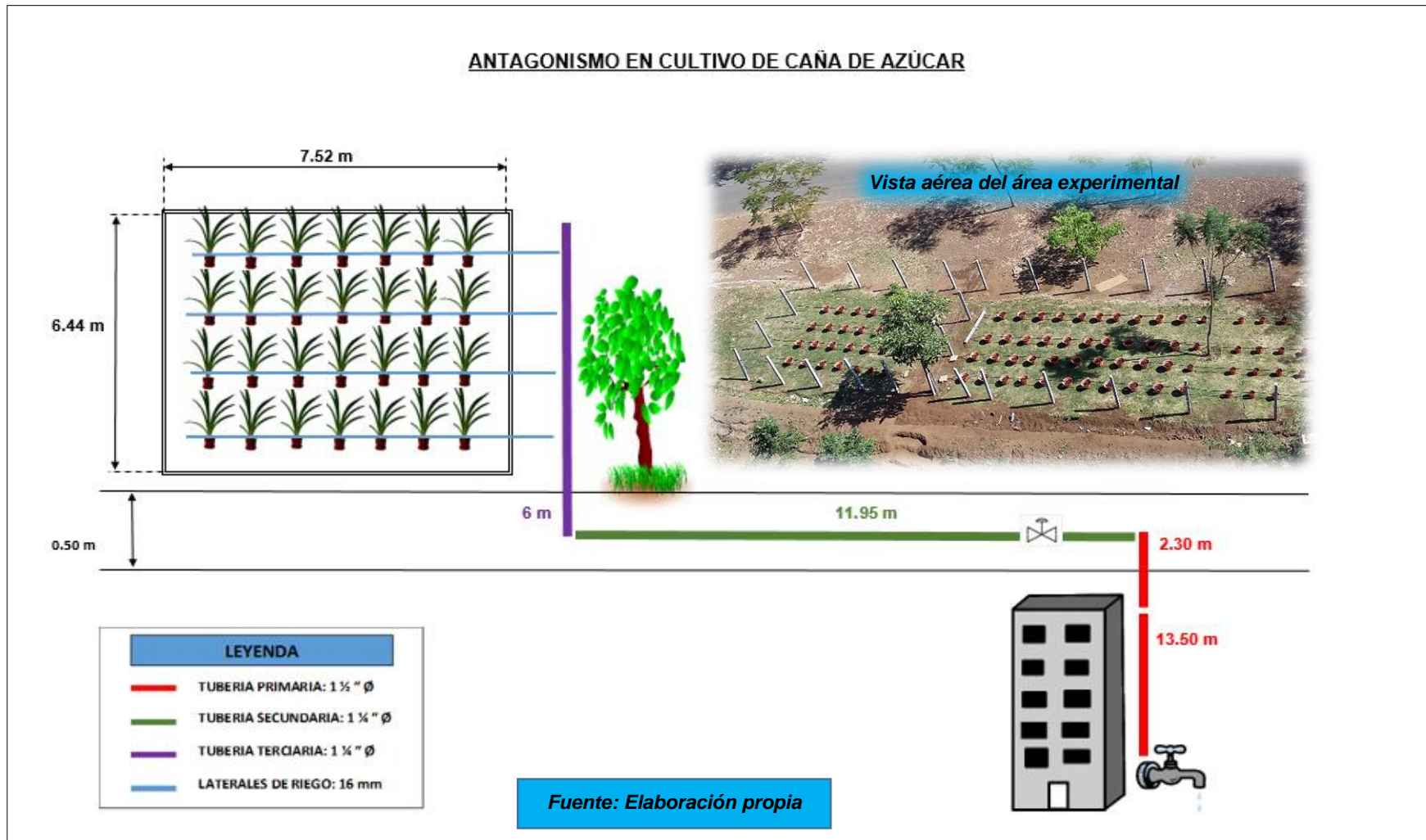
Nutriente	Unidades	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto
Hierro (Fe)	ppm	5 - 10	10 - 16	16 - 21	21-2
Zinc (Zn)	ppm	1 - 2	2.1 - 3.1	3.1 - 4.2	4.2 - 5.3
Cobre (Cu)	ppm	0.2 - 0.8	0.8 - 1.5	1.5 - 2.2	2.2 - 3.0
Manganeso (Mn)	ppm	2-4	4-6	6-8	8 -12



Fuente: Laboratorio de suelo y agua (UNA)

ANEXO IV. DISEÑO GEOMETRICO DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

Figura 23: Diseño geométrico del sistema de riego



ANEXO V. FOTOGRAFIAS

Foto 1-2: Levantamiento topográfico del área de estudio



Foto 1: GPS GARMIN utilizado para el levantamiento topográfico



Foto 2: Medición y cálculo del área de estudio

Foto 3-5: Instalación de las tuberías para el sistema de riego



Foto 3: Materiales utilizados



Foto 4: Instalación de las tuberías



Foto 5: Instalación de los goteros en los laterales de riego

Foto 6-8: Muestras tomadas del sustrato utilizado



Foto 6: Extracción de muestras



Foto 7: Muestras extraídas



Foto 8: Muestras en bolsa ziploc

Foto 9-11: Pruebas físicas del sustrato utilizado

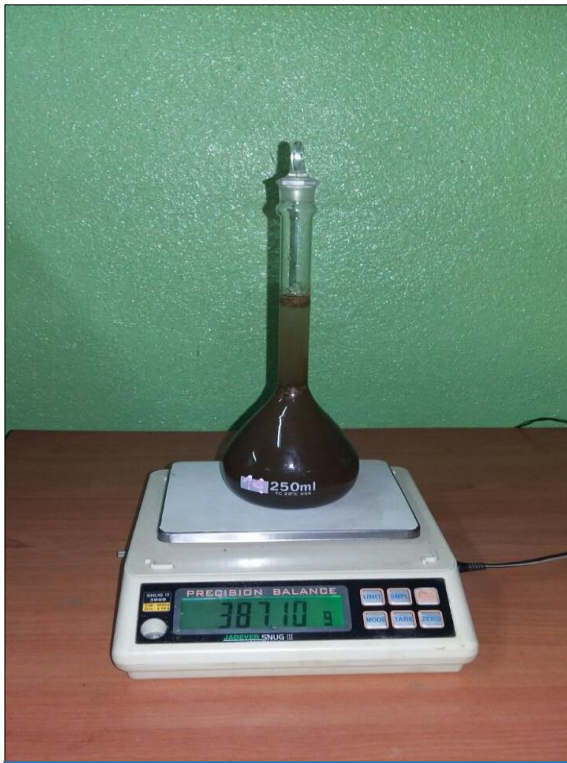


Foto 9: Peso de las muestras



Foto 10: Determinación del pH

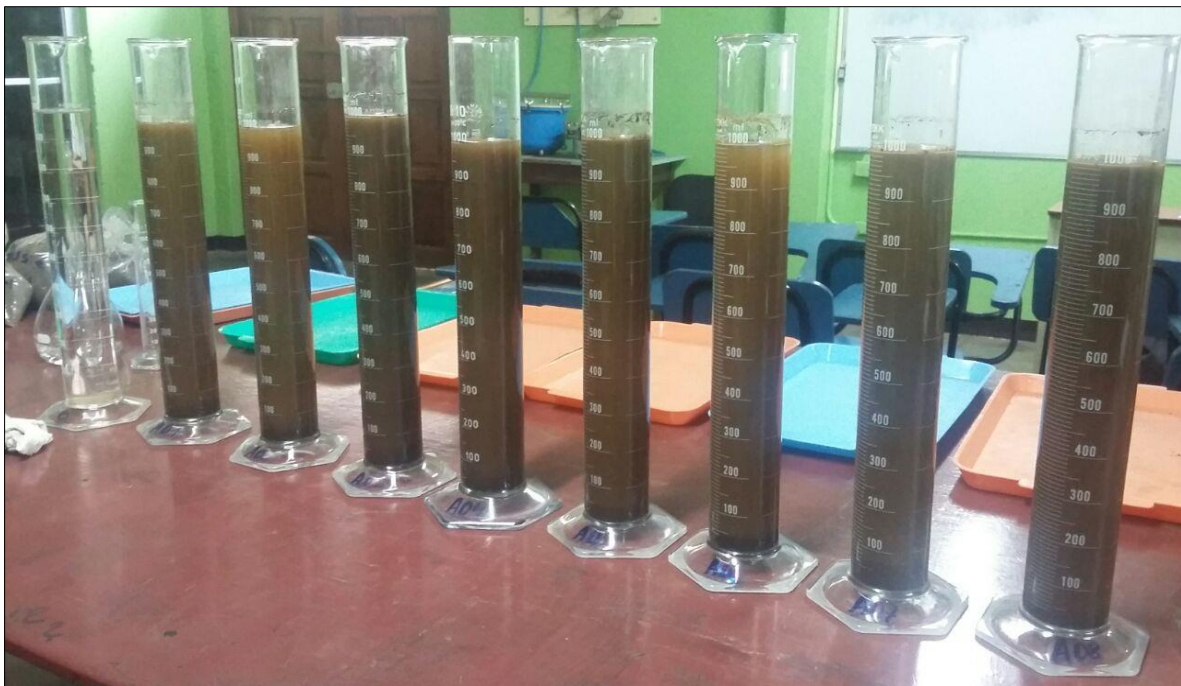


Foto 11: Determinación de la densidad real

Foto 12-14: Llenado de maceteras con sustrato y siembra



Foto 12: Llenado de maceteras



Foto 13: siembra de esquejes



Foto 14: Colocación adecuada de esquejes en cada tratamiento

Foto 15-17: Aplicación de Fertilizante



Foto 15: Fertilizante utilizado



Foto 16: Aplicación del fertilizante



Foto 17: Tratamiento con dosis de fertilizante aplicada

Foto 18-20: Limpieza de la parcela experimental y control de plagas



Foto 18: Limpieza con machete



Foto 19: Limpieza con rastrillo



Foto 20: Extracción manual de gusano cogollero encontrados en el cultivo de caña de azúcar

Foto 21-24: plagas y enfermedades presentes en el cultivo



Foto 21: Chinche de encaje



Foto 22: Piojo algodonoso



Foto 23: Salivita de la caña



Foto 24: Secado de la hoja

Foto 25-27: Preparación de los microorganismos para su aplicación



Foto 25: Materiales utilizados en el laboratorio



Foto 26: Proceso de envase de los microorganismos



Foto 27: Proceso de preparación de los microorganismos

Foto 28-30: Aplicación de microorganismos con recipiente PVC spray



Foto 28: Aplicación de microorganismos



Foto 29: Aplicación de microorganismos

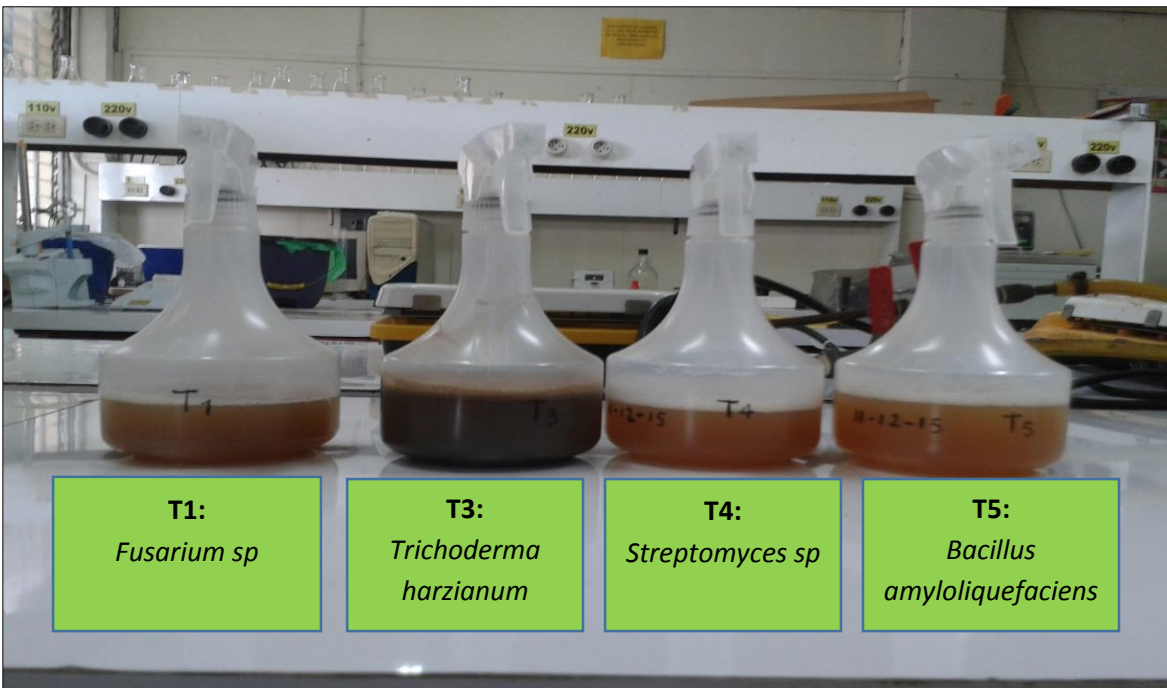


Foto 30: Microorganismos envasados y listos para ser aplicados al cultivo

Foto 31-34: Medición de variables de desarrollo y cosecha



Foto 31: Medición de altura en centímetros con cinta métrica



Foto 32: Medición de diámetro en milímetros con vernier o pie de rey

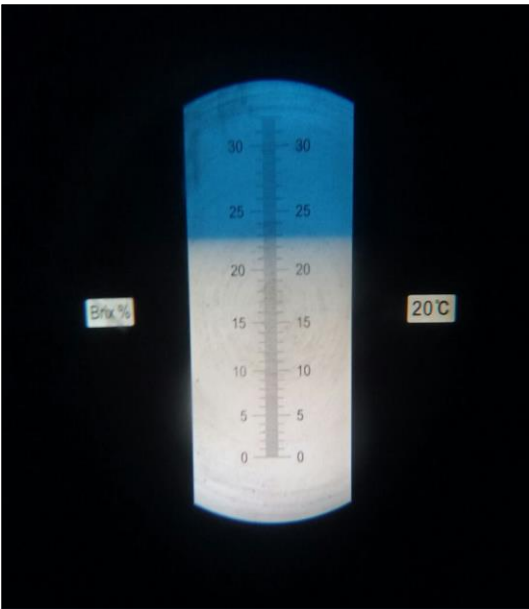


Foto 33: Medición de grados Brix utilizando un refractómetro



Foto 34: Medición del peso de las raíces utilizando una báscula digital

Foto 35-37: Resultados positivos en variables evaluadas



Foto 35: Planta vigorosa y con tallos bien desarrollados

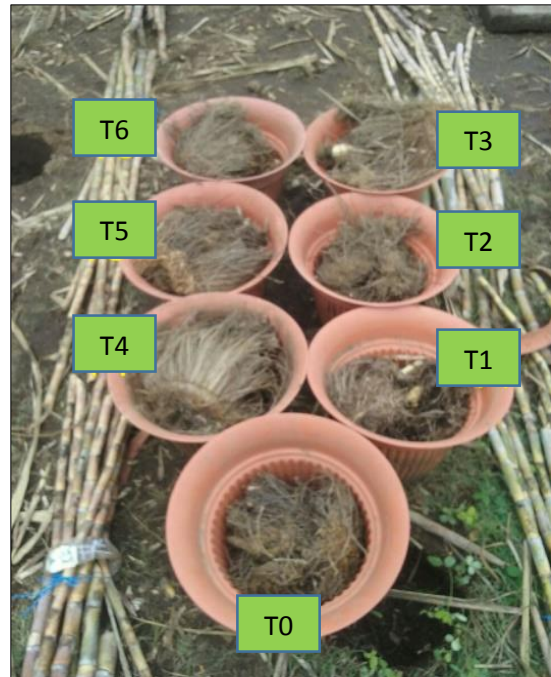


Foto 36: Diferencia entre cantidad y peso de las raíces con respecto al testigo



Foto 37: Buen desarrollo radicular en el tratamiento inoculado con *Trichoderma harzianum*



“Apreciar lo que queda de la tierra y fomentar su renovación, es nuestra esperanza de sobrevivir”.

- Wendell Berry.