

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN POTÁSICA Y LA TOLERANCIA DEL ESTRÉS
HIDRICO, SOBRE LOS RENDIMIENTO AGROINDUSTRIALES DE LA CAÑA DE
AZÚCAR (*Saccharum officinarum*), VARIEDAD LAICA 12 -339, EN UN SUELO
MOLLISOL EN LA FINCA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL, EN
CAÑAS GUANASTASTE.

Trabajo final de investigación aplicada sometido a la consideración de la Comisión del
Programa de Estudios de Posgrado en Desarrollo Integrado para Regiones Bajo Riego
para optar al grado y título de Maestría Profesional en Desarrollo Integrado de Regiones
Bajo Riego

DOUGLAS ANTONIO GONZÁLEZ LÓPEZ

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

Sede Regional de Guanacaste

2021

DEDICATORIA

A Dios

Por darme el don de la vida y estar siempre conmigo, en todo instante de la vida guiándome en mi camino de superación académica.

A mis Padres

Es como un padre José Ricardo, mi mejor amigo, consejero y ejemplo a seguir y a mi bella Madre que está en el cielo, Carmen Cecilia por estar todo momento apoyando mis estudios, valorando mis esfuerzos y las metas alcanzadas, refleja la dedicación, el amor que invirtieron en mí. Gracias a mis padres son quien soy, orgullosamente y con la cara muy en alto lo agradezco, gracias a mis padres y hermanas Maritza, Leticia y Reina, he concluido con satisfacción mi mayor meta.

A mi Esposa e Hijos

A mi bella esposa Kattia María, en el camino encuentras personas que iluminan tu vida en todo instante, que con su apoyo alcanzas de una mejor manera en tus metas, a través de sus consejos, de su incondicional amor y paciencia, me ayudo a concluir esta meta importante en mi vida, a mis hijos preciosos Kathleen Sophia y Deikel Josué donde ambos son mi motor de vida en todo instante.

AGRADECIMIENTOS

A:

Costa Rica, por un país único, especial, por ser mi patria que me vio nacer, específicamente en el lugar de Cañas Guanacaste, por sus abundantes tierras productivas.

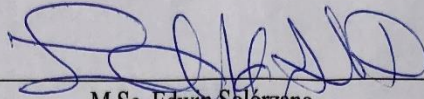
Los Docentes de la MAESTRIA PROFESIONAL EN DESRROLLO INTEGRADO PARA REGIONES BAJO RIEGO. Más que un Ingeniero, al Dr. Mario Morales Sánchez, es un gran amigo, fue un pilar fundamental para mi aprendizaje dentro de la Maestría. Agradezco a mi director de tesis el Ing. Marvin Barrantes Castillo, quien, con sus conocimientos hídricos y su gran trayectoria, ha logrado en mí culminar mis estudios con muchos éxitos, a mis dos lectores de tesis Ing. Álvaro Angulo Marchena y al Ing. Fabricio Camacho Calvo, fueron mis guías mis consejeros en el desarrollo de mi tesis. A todos mis profesores de la maestría, un especial agradecimiento por su dedicación, esfuerzo en mi gran e importante aprendizaje, en especial al Director de la Maestría al Ing., Edwin Solorzano y a la profesora Ing. Marcela Vargas Sibaja.

Agradezco a las Instituciones:

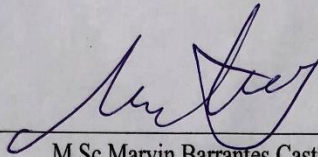
La Universidad de Costa Rica, Universidad Técnica Nacional e Ingenio Taboga

- La UCR de la Sede Guanacaste por permitirme de estudiar en esta excelente casa de enseñanza académica universitaria y concluir mis estudios en la MAESTRIA PROFESIONAL EN DESRROLLO INTEGRADO PARA REGIONES BAJO RIEGO.
- La UTN de la Sede Guanacaste por permitirme realizar y desarrollar el proyecto de investigación de tesis, ubicado en el cantón de Cañas Guanacaste, en la finca experimental de la Universidad Técnica Nacional de la Sede Guanacaste.
- El Ingenio Taboga ubicado en el cantón de Cañas provincia de Guanacaste, muy agradecido por el apoyo en los resultados en los muestreos y análisis de laboratorio además de pesar los diferentes tratamientos del estudio de la caña de azúcar y sus respectivos resultados en los contenidos de azúcares.

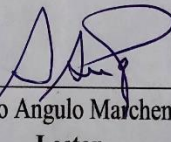
“Este trabajo final de investigación aplicada fue aceptado por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Desarrollo Integrado para Regiones Bajo Riego de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Profesional en Desarrollo Integrado de Regiones Bajo Riego.”



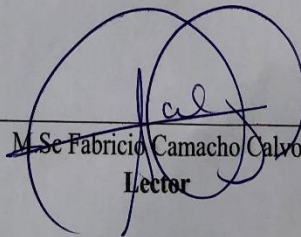
M.Sc. Edwin Solorzano
**Representante del Decano
Sistema de Estudios de Postgrado**



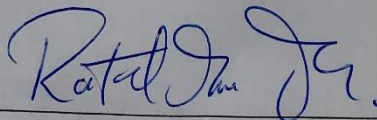
M.Sc Marvin Barrantes Castillo
Profesor Guía



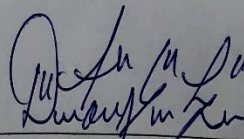
M.Sc Álvaro Angulo Marchena Lector
Lector



M.Sc Fabricio Camacho Calvo
Lector



Msc. Rafael Mata Chinchilla
**Representante del Director Programa del Postgrado
en Desarrollo Integrado para Regiones Bajo Riego**



Douglas Antonio González López
Sustentante

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
HOJA DE APROBACIÓN	iv
ÍNDICE	v
RESUMEN	ix
ABSTRAC	x
Índice de Cuadros	xi
Índice de Figuras	xiii
Índice de Gráficas	xiv
CAPITULO I	1
INTRODUCCIÓN	2
1.1 OBJETIVOS	3
1.1.1 Objetivo General	3
1.1.2 Objetivos Específicos.....	3
1.2 HIPOTESIS	4
1.3 JUSTIFICACIÓN	5
1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
CAPITULO II	7
MARCO TEÓRICO	8
2.1 SUELO MOLLISOL	8
2.1.1 Propiedades físico-químicas de suelos Mollisoles.	8
2.2 DEFINICIÓN DEL RIEGO	9
2.3 IMPORTANCIA DEL RIEGO	9
2.4 HUMEDAD DEL SUELO	10
2.4.1 Capacidad máxima de retención.....	10
2.4.2 Humedad a Capacidad de Campo	10
2.4.3 Humedad a Punto de Marchitez Permanente	11
2.4.4 Agua útil o humedad aprovechable	11
2.4.5 Humedad gravimétrica	12
2.4.5.1 Agotamiento permisible	12
2.4.6 Láminas de riego	14
2.4.7 Lámina máxima.....	14
2.4.8 Lámina neta	15
2.4.9 Lámina bruta	15
2.5 INFILTRACIÓN DEL SUELO	16

2.5.1 Método para la determinación de la velocidad de infiltración en campo.....	16
2.5.2 Modelo para el cálculo de la infiltración.....	17
2.5.3 Evapotranspiración.....	18
2.5.4 Evaporación.....	18
2.5.5 Transpiración.....	19
2.5.6 Evapotranspiración Potencial o de Referencia (ETp)	19
2.5.7 Evapotranspiración del cultivo (ETc).....	19
2.5.8 Coeficiente de cultivo (Kc)	20
2.5.9 El uso consuntivo versus la demanda de agua.....	21
2.6 PLAN DE RIEGO	22
2.6.1 Frecuencia de riego	23
2.6.2 El coeficiente de riego.....	23
2.6.3 Control de la programación del riego.....	24
2.6.4 Características funcionales del poliducto tipo Polypepe	24
2.7 CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR.....	25
2.7.1 Clasificación Taxonómica de la Caña de Azúcar.....	25
2.7.2 Eco-Fisiología de la caña de azúcar	26
2.8 MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR	27
2.8.1 Requerimientos nutricionales de la caña de azúcar	27
2.8.2 Cosecha y rebrote.....	28
2.8.3 Requerimiento de agua.....	28
2.8.4 Riego en caña de azúcar	29
2.9 FORMULAS AGROFINANCIERAS DE PROYECTOS DE INVERSION	29
2.9.1 Valor Actual Neto (VAN)	29
2.9.2 Tasa interna de rendimiento/retorno (TIR).....	30
2.10 INFOSTAT SOFTWARE ESTADISTICO	31
CAPITULO III	32
METODOLOGÍA	33
3.1 Plan de la recolección de la información de acuerdo a los objetivos de la Investigación.	36
.....	36
3.1.1 Instrumentos de recolección.....	36
3.1.2 Planteamiento de trabajo para el cumplimiento	37
3.2 UBICACIÓN Y CARACTERÍSACIÓN DEL EXPERIMENTO.....	37
3.2.1 Experimento de campo.....	37
3.2.2 Variedad	38
3.2.3 Manejo agronómico.....	38
3.2.4 Tratamientos de Riego	39
3.2.5 Diseño experimental.....	40

3.2.6 Variables de Productividad y eficiencia en el uso del agua.	41
CAPITULO IV	42
RESULTADOS y DISCUSIÓN	43
4.1 ANALISIS AGROCLIMATICO DE LA CAÑA DE AZUCAR VARIEDAD LAICA 12- 339.	43
4.2 ANALISIS AGRICOLA DE LA CAÑA DE AZUCAR DE LA VARIEDAD LAICA 12- 339	48
4.2.1 RESULTADO DE MUESTREO DE SUELO FRANCO LIMOSO DEL ORDEN MOLLISOL.....	48
4.2.2 Número de riego y frecuencias para la caña de azúcar variedad LAICA 12- 339. Con un 35% Agotamiento de humedad en el suelo.	50
4.2.3 Número de riego y frecuencias para la caña de azúcar variedad LAICA 12 339. 70% Agotamiento.	51
4.2.4 Tiempos de riego para la caña de azúcar para la variedad tipo LAICA 12- 339.....	53
4.3 ANALISIS EN LA DOSIS DE FERTILIZACIÓN POR TRATAMIENTO DE LA CAÑA DE AZUCAR VARIEDAD LAICA 12- 339.	54
4.3.1 Porcentaje de la pendiente del área en estudio en el cultivo de la caña de azúcar variedad LAICA 12- 339.....	56
4.3.2 Calculo de la infiltración del suelo Mollisol, en la unidad experimental.	58
4.3.3 El cálculo de la velocidad de avance hídrico del suelo Mollisol, en la parcela en estudio.	61
4.3.4 Demanda hídrica planta - suelo del cultivo de caña de azúcar variedad LAICA 12- 339 después de un riego, en la etapa de crecimiento temprana.	62
4.4 ANALISIS DE LOS PARAMETROS BIOMETRICOS DE LA CAÑA DE AZUCAR VARIEDAD LAICA 12 -339.	63
4.4 ANALISIS AGROESTADISTICO DE LA CAÑA DE AZUCAR VARIEDAD LAICA 12 -339.	68
4.4.1 Determinación del efecto del potasio y porcentaje de agotamiento sobre los componentes primarios del crecimiento del cultivo de la planta en cm, en la caña de azúcar de la variedad tipo LAICA 12 -339, durante el año 2019.	69
4.4.2 Determinación del efecto del potasio y porcentaje de agotamiento sobre los componentes primarios del grosor del tallo mm, en la caña de azúcar de la variedad LAICA 12 -339, durante el año 2019.	70
4.4.3 Determinación del efecto del potasio y porcentaje de agotamiento sobre los componentes primarios de la longitud del tallo en cm, en la caña de azúcar de la variedad tipo LAICA 12 -339, durante el año 2019.....	71
4.4.4 Determinación del efecto del potasio y porcentaje de agotamiento sobre los componentes primarios del peso en toneladas a nivel de cosecha, en la caña de azúcar de la variedad tipo LAICA 12 -339, durante el año 2019.....	72
4.4.5 Determinación del efecto del potasio y porcentaje de agotamiento de humedad en el suelo, sobre los componentes primarios de la producción en kilogramos de azúcar por hectárea a nivel de la cosecha, de la variedad de caña de azúcar tipo LAICA 12 -339, durante el año 2019.	73

4.5 ANALISIS AGROFINANCIERO DE LA CAÑA DE AZUCAR VARIEDAD TIPO LAICA 12 -339.....	77
4.5.1 Flujograma del proyecto.....	77
4.5.3 Evaluación financiera del Valor Actual Neto (VAN) del proyecto cañero variedad tipo LAICA 12 -339.	80
4.5.4 Evaluación financiera de la Tasa Interna de Retorno (TIR), del proyecto cañero variedad tipo LAICA 12 -339.	80
CAPITULO V.....	81
CONCLUSIONES.....	82
RECOMENDACIONES.....	85
CAPITULO VI.....	86
LITERATURA CITADA	87
CAPITULO VII.....	92
ANEXOS	93

RESUMEN

La importancia de esta tesis de post grado radica en los beneficios directos como lo son en el complemento para el desarrollo productivo del proyecto cultivo de caña de azúcar, de 100 hectáreas para la finca de la UTN, al igual para los productores cañeros de la provincia de Guanacaste y Costa Rica en general, mejorar en el campo de la irrigación y fertilización potásica relacionados con los rendimientos en contenidos de azúcar de la planta donde va entrar a la agroindustria y su relación directa con el tema hídrico en el suelo, la planta cañera azucarera de la variedad LAICA 12- 339. El objetivo de este proyecto fue evaluar el efecto de cuatro dosis de potasio y dos láminas de riego, sobre el rendimiento agroindustrial del cultivo de la caña de azúcar. El cual se ubicó en la finca de la UTN en Cañas Guanacaste. Se utilizó un diseño en bloques completamente al azar en cual consistió de cuatro tratamientos. El manejo de labores técnicas y agronómicas del experimento se realizó siguiendo las mismas prácticas que se realizan en el cultivo convencional en la finca UTN, para el cultivo de la caña de azúcar con la que cuenta el proyecto cañero de la UTN, únicamente la dosis de potasio utilizadas en cada tratamiento de la investigación fueron las variantes (60, 100, 140 y 180 Kg de K₂O/ha).

De los resultados obtenidos en el experimento se evidenció que la aplicación de 180 kg de K₂O/ha, con un nivel de humedad del 35% fue la mejor productivamente, siendo significativamente a un ($p < 0.05$) según prueba de Tukey al 5 %. Según el comportamiento agroindustrial de los otros tratamientos, no se observó diferencias significativas entre ellas a un ($p < 0.05$) donde no hubo diferencia estadística en el experimento. De todos los tratamientos en estudio al menos uno es diferente, por lo tanto, se demostró que el potasio si produjo diferencia significativa sobre el rendimiento en toneladas de caña de azúcar, como también en el rendimiento en kilogramos de azúcar por hectárea, como en los componentes primarios del rendimiento y los componentes agroindustriales.

Palabras claves:

Caña de azúcar, fertilización potásica, riego y rendimientos agroindustriales.

ABSTRAC

The importance of this postgraduate thesis lies in the direct benefits such as the complement for the productive development of the sugarcane cultivation project, of 100 hectares for the UTN farm, Likewise, for sugarcane producers in the province of Guanacaste and Costa Rica in general, improve in the field of irrigation and potassium fertilization related to the yields in sugar content of the plant where it is going to enter the agribusiness and its direct relationship with the water issue in the soil, the sugar cane plant of the LAICA 12- 339 variety. The objective of this project was to evaluate the effect of four doses of potassium and two irrigation sheets on the agro-industrial yield of the sugarcane crop. Which was located on the UTN farm in Cañas Guanacaste. A completely randomized block design was used which consisted of four treatments. The management of technical and agronomic tasks of the experiment was carried out following the same practices that are carried out in conventional cultivation in the UTN farm, for the cultivation of sugar cane that the UTN sugarcane project has, and only the dose of potassium used in each treatment of the investigation were the variants (60, 100, 140 and 180 Kg of K₂O / ha).

From the results obtained in the experiment it was evidenced that the application of 180 kg of K₂O / ha, with a humidity level of 35% was the best productively, being significantly at a ($p < 0.05$) according to the Tukey test at 5%. According to the agroindustry behavior of the other treatments, no significant differences were observed between them at a ($p < 0.05$) where there was no statistical difference in the experiment. Of all the treatments under study, at least one is different, therefore, it was shown that potassium did produce a significant difference on the yield in tons of sugarcane, as well as in the yield in kilograms of sugar per hectare, as well as in the primary components of the yield and the agro-industrial components.

Keywords: Sugar cane, potassium fertilization, irrigation and agro-industrial yields.

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Propiedades físicas relacionadas con la capacidad de retención de agua en el suelo para diferentes texturas.....	12
Cuadro 2. Sensibilidad de algunos cultivos al déficit hídrico	13
Cuadro 3. Agotamiento de agua para diferentes cultivos según la evapotranspiración potencial de la zona.	13
Cuadro 4. Taxonomía de la planta de caña de azúcar.	25
Cuadro 5. Matriz de Operacionalización de las variables de la Investigación.	33
Cuadro 6. Materiales y Métodos.....	36
Cuadro 7. Datos Mensuales de la Precipitación (mm). Eto mm y ETc mm por la Estación Meteorológica del Ingenio Taboga, para la variedad LAICA 12- 339, durante el año 2019.	43
Cuadro 8. Resultados de análisis físicos de suelo calicata 4. Lote TNR 26.....	49
Cuadro 9. Análisis físico e hídrico del Suelo del ensayo experimental (Teórico).....	50
Cuadro 10. Agua Disponible 35% en intervalos de riego kc en caña de azúcar de 0 – 6 meses: 0.4, ETp según Priesley.....	50
Cuadro 11. Agua Disponible 70% en intervalos de riego kc en caña de azúcar de 0 – 6 meses: 0.4, ETp según Priesley.....	51
Cuadro 12. Estimación del contenido de humedad y potencial matricial en los agotamientos de 35 y 70% de humedad del suelo.	52
Cuadro 13. Lámina de riego por hectárea en cm, aplicado al ensayo experimental variedad LAICA 12- 339.	52
Cuadro 14. Volúmenes de agua requeridos desde el mes de enero a mayo para la irrigación de la caña de azúcar de la variedad LAICA 12- 339.....	53
Cuadro 15. Tratamiento del balance nutricional para las dosis de 60, 100, 140 y 180 kg K ₂ O/ha en el ensayo experimental de la caña de azúcar variedad LAICA 12- 339.	54
Cuadro 16. El diseño del ensayo a nivel de campo con su fertilización potásica por hectárea y su % de agotamiento de humedad en el suelo, en la caña de azúcar de la variedad LAICA 12- 339.....	55
Cuadro 17. Determinación del porcentaje de la pendiente del canal de irrigación a través del uso del poliducto tipo polypipe, en un suelo Mollisol con textura franco limosa en el cultivo de la caña de azúcar variedad LAICA 12- 339, durante el año 2019.	56
Cuadro 18. El porcentaje de la pendiente de los cuadrantes para la irrigación a través del uso de poliducto tipo polypipe, en un suelo Mollisol con textura franco limosa para la caña de azúcar de una variedad LAICA 12- 339, durante el 2019.	57
Cuadro 19. Datos obtenidos de la prueba de infiltración con cilindros infiltrómetros, en el Suelo Mollisol, franco limoso, en el experimento de la caña de azúcar de la variedad LAICA 12-339. 58	58
Cuadro 20. Valores de linealización de la ecuación de Kostiaikov.....	59
Cuadro 21. Ejemplo de la velocidad de avance hídrico e infiltración en el suelo, para un agotamiento del 35% de humedad en el suelo dentro del ensayo.	61
Cuadro 22. Ejemplo de la velocidad de avance hídrico e infiltración en el suelo, para un agotamiento de 70% de humedad en el suelo dentro del ensayo.	61
Cuadro 23. Numero de tallos por tratamiento en el experimento de la caña de azúcar para la variedad tipo LAICA 12 339, en una muestra de 24 m en 4 surcos, en el año 2019.....	64
Cuadro 24. Estimación de la producción relacionado con el peso en kilogramos de tallo y toneladas de caña por hectárea mediante un muestreo de la caña de azúcar durante el 13/01/2020, de la variedad LAICA 12 -339, durante el año 2020.....	65

Cuadro 25. Análisis del muestreo de la caña de azúcar durante el 13/01/2020 de la variedad TIPO LAICA 12 -339, en el laboratorio del Ingenio Taboga para la obtención de la sacarosa. ...	67
Cuadro 26. Análisis de medias de las variables de la caña de azúcar variedad LAICA 12 – 339, a nivel productivo en toneladas de campo por hectáreas y kilogramos de azúcar por hectáreas, durante el año 2019.	76
Cuadro 27. Calculo del VAN y TIR del Tratamiento I de la variedad tipo LAICA 12 -339 UTN durante el año 2019.	78
Cuadro 28. Calculo del VAN y TIR del Tratamiento II de la variedad tipo LAICA 12 -339 UTN durante el año 2019.	78
Cuadro 29. Calculo del VAN y TIR del Tratamiento III de la variedad tipo LAICA 12 -339 UTN durante el año 2019.	79
Cuadro 30. Calculo del VAN y TIR del Tratamiento IV de la variedad tipo LAICA 12 -339 UTN durante el año 2019.	79

Índice de Figuras

Figura 1. Dimensiones, instalación y toma de datos de los cilindros infiltrómetros.	17
Figura 2. Variación de coeficiente de cultivo (Kc) en función del ciclo fenológico.	21
Figura 3. Curva de infiltración instantánea del suelo Mollisol Experimental.....	60
Figura 4. El Flujograma del proyecto.....	77

Índice de Gráficas

Gráfica 1. Datos mensuales en la Precipitación (mm), Evaporación Potencial (mm) y Evaporación Real obtenidos de la Estación Meteorológica del Ingenio Taboga para el cultivo de caña de azúcar variedad LAICA 12- 339, durante el año 2019.....	43
Gráfica 2. El Efecto de las ETo (mm) y la Precipitación diaria (mm) en el cultivo de la caña de azúcar variedad LAICA 12- 339 en el ensayo, durante el año 2019.	44
Gráfica 3. El efecto en las ETc (mm) y la Precipitación diaria (mm) en el cultivo de la caña de azúcar variedad LAICA 12- 339 en el ensayo, durante el año 2019.	45
Gráfica 4. El efecto de la radiación solar en (W/m ²) y las temperaturas mínima, máxima y media en el cultivo de la caña de azúcar variedad LAICA 12-339 en el ensayo, durante el 2019.	46
Gráfica 5. La relación de la precipitación mm/diaria y su temperatura media °C/diaria en el cultivo de la caña de azúcar variedad LAICA 12- 339, en el ensayo durante el año 2019.	47
Gráfica 6. Comportamiento de grados Brix de acuerdo al tratamiento experimental de la caña de azúcar variedad LAICA 12-339 durante el año 2019.	63
Gráfica 7. Peso en kilogramos de los tallos de la caña de azúcar y Toneladas de caña por hectáreas de la variedad LAICA 12 339, durante el período 2019.....	66
Gráfica 8. Rendimientos del azúcar en kg/Toneladas métricas y Toneladas de azúcar por hectáreas para la agroindustria cañera de la variedad tipo LAICA 12 -339, durante el período 2019.....	68
Gráfica 9. Análisis del crecimiento de la planta caña de azúcar en cm, de la variedad tipo LAICA 12 -339, en los diferentes tratamientos durante el período 2019.	69
Gráfica 10. Análisis del crecimiento en el grosor del tallo en mm, de la caña de azúcar variedad tipo LAICA 12 -339, en los diferentes tratamientos durante el período 2019.....	70
Gráfica 11. Análisis del crecimiento en la longitud del tallo en cm de la variedad tipo LAICA 12 -339, en los diferentes tratamientos durante el período 2019.	71
Gráfica 12. Producción de caña de azúcar en toneladas métricas por hectárea en la variedad LAICA 12 339, durante el período 2019.	72
Gráfica 13. Producción de azúcar en kilogramos por hectárea a nivel de agroindustria de la variedad tipo LAICA 12 -339, durante el período 2019.....	74

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

El rendimiento de un cultivo es el resultado de la correcta consideración de una serie de factores. Unos son propios internos de la planta tales como capacidad de enraizamiento, resistencia a sequía, exigencias nutricionales, etc.; que están sustentadas en el potencial genético de la planta, mientras que otros son de tipo externo, entre estas se consideran las condiciones climáticas, características del suelo, factores nutricionales, prácticas agronómicas y otros que, de forma genérica podemos considerar como factores bióticos (malezas, microflora, microfauna, etc.). Los factores internos vienen definidos por la variedad o estirpe utilizada, dependiendo la expresión de su potencial genético de una correcta aplicación de los factores externos, de estos, unos escapan de forma absoluta al control humano, tal es el caso de la climatología en cultivos abiertos, otros en alguna medida, pueden ser objeto de corrección (plagas), mientras que otros pueden ser controlados de forma muy eficaz, como son los factores nutricionales, (Meléndez G 2001). El cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica se remonta a la colonia y desde entonces ha sido una de las fuentes básicas de energía de que ha hecho un uso intensivo la población, (León J, 2012).

En Costa Rica existen más de 7078 productores de caña de caña de azúcar, más de 2400 mujeres trabajan en la agricultura de la caña de azúcar. El cultivo y la industria cañera nacional aporta más de 8368 millones de colones en impuestos y contribuciones sociales. La producción total de azúcar en Costa Rica es de 431109 toneladas métricas. La producción de caña de azúcar y su fabricación genera más de 58000 empleos directos e indirectos, (laica.cr).

En el procesamiento de la caña de azúcar en Costa Rica, participan en forma activa 13 ingenios azucareros distribuidos a lo largo de todo el país, lo cual permite que los productores cuenten con facilidades industriales, relativamente cercanas y bajo condiciones reguladas por ley, para el acopio y procesamiento de su producción, (laica.cr).

La importancia de esta investigación de post grado radica en dos beneficios directos como lo es en el complemento para el desarrollo productivo del proyecto cañero de 100 hectáreas para la finca de la UTN, al igual para los productores cañeros de la provincia de Guanacaste y Costa Rica en general, mejorar en el campo de la irrigación y fertilización potásica relacionados con los rendimientos en contenidos de azúcar del cultivo de la caña de azúcar, variedad LAICA 12- 339. El objetivo de este proyecto fue evaluar el efecto de cuatro dosis de potasio y dos láminas de riego, sobre los rendimientos agroindustriales del cultivo, con la finalidad de alcanzar un rendimiento mayor a nivel de campo y agroindustrial, además de aumentar la sacarosa y la calidad del producto azucarero, mediante un plan de estudio académico de acuerdo a la Maestría Profesional en Desarrollo Integrado en Regiones Bajo Riego.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

Evaluar la fertilización potásica y la tolerancia al estrés hídrico en la caña de azúcar de la variedad LAICA 12- 339 a través, de dos láminas de riego por tratamiento mediante la interpretación hídrica y sus rendimientos agroindustriales, en la finca de la Universidad Técnica Nacional de la Sede Guanacaste.

1.1.2 Objetivos Específicos

1. Analizar las condiciones agroclimáticas, topográficas, edáficas e hídricas de la zona en estudio con el fin de usarlo racionalmente el recurso, en el desarrollo del experimento mediante el potencial productivo de la caña de azúcar variedad LAICA 12- 339, durante el año 2019.
2. Implementar un plan de riego usando un poliducto tipo polypipe de 400 mm (16 pulgadas), para su manejo de dos láminas de riegos que presenten un agotamiento hídrico en el suelo con 35% y 70% de humedad en el suelo, para cada tratamiento relacionado con su crecimiento y desarrollo productivo de la planta variedad LAICA 12- 339, durante el año 2019.
3. Evaluar plan de fertilización potásica mediante una formulación balanceada, con el fin de conocer sus efectos en el crecimiento y rendimiento del azúcar en la planta variedad LAICA 12- 339, durante el año 2019.
4. Analizar parámetros biométricos de la planta del grosor del tallo, longitud del tallo, altura de la planta, peso del tallo y % de grados Brix (sacarosa) mediante la fenología de crecimiento de la planta, en cada uno de los tratamientos potásicos y láminas de riego a nivel del suelo, , durante el año 2019.
5. Evaluar los resultados de producción de campo de la caña de azúcar variedad LAICA 12- 339, a nivel financiero como el VAN y TIR, con respecto a los rendimientos para cada dosis de fertilización potásica y láminas de riego con el fin de la obtención económica del proyecto experimental, durante el año 2019.

1.2 HIPOTESIS

- 1.** Las dosis de aplicación de potasio y la tolerancia al estrés hídrico en estudio del cultivo de la caña de azúcar en el ciclo de la caña tipo planta, en un suelo Mollisol incrementará el rendimiento industrial (Kilogramos de azúcar por tonelada).
- 2.** Las dosis de aplicación de potasio y la tolerancia al estrés hídrico en estudio del cultivo de la caña de azúcar en el ciclo de la caña tipo planta, en un suelo Mollisol incrementará el rendimiento agrícola (toneladas de caña por hectáreas).

1.3 JUSTIFICACIÓN

La razón por la cual se ha elegido esta investigación en caña de azúcar, es porque se considera que se pueden estudiar aspectos que no se han considerado en la región del distrito de riego del cantón de Cañas y provincia de Guanacaste, como es la fertilización potásica y la tolerancia al estrés hídrico en caña de azúcar, lo cual está relacionado con las variables productivas de campo y de fábrica.

El cultivo de caña de azúcar extrae grandes cantidades de nutrientes y en especial al potasio en cantidades suficientes y necesarias para que los mismos puedan expresar su máximo potencial productivo, siendo este el más económico viable, también ambientalmente seguro. En este sentido las cantidades de fertilizantes varían de un lugar a otro, dependiendo muchas veces del tipo de suelo, la variedad de caña de azúcar, las condiciones climáticas del lugar, entre muchos factores, de la misma forma con un plan de sistema de riego superficial cañero, muy importante y necesario para el lugar en estudio y la tolerancia que puede tener al estrés hídrico de la variedad LAICA 12- 339.

El proyecto de caña de azúcar tiene como misión generar y recopilar información de campo y laboratorio necesaria para la elaboración de un plan de manejo agronómico de la actividad fertilización potásica y de aplicación de riego en el cultivo de caña de azúcar en la finca de la Universidad Técnica Nacional (UTN), Sede Guanacaste. Actualmente, la información agronómica productiva, no se tiene en la institución, por tal motivo esta investigación será una herramienta para la buena administración del agua, suelo y cultivo de caña de azúcar. Esta información de riego y fertilización potásica se refleja en los rendimientos de campo y rendimientos de sacarosa en la agroindustria, va servir para los productores cañeros del cantón de Cañas, la provincia de Guanacaste y en general para el desarrollo de la actividad a nivel nacional.

¿La correcta y oportuna aplicación de fertilizantes es una práctica agrícola que brinda una mejor expectativa sobre la calidad y cantidad de los productos a cosechar; sin embargo, si no se realiza eficientemente afectará de manera negativa a la producción y a los ingresos del productor. La práctica de la fertilización tiene como objetivo primordial aportar aquellos nutrientes esenciales para el cultivo, que el suelo no los provee en la cantidad adecuada y en el tiempo oportuno en que son demandadas durante el ciclo de producción. En condiciones normales, habrá respuesta a la aplicación de fertilizantes cuando la demanda del cultivo sea mayor a la que el suelo pueda aportarle (oferta del suelo). En contraste, si su demanda es satisfecha con la oferta de nutrimentos del suelo, la adición de fertilizantes no incrementará la calidad de la producción ni la cantidad de azúcar que se pueda extraer, indistintamente del nutrimento que se trate. (Colegio de Postgraduados, 2008).

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 (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. (Colegio de Postgraduados. 2009).

Según (Subirós F. 2000), la capacidad de producir caña y sacarosa está determinada en gran medida por las características genéticas de la variedad, también es necesario comprender que estos dos aspectos son el resultado final de la interacción entre las plantas, el clima, el suelo, y el manejo que se le proporcione al cultivo. Por lo tanto, es normal que existan variaciones entre la productividad entre las zonas de acuerdo con las condiciones climáticas prevalecientes (temperaturas, humedad, radiación solar, precipitación, viento entre otras) así como las variaciones en las características edáficas por ejemplo (fertilidad, textura, estructura, pH entre otras).

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Cómo influye en la evaluación, el efecto de la fertilización del potasio y la tolerancia al estrés hídrico en la caña de azúcar de la variedad tipo LAICA 12 -339, en un suelo Mollisol en la finca experimental de la Universidad Técnica Nacional durante el año 2019, dentro de los aspectos de rendimientos como en las toneladas de caña de azúcar a nivel de campo y de sacarosa a nivel agroindustrial?

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 SUELO MOLLISOL

Según Los Mollisoles se forman en áreas semiáridas a semi-húmedas, típicamente bajo una cobertura de pasturas. El material parental es generalmente calcita (es el mineral más estable que existe de carbonato de calcio, proviene de la palabra en latín calx que significa cal viva), fundamentalmente movidos por el viento. Los procesos específicos que participan en la formación de molisoles de praderas son: melanización (la coloración oscura de los horizontes minerales del suelo por la mezcla íntima con la materia orgánica), descomposición y humificación (transformación de materia orgánica en humus). Los Molisoles son de los suelos agrícolas más importantes y productivos del mundo y son ampliamente utilizados para este propósito. (Mata R. et al 2013).

Según (Malagón 2003). Los molisoles son suelos de color oscuro, con altos contenidos de materia orgánica. Son los suelos más fértiles ya que se encuentran en zonas cálidas de valles, con altos contenidos de arcillas y buena cantidad de cationes que forman bases y sales nutritivas para las plantas. Presentan texturas pesadas debido a condiciones de mecanización continua lo que los hace susceptibles a procesos de compactación.

Bordeando muchas de las regiones desérticas están las áreas de lluvia más copiosa que mantienen pastos que tienden a cubrir completamente el terreno, y producen abundante materia orgánica que se descompone dentro del suelo. La lluvia, no obstante, es suficientemente limitada para evitar el lavado excesivo y la saturación de bases se mantiene alta. La descomposición de la abundante materia orgánica dentro del suelo en presencia de calcio, lleva a la formación de epipedones mólicos. La estructura del suelo bien agregado da lugar a la ligereza del mismo, la cual no es ni masiva ni muy dura en seco. Todos los mollisoles tienen epipedones mólicos. Entre las características de los horizontes mólicos están: color oscuro, friables, al menos 1% de materia orgánica y 50% de saturación de bases. En la mayor parte de los Mollisoles ha habido suficiente migración de arcilla para formar un horizonte argílico (Foth et al, 1975). Son los suelos más productivos a nivel mundial y en Costa Rica se ubican en el Valle del Tempisque, la Guácima de Alajuela y San Vito de Puntarenas (Núñez, 2000).

2.1.1 Propiedades físico-químicas de suelos Mollisoles.

Cuentan con una saturación de bases superior al 50%. Posee un horizonte superficial fértil, conocido como un epipedón mólico, resultante de la adición a largo plazo de materiales orgánicos derivados de raíces de las plantas. Los Molisoles son suelos de color oscuro. Con altos

contenidos de materia orgánica. Son los suelos más fértiles ya que se encuentran en zonas cálidas de valles, y buena cantidad de cationes que forman bases y sales nutritivas para las plantas. Suelos bien estructurados. Según (Mata R. et al 2013).

Los Molisoles los podemos encontrar principalmente en la zona de Guanacaste (La Cruz, Liberia, Carrillo, Bagaces, Cañas y Abangares). Este orden de suelos corresponde a un área de aproximadamente 482,74 km² equivalente a un 0,96% del territorio nacional. Según (Mata R. et al 2013).

Suelos Mollisoles: Clasificados como los mejores del mundo de alta fertilidad y Materia Orgánica son Suelos planos y profundos de color oscuro, tiene buen drenaje, Puede presentar deficiencias de P, S, Zn y Mn. Según (Meléndez G et al. 2001).

2.2 DEFINICIÓN DEL RIEGO

Las civilizaciones siempre se han asentado cerca del agua a lo largo de la historia, el uso de esta bien llega a dificultarse en razón de su demanda (Gómez, 1988). El riego es la aplicación artificial de agua al suelo, con el fin de suministrar a los vegetales (en ellos el agua ocupa del 75 al 90% del peso vivo) la humedad requerida para su desarrollo y producción (Zúñiga, 1998). Esta práctica deberá aplicarse donde quiera que la lluvia no satisfaga las necesidades del cultivo.

Las ventajas que proporciona la práctica del riego son:

- Se asegura la continuidad en la explotación agrícola, al permitir la obtención de más cosechas que las obtenidas bajo condiciones de secano.
- Permite establecer cultivos cuando las condiciones para el crecimiento y producción son las más adecuadas, facilitando las labores culturales.
- Se obtienen cosechas al final de la época seca, cuando en el mercado la demanda es mayor y los precios más favorables para el productor.
- El control de enfermedades en el cultivo es más fácil y económico, pues en época seca la incidencia de enfermedades es menor, y el número de aplicaciones de un producto para lograr su control es menor y más eficaz (Leitón, 1993).

2.3 IMPORTANCIA DEL RIEGO

La población mundial sigue en aumento, con lo cual se hace necesario producir más cada año, para lograr este objetivo se tienen dos alternativas:

- a) Aumentar el área de siembra, lo cual no es factible ya que prácticamente se ha agotado la frontera agrícola.

- b) Aumentar los rendimientos por unidad de área, obteniendo más de una cosecha al año, lo que puede lograrse con la puesta en práctica de sistemas de riego.

Al aplicar riego se pretende cumplir con una serie de objetivos, dentro de los cuales los más importantes son:

- Mayor rendimiento de cultivo, lo cual se logra aplicando la cantidad de agua que este requiere.
- Cultivar durante toda la época del año, sobre todo en aquellas zonas de escasa precipitación Aumentar los ingresos económicos, ya que se está produciendo a lo largo del año y se están aumentando los rendimientos.
- Disminuir las pérdidas por germinación que se pueden producir por falta de agua.
- Servir como seguro de cosecha, cuando se necesita aplicar agua en épocas específicas. Según (Villalobos, 2008).

2.4 HUMEDAD DEL SUELO

El suelo es un material poroso, como una esponja que retiene agua cuando es humedecida. Existen varias expresiones asociadas con el agua presente en el suelo durante el transcurso de diferentes procesos de transporte que se presentan en el suelo. La máxima cantidad de agua que un suelo puede retener y drenar es casi constante, estas constantes de humedad son de vital importancia para comprender las relaciones agua suelo (Ojeda et al, 1999).

2.4.1 Capacidad máxima de retención

Es un estado donde el suelo está completamente lleno de agua, el aire ha sido remplazado. Si las plantas permanecen mucho tiempo en este estado mueren, ya que no hay respiración. Parte del agua que satura el suelo empieza a escurrir por su propio peso, hacia las partes inferiores, a esta agua se le denomina como agua de gravedad o agua gravitacional. (Villalobos, 2008).

2.4.2 Humedad a Capacidad de Campo

Se refiere al contenido de humedad retenida en el suelo en contra de las fuerzas de gravedad, dos o cuatro días después de una lluvia fuerte o riego abundante; una vez drenada el agua gravitacional, la humedad retenida depende de la textura, contenido de materia orgánica y compactación del suelo. En este periodo han drenado los macroporos y el resto del agua es retenida en forma de una película gruesa alrededor de los meso y microporos (Valverde, 2000). La definición implica un libre movimiento de agua en el suelo bajo la única acción de la gravedad. El concepto de capacidad de campo es un término controversial ya que su definición puede carecer

de sentido físico para algunos suelos que continúan drenando a tiempos largos, sobre todo los arcillosos. El concepto tiene problemas también cuando el riego es muy frecuente, como en el caso del riego por goteo, donde se riega diariamente, aun así, es muy utilizado por su practicidad en métodos de riego por superficie y aspersion (Ojeda et al, 1999). La tensión o energía a la cual el suelo retiene el agua en este estado depende de la textura, así, por ejemplo, para suelos francos se dice que la tensión aproximada es de $0,3 \text{ MPa} \times 10^{-1}$, para suelos sueltos o arenosos a $0,1 \text{ MPa} \times 10^{-1}$ y para suelos arcillosos o compactos $0,5 \text{ MPa} \times 10^{-1}$.

2.4.3 Humedad a Punto de Marchitez Permanente

Este se define como el mínimo valor permisible de humedad del suelo que este puede alcanzar, sin tener un efecto detrimental en la planta, y puede ser estimado por medio de plantas indicadoras mantenidas en macetas bajo condiciones similares al cultivo de interés. El contenido de humedad es monitoreado hasta que las plantas se marchitan “permanentemente”, esto es, las plantas no son capaces de recuperarse cuando se colocan en una atmósfera saturada por 12 horas. El concepto de marchitamiento permanente fue propuesto en 1911 por Briggs y Shantz. Existe una regla empírica que a falta de un valor experimental puede ser útil, esta aproxima el valor del punto de marchitez permanente al dividir el valor de capacidad de campo entre 1,8, aunque este valor es aproximado, valores de 1,7 para arcillas y de 2 para arenas aproximan mejor las estimaciones (Ojeda et al, 1999). Para determinar el porcentaje de humedad a punto de marchitez permanente se utiliza el mismo procedimiento que para capacidad de campo, con la diferencia que la presión que se aplica a las muestras es de $15 \text{ MPa} \times 10^{-1}$. Se debe tener la precaución de que los platos de cerámica que se usen resistan la presión de $15 \text{ MPa} \times 10^{-1}$ aplicada (Villalobos, 2008).

2.4.4 Agua útil o humedad aprovechable

La capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, determinada por la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, es conocida como agua útil. Se expresa como porcentaje sobre peso seco (H). Se considera que a capacidad de campo (CC) el agua es 100 % y a marchitez permanente (PMP) es de 0%. Ejemplo los suelos de textura arcillosa presentan un valor superior de agua útil que los arenosos. El agua útil se calcula con la expresión: $H = CC - PMP$.

Cuadro 1. Propiedades físicas relacionadas con la capacidad de retención de agua en el suelo para diferentes texturas.

TEXTURA	D.APARENTE (g/cm³)	CC (%)	PMP
Arenoso	1,5-1,8 (1,65)	6-9 (9,0)	2-6 (4)
Franco-arenoso	1,4-1,6 (1,50)	10-18 (14,0)	4-8 (6)
Franco	1,0-1,5 (1,25)	18-21 (19,5)	8-12 (10)
Franco-arcilloso	1,1-1,4 (1,25)	23-31 (27,0)	11-15 (13)
Arcilloso-arenoso	1,2-1,4 (1,30)	27-35 (31,0)	13-17 (15)

Fuente: Ortega y Acevedo 1999.

Investigaciones recientes han encontrado que la disponibilidad depende de las propiedades de la planta (profundidad, extensión y densidad de raíces), las propiedades del suelo (almacenamiento, potencial matriz) y también de las condiciones microclimáticas prevalentes, que determinan la tasa de transpiración (Valverde, 2000). En el Cuadro 1, se relacionan clases texturales de suelo con valores de capacidad de campo, punto de marchitez permanente y densidad aparente.

2.4.5 Humedad gravimétrica

Para conocer el contenido de humedad del suelo en forma directa, se recurre al método gravimétrico, que consiste en pesar el suelo húmedo, luego secarlo en una estufa hasta peso constante a 110 °C y volverlo a pesar, la diferencia de peso es el contenido de agua. Luego el contenido de humedad en porcentaje será:

$$\%HG = (Psh - Pss) / Pss \times 100$$

Donde:

%HG es el porcentaje de humedad gravimétrica

Psh es el peso del suelo húmedo

Pss es el peso del suelo seco (Palacios, 1981).

2.4.5.1 Agotamiento permisible

Dejar que el suelo se seque hasta punto de marchitez permanente es un tanto peligroso, además de que muchos cultivos se desarrollan mejor a altos contenidos de humedad; es decir a bajas tensiones, lo cual significa que se empieza a regar antes de que el 100% del agua útil se agote, este valor (expresado como porcentaje) que se deja agotar es típico de cada cultivo y se le define como agotamiento permisible (Villalobos, 2008). No es el punto de marchitez permanente sino un valor intermedio entre la capacidad de campo y el punto de marchitez. El porcentaje de

agotamiento varía generalmente entre 20% y 60% (ver Cuadro 9). A medida que la profundidad de raíces se incrementa, el agotamiento también incrementa, el caso contrario se presenta en cultivos con poca profundidad radical como por ejemplo la papa donde el valor del agotamiento puede ser del 20%, sobre todo durante la época de formación del tubérculo (Ojeda et al, 1999).

Cuadro 2. Sensibilidad de algunos cultivos al déficit hídrico

BAJA	BAJA-MEDIA	MEDIA-ALTA	ALTA
Algodón	Cítrico	Sandía	Arroz
Yuca	Soya	Maíz	Caña de azúcar
Sorgo	Maní	Cebolla	Hortalizas verdes

Fuente: Ojeda et al 1999.

En el Cuadro 2, se detallan la sensibilidad de algunos cultivos al déficit hídrico, esta información es importante porque puede servir para establecer que cultivos son más aptos para manejo en secano o bajos condiciones de riego

Cuadro 3. Agotamiento de agua para diferentes cultivos según la evapotranspiración potencial de la zona.

Cultivo	EVAPOTRNASPIRACIÓN MAXIMA (mm/día)				
	2	4	6	8	10
Cebolla, Chile, Papa.	0.50	0.35	0.25	0.20	0.175
Banana, Col, Uva, Guisante, Tomate.	0.675	0.475	0.35	0.275	0.225
Alfalfa, Frijol, Cítricos, maní, Piña, Girasol, Sandía, Trigo.	0.87	0.60	0.45	0.375	0.30
Algodón, Maíz, Olivo, Sorgo, Soja, Caña de Azúcar, Tabaco.	0.875	0.70	0.55	0.45	0.40

Fuente: Grassi 1987.

2.4.6 Láminas de riego

El concepto de lámina se refiere a una determinada cantidad de agua que se debe aplicar al suelo para que satisfaga las necesidades del cultivo; depende de la capacidad de almacenamiento de agua y de la densidad aparente del suelo, así como de la profundidad de raíces o zona de absorción, las láminas se expresan en milímetros o centímetros. El agua se agota más rápidamente en las capas superficiales del suelo por efecto de la evapotranspiración, este efecto disminuye al crecer la planta y producir sombra. Las raíces absorbentes tienden a concentrarse entre 30 y 40 centímetros de la superficie del suelo, en donde se presenta la mayor absorción de agua.

Si la capa superior del suelo tiene baja capacidad de retención y no se repone el agua en el momento oportuno, o se permiten agotamientos de humedad muy altos, entonces las raíces empiezan a profundizar para utilizar la humedad de las capas inferiores, lo cual debilita la planta y atrasa su crecimiento. También se utiliza el concepto de “punto crítico”, que es el porcentaje mínimo de la humedad disponible que debe mantener el suelo para aplicar el próximo riego, o en otro sentido, el porcentaje de la humedad disponible que se permite “agotar” o ser aprovechada por la planta; por ejemplo, si el punto crítico es de un 40%, significa que el porcentaje de agotamiento es de un 60%; el riego se debe aplicar cuando el nivel de humedad se encuentre en el punto crítico. (Valverde, 2000).

2.4.7 Lámina máxima

Si se quiere calcular la máxima lámina de agua que un suelo puede retener, se hace con base a la capacidad de almacenamiento de agua del suelo y la profundidad del perfil.

$$L_m = ((CC - PMP) / 100) \times (D_{ap} / D_{agua}) \times Prof.$$

Donde.

L_m = la máxima lámina que retiene el suelo en milímetros o centímetros

CC = % humedad a capacidad de campo

PMP = % de humedad a punto de marchites permanente

D_{ap} = Densidad aparente del suelo en g/cm^3

D_{agua} = densidad del agua en g/cm^3

Prof = la profundidad del perfil del suelo a considerar en milímetros o centímetros

Como la densidad del agua es igual a $1 g/cm^3$, generalmente se suprime de la fórmula. Al tener el peso específico aparente y el del agua las mismas unidades, estas se eliminan por lo

que las unidades de la lámina dependen de las unidades en que se introduzca la profundidad del perfil considerado. Si se quiere calcular la lámina que le hace falta al suelo para llevarlo hasta capacidad de campo, bastaría con sustituir en la fórmula el valor de PMP por el contenido de humedad que tiene el suelo en ese momento (Villalobos, 2008).

2.4.8 Lámina neta

Para la determinación de la lámina neta o dosis neta de riego, se toma en cuenta una condición de manejo de vital importancia, y este es el porcentaje de agotamiento permisible o en términos de tensión, el potencial mátrico o succión a la cual debe aplicarse el riego, para satisfacer el déficit de humedad. La lámina neta se calcula con las fórmulas:

$$L_n = L_m \times AG$$

$$L_n = ((CC - PMP) / 100) \times (D_{ap} / D_{agua}) \times Prof. \times AG$$

Donde:

AG es el agotamiento permisible expresado en decimal

Los parámetros de la ecuación de lámina máxima tienen las mismas unidades que se especificaron anteriormente (Valverde, 2000).

2.4.9 Lámina bruta

La lámina neta que se ha calculado es la que debe de quedar en el perfil del suelo. En un sistema de riego siempre se van a dar pérdidas de agua en forma inevitable, ya sea por evaporación, percolación profunda, escorrentía y otros, por lo que si aplicamos la lámina neta; en el perfil del suelo va a quedar una lámina inferior. Para evitar esto, se debe aplicar una lámina mayor en el suelo. Esta se conoce como lámina bruta y para su cálculo se utiliza el concepto de eficiencia de riego.

Se determina con la fórmula:

$$L_b = L_n / E_f$$

Donde:

L_b = lámina bruta en centímetros o milímetros

L_n = Lámina neta en centímetros o milímetros

E_f = es la eficiencia de aplicación del sistema de riego utilizado, se expresa en decimal (Villalobos, 2008).

2.5 INFILTRACIÓN DEL SUELO

Es la penetración del agua en el perfil del suelo por unidad de tiempo, Los aportes más comunes de agua al suelo son por lluvias y riegos. El agua inicia su penetración en los macroporos, desplazándose hacia abajo debido principalmente a gradientes de potencial gravitacional y mátrico, formando un frente húmedo, estableciéndose un flujo no saturado, salvo que el suelo estuviese saturado al comenzar a recibir el aporte de agua. Si continua el aporte, el agua irá ocupando todo el espacio poroso y su movimiento tenderá a convertirse en un flujo saturado, que ocurrirá cuando toda la porosidad esté ocupada con agua. (Smith D. 1994).

Cuando se cubre el suelo con una pequeña lámina de agua, el grado de infiltración depende del contenido de agua inicial y de succión, así como de la textura, estructura y uniformidad del perfil del suelo. (Smith D. 1994).

La cantidad de agua que se infiltra bajo condiciones de campo, disminuye conforme aumenta la cantidad de agua que ya ha entrado en él y es máxima al comenzar la aplicación del agua en el suelo. (Smith D. 1994).

La infiltración casi constante se alcanza cuando los primeros centímetros del perfil del suelo superan la capacidad de campo, incluso saturándose momentáneamente, mientras el agua gravitacional drena hacia las capas más profundas. El tiempo necesario para llegar a esta situación dependerá de la profundidad a que se encuentra la zona de saturación, o la capa de menor permeabilidad que funcionará como "impermeable relativo", (Smith D. 1994).

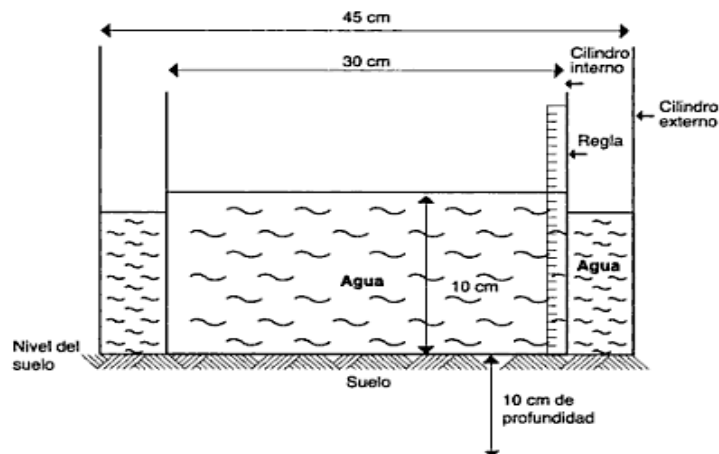
2.5.1 Método para la determinación de la velocidad de infiltración en campo

El método utilizado para la determinación de la infiltración básica es el de cilindros infiltrómetros, estos constan de dos cilindros metálicos de 3,17 mm de espesor.

El cilindro interior posee un diámetro de 30 cm y una altura de 40 cm, dicho cilindro se enterró en el suelo 10 cm. Alrededor se colocó el cilindro exterior con un diámetro de 45 cm y de 25 cm de altura, se enterró 10 cm.

Se colocó plástico tanto en el cilindro exterior como en el interior, se depositó 10 cm de agua en cada uno, se colocó una regla graduada en forma vertical dentro del cilindro interior, de forma que se pudiera medir la altura del agua. Se tomó la hora y se agregó agua hasta los 10 cm. Se dejó que el nivel del agua descendiera uno o dos centímetros y se tomó el tiempo que tardó en descender. Se volvió a depositar agua lo más rápido posible hasta completar los 10 cm. La operación se repitió hasta que el tiempo en descender el agua fuera constante.

Figura 1. Dimensiones, instalación y toma de datos de los cilindros infiltrómetros.



En la Figura 1, se especifican las dimensiones, instalación y toma de datos de los cilindros infiltrómetros.

2.5.2 Modelo para el cálculo de la infiltración

La infiltración instantánea básica se obtuvo por medio del método de Kostiakov, el modelo propuesto es el de la Ecuación 1

$$li = a \times t^b \dots \dots \dots \text{Ecuación 1}$$

Donde:

li: infiltración instantánea (cm/h)

a: coeficiente que representa la velocidad de infiltración cuando $t=1$

t: tiempo al se quiere determinar infiltración (min)

b: exponente cuyo valor siempre es negativo y varía entre 0 y -1

La estimación de los parámetros de a y b se realiza mediante la linealización de la ecuación de Kostiakov, por medio de la aplicación de logaritmos como se muestra en la Ecuación 2.

$$\text{Log } li = \text{log } a + b \text{log } t \dots \dots \dots \text{Ecuación 2}$$

Se deben logaritmizar los valores de velocidad de infiltración (y) y tiempo acumulado promedio (x) obtenidos en la prueba, luego se deben aplicar mínimos cuadrados como el método más aplicable para una regresión lineal.

$$a' = \frac{\sum x \sum x^2 - \sum x \sum xy}{N \sum x^2 (\sum x)^2} \dots \dots \dots \text{Ecuación 3}$$

$$a = 10^{a'} \dots \dots \dots \text{Ecuación 4}$$

$$b = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{N}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}} \dots \dots \dots \text{Ecuación 5}$$

El tiempo base se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Tb = -600 \times b \dots \dots \dots \text{Ecuación 6}$$

2.5.3 Evapotranspiración

Las plantas consumen grandes volúmenes de agua, por cada kilogramo de producto se necesitan varios cientos de kilogramos de agua. Por ejemplo, se requieren alrededor de 100 kilogramos de agua para producir un kilogramo de azúcar. Una hectárea de maíz con un rendimiento de 20 toneladas por hectárea de materia seca contiene 4 metros cúbicos de agua, asumiendo un 20% de humedad. Sin embargo, el volumen promedio de agua necesario para llegar a su madurez fisiológica es de alrededor de 6000 metros cúbicos, que representan una lámina de 600 milímetros distribuidos a lo largo de su ciclo fisiológico (Ojeda et al, 1999).

Las necesidades de agua de los cultivos son conocidas con los términos de “Uso Consuntivo” o “Evapotranspiración”. Es la sumatoria del agua que utiliza la planta para llevar a cabo todas sus funciones fisiológicas, que corresponde al agua que expulsa la planta a través de las hojas por transpiración, la que pierde directamente del suelo adyacente a la planta por evaporación, así como también el agua interceptada en el follaje. La diferencia entre los conceptos de Uso Consuntivo y Evapotranspiración estriba en que el Uso Consuntivo toma en cuenta el agua de constitución, que es el agua que utiliza el cultivo en la formación de los tejidos durante todo su ciclo, su valor es tan bajo respecto al agua evaporada (del orden del 1%), que no es significativo en el resultado final. Por lo anterior ambos conceptos se consideran sinónimos (Valverde, 2000). Evapotranspiración \approx Uso Consuntivo (Villón, 1998)

2.5.4 Evaporación

Se denomina evaporación la espontánea vaporización o gasificación que ocurre a todas las temperaturas en la superficie de los líquidos, la evaporación es tanto más activa cuanto más seco y caliente está el aire, pero la misma evaporación humedece el aire. Luego toda corriente de aire que se haga llegar a un cuerpo humedecido favorecerá notablemente la evaporación (Kleiber y Estalella, 1924). Aplicado al riego, consiste en la pérdida de agua del terreno adyacente a la planta, así como el agua no absorbida que se evapora directamente desde las hojas. La evaporación

se ve afectada por la radiación solar, así como la latitud, estación del año, hora del día y luminosidad (Valverde, 2000).

2.5.5 Transpiración

El agua constituye el medio esencial en el que ocurren las reacciones bioquímicas en las plantas. Algunos tejidos suculentos como los frutos y algunas hojas pueden contener más del 90% de agua. Sin embargo, solamente una cantidad muy pequeña del agua que la raíz absorbe es retenida en los tejidos. El agua que la planta transpira cumple también la importante función de evitar el calentamiento y moviliza los solutos, en algunos casos a distancias considerables. Entre el 80 y 90% del agua que sale de la planta en forma de vapor, lo hace por medio de la transpiración estomática, la cual sale por difusión por las estomas principalmente, aunque puede escapar por la cutícula de la epidermis y a través de las superficies peridérmicas suberizadas (Villalobos, 2001).

2.5.6 Evapotranspiración Potencial o de Referencia (ETp)

La evapotranspiración potencial por definición, es el consumo de agua de un cultivo de (tipo gramínea) de 8 a 15 centímetros, en crecimiento activo que cubre totalmente el suelo, y nunca le falta agua (Palacios, 1981). No debe confundirse la evapotranspiración potencial estimada con la evapotranspiración potencial medida. Solamente los lisímetros (dispositivos para medir la evapotranspiración reproducen idealmente las condiciones de suelo y cultivo) y el método de correlación turbulenta proporcionan mediciones muy aproximadas de la ETp, mientras que los otros sólo proporcionan un estimado. Existen diferentes métodos para estimar la evapotranspiración de referencia indirectamente mediante ecuaciones aproximadas que utilizan valores de las variables meteorológicas en la interfase cultivo – atmósfera o a través del flujo de calor transportado por la savia. Existe una diversidad de métodos para estimar la evapotranspiración de referencia con diferentes requerimientos de datos, frecuencia y grado de precisión. Algunos requieren datos mensuales, diarios, horarios y los más precisos del orden del segundo. Otros requieren mediciones de las cuatro variables meteorológicas relacionadas con la evapotranspiración. Los métodos más interesantes son los físicamente basados que pueden aplicarse a localidades diferentes donde fueron generados y calibrados, a diferencia de los métodos empíricos que solamente son válidos para los lugares donde han sido calibrados (Ojeda et al, 1999).

2.5.7 Evapotranspiración del cultivo (ETc)

La mayor parte de las fórmulas empíricas usadas para estimar el consumo de agua por las plantas (ETc), pretende evaluar primeramente la evapotranspiración potencial (ETp), en función de algunos factores climáticos, luego, esta se modifica mediante la utilización de factores de ajuste

en función de las características del cultivo (K_c). Generalmente estas fórmulas consideran que la planta está eficientemente regada y no falta agua en el suelo (Palacios, 1981).

Este consumo se refiere a la estimación del consumo máximo que tienen los cultivos en un periodo dado; entre los factores que influyen en este proceso están:

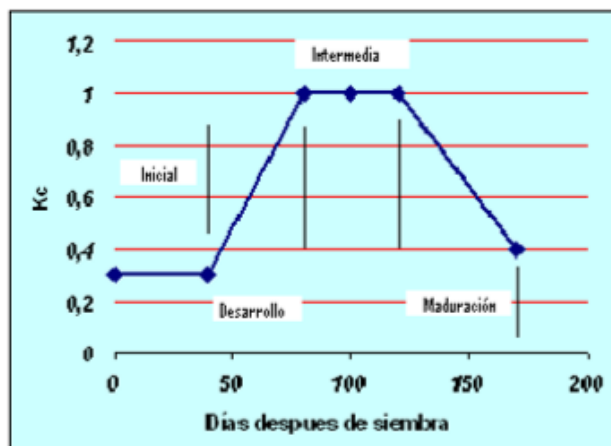
1. Tipo de cultivo
2. Grado de crecimiento del cultivo
3. Características del suelo
4. Disponibilidad de agua para el consumo (Valverde, 2000).

Según (Doorembos y Pruitt 1977), la Etc acumulada del cultivo de la caña de azúcar va en ámbito de la variación de su evapotranspiración, durante su ciclo fenológico entre los 1000 – 1500 mm.

2.5.8 Coeficiente de cultivo (K_c)

El coeficiente de cultivo es la representación cuantitativa normalizada de la evapotranspiración de un cultivo (ET_c) en relación con la evapotranspiración de referencia (ET_p) a lo largo del ciclo fenológico del cultivo. Gran esfuerzo se ha centrado en obtener los coeficientes de cultivo de los diferentes cultivos agrícolas durante sus etapas fenológicas. Existen reportados en la literatura los diferentes valores de K_c en función del tiempo de una variedad de cultivos agrícolas. El manual 24 de la FAO (Doorembos y Pruitt, 1977) considera el estándar de curvas de K_c . Dicho manual contiene las curvas de K_c en función de días después de siembra o transplante para diversidad de cultivos anuales y perennes. Para cultivos anuales, existe una variación distinguible de acuerdo a la etapa fisiológica, tal como lo muestra la fase fisiológica (inicial, desarrollo, intermedia, tardía) en que se puede dividir el ciclo de un cultivo anual bajo condiciones de riego (Ojeda et al, 1999).

Figura 2. Variación de coeficiente de cultivo (Kc) en función del ciclo fenológico.



Fuente: Ojeda et al 1999.

Las principales etapas que definen la variación del coeficiente de cultivo (Kc) son:

1. Inicial: Desde la germinación hasta el crecimiento temprano cuando la cobertura vegetal es baja (menor del 10%).
2. Desarrollo del cultivo: Desde el final de la etapa inicial hasta que se alcance una cobertura vegetal del 70 a 80%.
3. Intermedia o crítica: Desde el final de la etapa de desarrollo hasta el inicio de la maduración.
4. Tardía o de maduración: Desde la etapa intermedia hasta la madurez total o cosecha (Ojeda et al, 1999).

2.5.9 El uso consuntivo versus la demanda de agua

Al construir y establecer una curva de la evapotranspiración potencial se cumple con un requisito previo muy importante para cualquier obra de aprovechamiento del riego. Sin embargo, la conversión de los valores obtenidos de esa curva en cifras estandarizadas de demanda de agua y aplicables a la amplitud total de una región, tiende a causar dificultades y a que se cometan injusticias con parte de los usuarios de un área bajo riego. Para un mismo cultivo, la demanda real de agua puede variar considerablemente, a pesar de que haya una evapotranspiración potencial uniforme. En consecuencia, las cifras de uso consuntivo deben ser ajustadas para las condiciones del usuario en particular, las variaciones entre esos valores se deben a lo siguiente:

- Profundidad del suelo y su capacidad de retener el agua, por ejemplo, los suelos profundos con una alta retención requieren menos agua que un suelo delgado con baja capacidad de retención.
- Topografía del terreno, pues mientras más fuerte y menor uniforme sea la topografía, más baja es la eficiencia de riego, y por lo tanto más alta la demanda.
- Exposición al viento, especialmente por medio del riego por aspersión, la demanda de agua aumenta con la exposición e intensidad del viento.

- El sistema de riego, su equipo y su operación, todos ellos tienen una gran influencia sobre la demanda real de agua (Zimmerman, 1981).

2.6 PLAN DE RIEGO

Una de las interrogantes que debe enfrentar todo agricultor de riego, es determinar cuál es el momento en que se debe aplicar el agua de riego a sus cultivos para evitar que se afecten los rendimientos debido a un aporte hídrico tardío. Por otra parte, también se enfrentan a la pregunta de cuánta agua aplicar en cada riego para lograr reponer el agua consumida desde el último riego. Estas interrogantes están relacionadas con los conceptos de frecuencia y tiempo de riego que son la base para establecer una programación del riego en función de la especie vegetal, del suelo y de las variables climáticas que inciden en la evapotranspiración de los cultivos. En una agricultura moderna es imprescindible poder estimar con la mayor precisión estas necesidades de agua y poder aplicarla oportunamente para obtener de esta manera los mayores beneficios de una agricultura de riego (Ortega y Acevedo, 1999).

En los distritos y áreas de riego se debe planear antes de cada ciclo agrícola como se va a utilizar el agua disponible, en función de la demanda por parte de los usuarios (disponibilidad versus demanda), variables muy interrelacionadas, pues se deben ajustar las demandas en función de la disponibilidad de agua, o sea al balance de entradas y salidas de agua del sistema a considerar (Valverde, 2000). La estimación de estos parámetros generalmente no es fácil, dada la información y otros elementos de juicio disponibles en la mayoría de distritos o áreas de riego. Sin embargo, debe aclararse que existe una interrelación entre la demanda y la disponibilidad de agua, porque si la disponibilidad es baja, los planes de cultivo se ajustan, esto es, los agricultores hacen algunos cambios en los patrones de cultivo y viceversa, las decisiones sobre las extracciones de agua de las fuentes de abastecimiento se realizan con la presión de los agricultores por lograr cierto patrón de cultivos (Exebio y Palacios, 1989).

En otras palabras, el plan de riego es un instrumento de planificación, que se utiliza en los distritos y áreas de riego, cuya elaboración considera la disponibilidad real de sus recursos hídricos superficiales y subterráneos, aspectos agrológicos, climatológicos, características operativas del sistema de riego y los cultivos de interés de los usuarios de agua de riego, bajo los lineamientos de la política agraria nacional (Valverde, 2000). Además, la correcta programación del riego permite optimizar el uso del agua y maximizar la producción y calidad de los productos agrícolas. Para programar el riego es esencial estimar tanto el agua que consumen los cultivos o su evapotranspiración y la cantidad de agua que puede almacenar el suelo explorado por las raíces del cultivo. La programación del riego es entonces un procedimiento que permite establecer el momento oportuno del riego y cuánta agua aplicar a los cultivos (Ortega y Acevedo, 1999).

2.6.1 Frecuencia de riego

La frecuencia de riego permite estimar el número de días transcurridos entre dos riegos consecutivos (Ortega y Acevedo, 1999). A partir de que se coloca en el perfil del suelo la lámina que se quiere, comienza a producirse evapotranspiración por parte del cultivo, hasta llegar a consumirse en su totalidad. El intervalo con que se deba de reponer esa lámina depende de la magnitud de ésta y de la evapotranspiración real del cultivo. La lámina neta que se aplica, depende además de las propiedades físicas del suelo, de la edad del cultivo, puesto que según el periodo vegetativo así será la profundidad radical. (Villalobos, 2008). En los métodos de riego gravitacionales, el suelo se utiliza como un estanque que almacena el agua que se aplica en cada riego. La capacidad de este estanque determina cuántos días pueden transcurrir entre un riego y otro. En riegos de alta frecuencia, como es el caso de los métodos por goteo y microaspersión, el suelo no necesariamente actúa como un reservorio de agua, ya que ésta es aplicada frecuentemente para mantener un alto contenido de humedad en el suelo, cercana a capacidad de campo. En consecuencia, y en general, el riego por goteo tiene una frecuencia diaria (Ortega y Acevedo, 1999).

2.6.2 El coeficiente de riego

El coeficiente de riego, es la cantidad de agua por hectárea que se aplica al suelo exclusivamente para proporcionar la humedad que las plantas necesitan para realizar su desarrollo normal y alcanzar la máxima producción posible compatible con sus necesidades de agua; es decir, es la cantidad de agua que cubre las deficiencias de todos los abastecimientos naturales de humedad del suelo, entre los que se cuenta a la lluvia como la fuente principal de esos abastecimientos. El coeficiente varía con el tipo de cultivo, la naturaleza del suelo (especialmente en cuanto a textura y contenido de materia orgánica), y consiguientemente con la altura y distribución de la lluvia del lugar correspondiente. El coeficiente de riego se expresa en unidades de metros cúbicos de agua por hectárea, y no debe confundirse con el coeficiente de gasto, utilizado para el cálculo de la capacidad de los canales de riego, el cual tiene unidades de litros por segundo por hectárea. En la práctica y para el efecto de las demandas de agua de los planes de riego, importa conocer con la mayor amplitud posible los coeficientes brutos de riego que realmente demanda en la actualidad, con todos los desperdicios y despilfarros de agua, cada uno de los cultivos comprendidos en el plan, pues de lo contrario se obtendrían resultados engañosos que conducirían a aceptar superficies factibles de riego superiores a la realidad, con graves perjuicios de los productores del distrito (Espinosa, 1976).

2.6.3 Control de la programación del riego

El plan de riego se debe controlar para evitar o prevenir cualquier situación crítica que se pueda presentar y fundamentalmente, verificar que no existan discrepancias entre lo programado y lo ejecutado. Se deben ejecutar tres actividades básicas: operación de la fuente o entrada de agua (balance de entradas menos salidas), el avance de las hectáreas de riego y el control de las láminas de riego, lo cual se debe hacer de forma mensual.

El control será efectivo en la medida que se disponga de los datos del padrón de usuarios (lista de agricultores), un plano con el inventario de las obras y ubicación de parcelas, así como también, el estado de la infraestructura a nivel parcelario. Un aspecto relevante en este control, es la ubicación de escalas graduadas o sensores electrónicos de nivel en lugares estratégicos, tanto en el embalse o fuente de agua como en la red de conducción y distribución, pues son las que van a servir para controlar tirantes, la abertura de compuertas, cálculo de cargas y gastos (Valverde, 2000).

La programación del riego realizada en base a parámetros climáticos es una buena aproximación para determinar las necesidades de agua de los cultivos y el momento de su aplicación. Sin embargo, para comprobarlo y asegurarse que el riego en el campo es oportuno y efectivo, es posible monitorear la humedad del suelo explorado por las raíces del cultivo; lo anterior requiere de instrumentos sencillos para su evaluación.

Para el caso de cultivos regados por métodos tradicionales como surcos y melgas es conveniente comprobar si el riego humedeció la zona radical. Para ello se muestrea el suelo con barreno hasta la profundidad máxima de raíces y se hace una apreciación visual del grado de humedecimiento del suelo. Si el riego no humedeció la zona de raíces significa que se debe aumentar el tiempo de riego. Si el riego mojó hasta una mayor profundidad significa que deberá disminuirse el tiempo de riego.

2.6.4 Características funcionales del poliducto tipo Polypepe

Uso del producto para distribución de agua polyriego bco.25.125"x150 mtsx15 (16 pulgadas)

Peso promedio por rollo 67,04 kg

Propiedades mecánicas:

- Presión hidrostática 3.50 MLN (PSI)
- Ancho 25,125 MIN (PLG)
- Calibre mínimo 13,5 MIN (Milésima)

- Calibre máximo 16,5 MAX (Milésima)
- Largo del rollo 150m
- Espesor 15mm
- Diámetro 16 pulgadas.

2.7 CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

2.7.1 Clasificación Taxonómica de la Caña de Azúcar

El género fue descrito originalmente por Carlos Linneo, siendo la especie tipo empleada la *Saccharum officinarum* L. El nombre del género proviene del latín saccharum que significa azúcar.

Cuadro 4. Taxonomía de la planta de caña de azúcar.

Super Reino	Eucariota
Reino	Plantae
División	Spermatophyta
Sub División	Magnoliophytina
Clase	Liliatae
Sub Clase	Lillidae
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Sub Familia	Panicoideae
Tribus	Andropogoneae
Sub Tribus	Saccharastrae
Género	Saccharum
Especie	Officinarum
Variedad	LAICA 12 339

Fuente: Adaptado de Arévalo et al 2006 y Strasburger et al 1988.

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) tiene su origen genético en Nueva Guinea. La planta pertenece a la familia de las gramíneas, es una planta C4 con alta eficiencia fotosintética. Según variedad y condiciones locales, la planta forma entre 4 y 12 tallos que pueden crecer hasta

3 - 5 m de altura. El contenido de azúcar (sacarosa) oscila entre 11 y 16% (Asociación Naturland, 2000).

Según (Van Dillewijn 1978), la morfología es el conocimiento de la forma externa que adoptan los diferentes órganos que constituyen una planta de caña, lo cual nos permitirá diferenciar en el cultivo las plantas de un buen desarrollo y las afectadas por plagas y enfermedades o las que estén creciendo en malas condiciones por su manejo agro técnico. Las características de las diferentes variedades que se cultiven, su identificación, la relación con los procesos tecnológicos o labores agrícolas y familiarizarnos con las diferentes etapas de desarrollo de la planta.

Según (Del toro 1983). Afirma que “Morfológicamente la caña de azúcar se presenta en forma de macollas, plántones de tallos cilíndricos, de tres a cinco metros o más de longitud, con variada cloración (en dependencia de la variedad), desarrollados a partir de yemas situadas en los entrenudos correspondientes a la sección subterránea del tallo primario o rizoma. Su sistema radical está conformado por numerosas raíces que se distribuyen espacialmente con mayor profusión en un radio de aproximadamente 30 centímetros a partir del tallo primario y fundamentalmente en los primeros 30 centímetros de profundidad, aunque alcanzan escalonadamente hasta 60 y más centímetros de profundidad en el suelo.”

2.7.2 Eco-Fisiología de la caña de azúcar

Luz. La intensidad lumínica (horas luz) interviene directamente en todo el proceso fotosintético de la planta, de acuerdo a su capacidad de absorción será la generación de ATP y concentración enzimática en el desarrollo vegetativo (Del Toro., et al 1990).

Temperatura. La misma es un indicador concluyente en la brotación de climas subtropicales, una temperatura por debajo de 30 °C en el suelo afecta la brotación, la brotación óptima en términos generales ocurre entre los 26,7 °C - 32,2 °C (Del Toro., et al 1990).

Precipitación. El agua es precisa en la formación de carbohidratos (azúcares) e indicador fundamental en la obtención de las toneladas de caña / hectáreas. La caña necesita de 8-9 mm de agua/ha/día durante la etapa de verano (días calurosos), y entre 3-4 mm/ha/día en la época más fría (Del Toro., et al 1990).

Vientos. Los vientos, de acuerdo a su velocidad median en la permanencia y daños de los cañaverales, estos pueden arrancar las plantaciones de acuerdo a su velocidad e intensidad (Del Toro., et al 1990).

Suelo. Se desarrolla en disímiles características y propiedades físico químicas de suelo, la salinidad es un factor que influye en el desarrollo de los plantares, la textura, porosidad total,

densidad aparente y estructura son variables determinantes en la calidad de desarrollo para la planta (Del Toro., et al 1990).

Suelo altura sobre el nivel del mar. Se ha determinado como optimo hasta los 700 m (trópicos), entre los 0-1 200 m esto se refiere al desarrollo integral del cultivo (Del Toro., et al 1990).

Grados o Brix de la caña de azúcar. Composición de los sólidos que se encuentran en el jugo de la caña y se expresa en porcentaje (Sugarcane 2016).

Índice de madurez. Es la relación que existe entre el ° Brix superior e inferior conocido internacionalmente como la relación tope base y se expresa en porcentaje, estará determinado por la variedad y las condiciones edafoclimaticas, la caña se considera madura cuando esta entre el 90 % - 100 %, inmadura cuando esta menos del 90 % y sobre madura cuando está más del 100 %. Las variedades según su índice de madurez se pueden clasificar en variedades de madurez temprana, tardía e intermedia (Del Toro., et al 1990).

2.8 MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR

2.8.1 Requerimientos nutricionales de la caña de azúcar

Debido a que la caña de azúcar tiene un largo período reproductivo y máximos ciclos de crecimiento, el cultivo tiene también grandes requerimientos nutricionales, por lo que algunas industrias cañeras aplican grandes cantidades de fertilizantes para evitar deficiencias. (Coale et al 1993); evaluó la absorción estacional de la caña de azúcar, reportando que la cosecha de un total de 71% de materia seca; 55, 63, 64, 25 y 38% que correspondían a N, P, K, Ca y Mg respectivamente, fueron removidos del campo. Además, indican que el fósforo y el potasio removido del campo por la cosecha eran equivalentes a 179 y 201% respectivamente del P y K aplicado. (Barnes 1974) reportó que por tonelada de caña se remueven de 0,7 a 0,9 kg de N, 0,22 a 0,26 kg de P y 1,28 kg de K. En contraste, según (Clements H.1980), indica que por tonelada de caña cosechada se extraen 0,48 kg de N, 0,09 a 0,33 kg de P y 0,75 kg de K. Estas diferencias podrían deberse a la cantidad de basura (hojas y raíces) que se transportan al ingenio, a la edad de la planta a la cosecha, y a la diferencia en la absorción de nutrimentos entre variedades (Gascho et al. 1993).

Es bien conocido al igual que en otros cultivos, que los contenidos de nutrimentos en la caña de azúcar disminuyen con la edad de la planta y entre las diferentes partes que conforman la planta. Las concentraciones más altas de nitrógeno se dan en las plantas jóvenes y en los rebrotes y conforme se avanza en edad los contenidos decrecen debido a la producción de entrenudos con contenidos bajos de N. Las hojas también con la edad disminuyen la concentración de N, debido a la producción de tejidos estructurales y a la translocación de nutrimentos a meristemas activos.

La fotosíntesis es menos sensitiva que el crecimiento a la deficiencia de N. Como resultado, el azúcar se acumula en las hojas e internudos. Por esa razón no se aplica fertilizante nitrogenado previo a la cosecha para incrementar así la concentración de azúcar en el tallo (Clements 1980).

Según (Clements H 1980), propuso que la concentración de K en la caña de azúcar se expresara como porcentaje del contenido de agua en la planta y no en base a peso seco. El contenido de potasio en los tallos de la caña de azúcar aumenta con la edad, y los tejidos del tallo generalmente contienen más K total que las hojas verdes (Jones 1985). Como los tallos son los que se remueven del campo, la caña de azúcar tiene una alta demanda de potasio. Además, mucho del K removido del campo se concentra en ciertos subproductos que no son devueltos al campo.

2.8.2 Cosecha y rebrote.

La proporción de biomasa retenida como ceniza después que el cañal es quemado varía enormemente entre plantas y partes de la planta, indicando que estudios específicos son necesarios para investigar la pérdida de biomasa cuando los residuos de cosecha son quemados. El nitrógeno por ejemplo es un elemento que se encuentra en la fracción 114 orgánica y es convencionalmente considerado que se volatiliza cuando la biomasa se quema, mientras que se conoce que el P, K, Ca, Mg se concentra de 10 a 50 veces más en las cenizas que en la biomasa no quemada; pero, además, la pérdida de cenizas durante el quemado reduce la retención de nutrimentos en el suelo (Mitchell et al. 2000).

2.8.3 Requerimiento de agua

La transpiración del cultivo es muy afectada por la cantidad de radiación solar interceptada por la parte aérea del cultivo. Con un follaje completo del cultivo, la evapotranspiración potencial es máxima hasta que el 60-70% del total del agua disponible es removida del perfil de suelo según (Koehler et al. 1982). El tipo de suelo afecta enormemente la cantidad y distribución de agua disponible en el perfil del suelo. Muchos investigadores han reportado que la caña de azúcar puede extraer agua hasta 2,2 metros de profundidad. Sin embargo, más agua se extrae en un suelo arenoso profundo que en uno franco–arenoso o franco arcilloso. Otros factores que afectan el consumo de agua por el sistema radical, incluyen toxicidad por aluminio en el subsuelo y/o la presencia de capas u horizontes compactados que limitan el crecimiento radical disminuyendo la cantidad de agua disponible para la transpiración y aumentando la susceptibilidad del cultivo a la sequía.

2.8.4 Riego en caña de azúcar

La programación del riego en la industria azucarera debe efectuarse a través de un análisis combinado de parámetros: suelo (capacidad del suelo de retener humedad), fenología (etapas fenológicas de la caña de azúcar más sensibles al agua, clima (demanda hídrica de la caña de azúcar en función de la demanda climática y etapa fenológica) y criterios de manejo de la caña de azúcar (época de corte, manejo del suelo, aporte capilar, sistema de riego, entre otros), (Castro, 2005).

La programación del riego es una herramienta importante para mejorar la eficiencia y economía del riego. La eficiencia se logra al conseguir que el agua disponible sea oportuna en el momento que la caña de azúcar la requiera (¿Cuándo regar?) a la vez, que las cantidades de agua no causen estrés hídrico (¿Cuánto regar?). La economía se obtiene al establecer programas de riego con frecuencias y tiempos de riego acordes al tipo de suelo, fenología de la caña de azúcar y estrato altitudinal (Castro, 2009).

2.9 FORMULAS AGROFINANCIERAS DE PROYECTOS DE INVERSION

La teoría financiera nos brinda una gran gama de herramientas para la evaluación y selección de proyectos, siendo las más utilizadas las basadas en el descuento de flujos de efectivo, Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno/Rendimiento (TIR). Según (Mete R 2014).

2.9.1 Valor Actual Neto (VAN)

El Valor Actual Neto de un proyecto es el valor actual/presente de los flujos de efectivo netos de una propuesta, entendiéndose por flujos de efectivo netos la diferencia entre los ingresos periódicos y los egresos periódicos. Para actualizar esos flujos netos se utiliza una tasa de descuento denominada tasa de expectativa o alternativa/oportunidad, que es una medida de la rentabilidad mínima exigida por el proyecto que permite recuperar la inversión, cubrir los costos y obtener beneficios. Para su cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$VAN = \left[\sum_{t=1}^n FE(t) * (1+i)^{-(0-t)} \right] + I(0)$$

Fuente: Mete R. 2014.

Donde:

TIR: Tasa Interna de Rendimiento/Retorno

VAN: Valor Actual Neto

FE (t): flujo de efectivo neto del período t

n: número de períodos de vida útil del proyecto Dado el siguiente flujo de fondos, según (Mete R. 2014).

2.9.1.1 Criterio de aceptación del VAN

Si el Valor Actual Neto de un proyecto independiente es mayor o igual a 0 el proyecto se acepta, caso contrario se rechaza. Para el caso de proyectos mutuamente excluyentes, donde debo optar por uno u otro, debe elegirse el que presente el VAN mayor. Según (Mete R. 2014).

2.9.2 Tasa interna de rendimiento/retorno (TIR)

Es otro criterio utilizado para la toma de decisiones sobre los proyectos de inversión y financiamiento. Se define como la tasa de descuento que iguala el valor presente de los ingresos del proyecto con el valor presente de los egresos. Es la tasa de interés que, utilizada en el cálculo del Valor Actual Neto, hace que este sea igual a 0. Para su cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$\sum_{t=0}^n FE / (1 + TIR)^t = VAN = 0$$

Fuente: Mete R. 2014.

Donde:

TIR: Tasa Interna de Rendimiento/Retorno

VAN: Valor Actual Neto

FE (t): flujo de efectivo neto del período t

n: número de períodos de vida útil del proyecto según (Mete R. 2014).

2.9.2.1 Criterio de aceptación del TIR

Proyectos independientes: surge de la comparación entre la TIR y la tasa de expectativa o alternativa/oportunidad. Si la TIR es mayor a la tasa de expectativa, el proyecto es financieramente atractivo ya que sus ingresos cubren los egresos y generan beneficios adicionales por encima de la expectativa o alternativa. Si la TIR es menor a la tasa de expectativa, el proyecto no es financieramente atractivo ya que hay alternativas de inversión que pueden generar mejores resultados. Según (Mete R. 2014).

2.10 INFOSTAT SOFTWARE ESTADISTICO

InfoStat es un software estadístico desarrollado por un equipo de trabajo conformado por docentes-investigadores de Estadística y Biometría y de Diseño de Experimentos de la Universidad Nacional de Córdoba (FCA-UNC). Según (Di Rienzo et al 2010).

CAPITULO III

METODOLOGÍA

Cuadro 5. Matriz de Operacionalización de las variables de la Investigación.

Objetivo Especifico	Variable	Conceptualización	Operacionalización	Instrumentalización	Indicadores
Analizar las condiciones agroclimáticas, topográficas, edáficas e hídricas de la zona en estudio con el fin de usarlo racionalmente el recurso, en el desarrollo del experimento mediante el potencial productivo de la caña de azúcar variedad LAICA 12- 339, durante el año 2019.	Datos diarios Agroclimáticos	¿Cómo se interpretan las condiciones Agroclimáticas experimental?	Mediciones diarias de Temperaturas, precipitación, humedad relativa, radiación solar y evapotranspiración potencial etc.	Fuente primaria de estación meteorológica durante el 2019.	Parámetros diarios de la estación meteorológica
Implementar un plan de riego usando un poliducto tipo polipay de 16 pulgadas, para su manejo de dos láminas de riegos que presenten un agotamiento hídrico en el suelo con 35% y 70% de humedad en el suelo, para cada tratamiento relacionado con su crecimiento y desarrollo productivo de la planta variedad LAICA 12- 339, durante el año 2019.	% de Agotamiento de humedad en el suelo	¿Qué es un % de agotamiento en el suelo? ¿Qué es un poliducto tipo polypipe? ¿Qué es una lámina de riego? ¿Qué es frecuencia de riego? ¿Qué es infiltración de riego?	Medición de humedad antes y después del riego. Establecimiento de poliducto de 16 pulgadas tipo polypipe y riego con el mismo por aberturas por surco. Determinación a través de fórmula de riego. Determinación a través de fórmula de riego.	Ficha bibliográfica y fuente secundaria. Cantidad en metros, precio y fuente secundaria. Ficha bibliográfica y fuente secundaria Precio del agua y riego. Ficha bibliográfica y fuente secundaria Ficha bibliográfica y fuente secundaria Ficha bibliográfica y fuente secundaria	% de humedad en el suelo. L/seg agua en conducción. mm de agua aplicada. Número de Días para la aplicación de riego m/s de riego en una distancia lineal.

		<p>¿Qué es un tiempo de avance de riego?</p> <p>¿Qué es Kc?</p> <p>¿Qué es la evapotranspiración?</p>	<p>Determinación a través de fórmula de riego.</p> <p>Fenología del cultivo para determinar el requerimiento hídrico.</p>	<p>Ficha bibliográfica y fuente secundaria</p>	<p>mm/hr infiltrados</p>
<p>Evaluar plan de fertilización potásica mediante una formulación balanceada para el nitrógeno y fósforo en cada tratamiento con el fin de conocer sus efectos en el crecimiento y rendimiento de azúcar en la planta variedad LAICA 12- 339, durante el año 2019.</p>	<p>Dosis de fertilización potásica</p>	<p>¿Qué es un plan de fertilización?</p> <p>¿Formulación balanceada de fertilización potásica?</p>	<p>Cantidad de kilogramos de nitrógeno y fosforo balanceados aplicados por tratamientos.</p> <p>Diferentes dosis de fertilización potásica por tratamientos.</p>	<p>Ficha bibliográfica y fuente secundaria</p> <p>Ficha bibliográfica y fuente secundaria</p>	<p>Kg de Nitrógeno y fosforo por tratamientos</p> <p>Kg de fertilizante potásico</p>
<p>Analizar parámetros biométricos de la planta del grosor del tallo, longitud del tallo, altura de la planta, peso del tallo y % de grados Brix (sacarosa) mediante la fenología de crecimiento de la planta, en cada uno de los tratamientos potásicos y láminas de</p>	<p>Crecimiento de la planta de caña de azúcar</p>	<p>¿Qué es la variedad de caña de azúcar LAICA 12- 339?</p> <p>¿Qué son parámetros de crecimiento en la planta de caña de azúcar?</p>	<p>Morfología y fisiología de la variedad LAICA 12- 339.</p> <p>Tallo, grosor y longitud.</p> <p>Parámetros productivos por tratamientos.</p>	<p>Ficha bibliográfica y fuente secundaria</p> <p>Cinta métrica y pie de rey.</p> <p>Laboratorio de la agroindustria (Ingenio).</p> <p>Refractómetro y Laboratorio de la Agroindustria.</p>	<p>Cada 30 días.</p> <p>En cm, mm y cm.</p> <p>Kg de Caña de azúcar de campo</p>

riego a nivel del suelo, , durante el año 2019.		¿Qué es cosecha en la caña de azúcar? ¿Qué es el % de grados Brix?	Cantidad de solutos presentes en forma de sacarosa.		Kg de Sacarosa de Campo % Brix de azúcar
Evaluar los resultados de producción de campo de la caña de azúcar variedad LAICA 12- 339, a nivel financiero como el VAN y TIR, con respecto a los rendimientos para cada dosis de fertilización potásica y láminas de riego con el fin de la obtención económica del proyecto experimental, durante el año 2019.	Datos financieros	¿Qué son datos de producción de campo? ¿Qué es el VAN y TIR financiero?	Resultados en kg o ton de campo por tratamientos. Mediciones de rentabilidad de un proyecto.	Peso de romanas de la agroindustria. Calculo con fórmulas financieras	Cantidad de colones medibles en VAN y % de tasa de interés TIR.

Esta investigación presenta un enfoque de tipo cuantitativo con un paradigma positivista, de acuerdo al diseño que se utilizó para la evaluación de la aplicación de potasio en suelo Molisol fue de bloques completamente al azar, con cuatro dosis de potasio más dos láminas de riego como tratamientos y cuatro bloques que correspondieron las repeticiones, tomando en cuenta las condiciones del terreno.

El análisis estadístico de las variables rendimiento en toneladas de caña de azúcar por hectárea y kilogramos de azúcar por hectárea se llevó a cabo mediante un análisis de varianza (ANOVA), Prueba de Tukey ($p > 0,05\%$) realizado por medio del paquete estadístico INFOSTAT.

Cuadro 6. Materiales y Métodos

MATERIALES	MÉTODOS
<p>Materiales Físicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Machete • GPS • Piola • Cinta métrica • Tractor • Implemento agrícola (arado) • Implemento agrícola (micro nivelación) • Poliducto polypipe • Estacas • Pie ray • Refractómetro • Calculadora • Balanza • Estufa • Cuaderno • Lápiz 	<p>Estación meteorológica.</p> <p>Fórmulas matemáticas.</p> <p>Formulas topográficas.</p> <p>Fórmulas agronómicas edáficas para suelo.</p> <p>Laboratorio de suelo.</p> <p>Formulas agrícolas de riego, métodos de infiltración de suelos, métodos de aforo tipo molinete, método de parchall y mediciones de humedad de suelo en laboratorio.</p> <p>Paquete de software de Excel.</p> <p>Paquete Estadístico Infostat.</p>
<p>Materiales Químicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Análisis químico de suelo • Fertilizante Urea • Fertilizante Fosfato Diamónico • Fertilizante Cloruro de potasio 	<p>Fórmulas agronómicas edáficas para suelo y análisis e interpretación de muestras de suelos.</p>
<p>Materiales Biológicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Semilla de caña de azúcar variedad LAICA 12- 339 	<p>Fórmulas matemáticas</p> <p>Paquete de software de Excel.</p>

3.1 Plan de la recolección de la información de acuerdo a los objetivos de la Investigación.

3.1.1 Instrumentos de recolección

La presenta investigación utilizó los siguientes instrumentos:

- Una libreta, lápiz y lapicero.
- Computadora portátil
- Dispositivos como cámara fotográfica, aplicaciones en la App Iphone.
- bases de datos meteorológicas, citas de referencias y laboratorio de suelo.

3.1.2 Planteamiento de trabajo para el cumplimiento

La presente investigación utilizó los siguientes planteamientos:

- Se revisó de manera crítica la información recogida, es decir limpieza de información defectuosa o contradictoria, incompleta, no pertinente entre otras.
- Se tabularon los cuadros según variables de la hipótesis propuesta.
- Se representó gráficamente.
- Se analizó los resultados estadísticos de acuerdo con los objetivos e hipótesis planteados.
- Se interpretó los resultados, con apoyo del marco teórico, en el aspecto pertinente
- Se comprobó y verificó la hipótesis
- Se estableció las conclusiones y recomendaciones.

3.2 UBICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL EXPERIMENTO

3.2.1 Experimento de campo

Se ubicó en la finca de la Universidad Técnica Nacional Sede Guanacaste, del distrito San Miguel, Cantón Cañas de la provincia de Guanacaste. La ubicación geográfica del sitio experimental es la siguiente, altitud de 9 msnm, latitud N 10° 19, 5.7' y longitud W 85° 08, 55'. Con una precipitación media anual de 1010.92 mm, y una temperatura media diaria de 27.18 °C. La finca de la UTN tiene una totalidad de 702 ha, el suelo pertenece al orden Mollisol, textura francosa fina estos suelos tienen una secuencia de horizontes A-B-C van de 0 -90 cm de profundidad, es de textura franco limoso. Según Holdridge, esta finca se ubica en la zona de vida bosque tropical seco, caracterizado por dos estaciones climáticas, una seca y otra lluviosa. Dentro de esta zona de vida existen varias asociaciones vegetales, muy diferentes unas de otras, determinadas especialmente por las características del suelo, incluyendo drenaje y contenido de humedad por (Valerio, 1998). La geología de la zona está compuesta de cerros formados por rocas sedimentarias y las partes bajas de topografía plana son depósitos aluviales de los ríos que riegan la zona (Alfaro, 2005).

El análisis físico químico del suelo del sitio experimental se realizó en el laboratorio del CIA UCR, lo cual se puede observar:

pH:6.6, % M.O: 2.12, Ca: 19.33 meq/100 g, Mg 7.37 meq/100 g, K: 0.68 meq/100 g,

CICE: 27.50 meq/100 g, P: 28 ppm, Zn: 2.8 ppm. Cu: 12 ppm, Fe: 70 ppm y Mn: 28 ppm.

3.2.2 Variedad

La variedad de caña de azúcar referente para el estudio fue LAICA 12 - 339, variedad genética de producción nacional, sus características morfológicas y agronómicas son las siguientes: Es una variedad de crecimiento semirrecta, con tallos de grosor medio, de espaje regular, baja floración, rendimientos industriales excelentes y producción de toneladas por hectáreas media.

3.2.3 Manejo agronómico

En el lote experimental se realizaron labores de chapea, rastreo y nivelación de suelo con land plane (micro nivelación en el suelo de estudio), el distanciamiento entre surcos fue de 1.5 m, la siembra se realizó el 12 de diciembre del 2018. El primer riego de germinación se realizó 10 días después de la siembra. El manejo agronómico del experimento se realizó según las practicas realizadas en las plantaciones de caña de azúcar de la finca.

El lote experimental en la finca de la UTN, nunca se ha utilizado para el desarrollo de cultivo de la caña de azúcar, anteriormente este fue utilizado para cultivo de arroz, higuera, maíz. Este se preparó con tres pasadas con ayuda de maquinaria e implemento del uso de la rastra y una nivelación de terreno con una micro nivelación. Se sembró la variedad LAICA 12- 339, en un área de 1.03 ha; se sembró un total de 9.5 toneladas de caña tipo esquejes o tallos (semilla tipo asexual vegetativa). Se conforma con implemento agrícola land plane, además de la conformación de levantados de muros y divisiones de los cuatro cuadrantes.

La unidad muestral o experimental representan cuatro cuadrantes al azar con un área de 2587.50 m², cada cuadrante tiene una distribución de 23 surcos proporcionalmente linealmente entre 1.5 metros de ancho por 75 metros longitudinales.

La investigación comprendió la aplicación de cuatro dosis de fertilización potásica (60,100,140 y 180 kg K₂O), y la interacción de 2 láminas de riego (2,293 cm y 4,586 cm). La aplicación del fertilizante se realizó con una abonadora mecánica a una profundidad de 20 cm en el suelo, 40 días después de la siembra.

Durante el periodo de cosecha se cortó de forma manual por el Ingenio Taboga, el día 26 de enero del 2020. Teniendo una edad la caña de azúcar de 13 meses. El día anterior se logró quemar la caña de azúcar de la variedad cañera LAICA 12- 339.

3.2.4 Tratamientos de Riego

Se consideraron dos condiciones de humedad en el suelo.

- 35% de Agotamiento de humedad en el suelo: el riego se aplicó del tipo por gravedad con un pendiente de 0.30%, utilizando poliducto tipo polypipe con agujeros de 1 ¼” por surco, de forma continua hasta los 6 meses de edad de la caña de azúcar. Con respecto a la programación de riego fue aplicada de acuerdo al balance hídrico, utilizando un factor de Kc: 0.4 (0-6) meses, según Priestley y una lámina de riego de 2,293 cm (agua disponible de acuerdo a la condición de capacidad de campo del suelo), representando 229,34 m³/ha de agua, en el horizonte (Ap) 20 cm de profundidad en el suelo Mollisol de textura franco limosa, con intervalos de consumo hídrico mensual (frecuencia en días de riego). con un tiempo de riego por inundación para esta lámina aplicada representa 9,683 minutos, partiendo de un estado de suelo seco.
- 70% de Agotamiento de humedad en el suelo: el riego se aplicó del tipo por gravedad con un pendiente de 0.30%, utilizando poliducto tipo polypipe con agujeros de 1 ¼” por surco, de forma continua hasta los 6 meses de edad de la caña de azúcar. Con respecto a la programación de riego fue aplicada de acuerdo al balance hídrico, utilizando un factor de Kc: 0.4 (2-4) meses y un lamina de riego de 4,586 cm, representando 458,64 m³/ha en el horizonte (A12) 40 cm de profundidad en el suelo Mollisol de textura franco limosa. con intervalos de consumo hídrico mensual (frecuencia en días de riego), con un tiempo de riego por inundación para esta lámina aplicada representa 2.58 horas, partiendo de un estado de suelo seco.

El planeamiento del balance hídrico es semejante a la parte contable de un proyecto, donde se estima el cambio de humedad del suelo (Ingresos – Egresos), representando el ingreso a la aplicación hídrica en forma de riego y precipitación y los egresos representan a la evaporación del suelo y transpiración del cultivo de la caña de azúcar, resumida en una sola variable llamada Evapotranspiración (ET_o) mm/día luego multiplicada por un factor Kc de la etapa fenológica del cultivo de la caña de azúcar (0,4) según Ojeda et al 1999, de acuerdo con cada tratamiento del ensayo con la condición de humedad del suelo. La lamina hídrica en el suelo representa la cantidad almacenada durante el día después de sumar el cambio de humedad de suelo (Ingresos-Egresos).

La importancia de la lámina de agua aprovechable radica en el total de agua disponible para el cultivo de la caña de azúcar para la variedad LAICA 12- 339, ubicada en el sistema

radicular en el suelo, se obtuvo de acuerdo al contenido de humedad del suelo a capacidad de campo, el contenido de humedad del punto de marchitamiento permanente, la densidad aparente en el suelo y la profundidad radicular efectiva, esta va a depender del desarrollo del estado del cultivo (fenología), la lámina de agua aprovechable se tomó la profundidad de radicular del horizonte A del suelo Mollisol, (Ap: 20 cm y A12 a 40 cm) % de agotamiento 35 y 70 % de humedad en el suelo, al inicio del desarrollo del cultivo según (Morales M 2019).

LAA (mm): $((C.C\% - PMP\% / 100) \times Da(g/cm^3) \times Pr (mm))$.

Se tomó información de la calicata número 4, mismo suelo Mollisol de la tesis de la Maestría de Riego del Establecimiento de un plan de riego para las áreas de docencia, investigación y producción de la finca de la Universidad Técnica Nacional, sede Guanacaste. Universidad de Costa Rica según (Araya A. 2009).

Para el establecimiento del cultivo de la caña de azúcar de la variedad LAICA 12- 339; luego de la siembra se suministraron dos riegos normales de germinación de la planta de la caña de azúcar, a partir de esta el manejo del riego se realizó con base al balance hídrico para un agotamiento de 35% y 70% de humedad en el suelo.

Las precipitaciones inician a partir de junio del 2019. Con esta agua diaria satisface los requerimientos hídricos para la planta de la caña de azúcar de la variedad LAICA 12- 339. La precipitación anual en el ciclo fisiológico y morfológico para el cultivo de la caña fue de 1010.92 mm, los riegos se suspendieron a partir del quinto mes del año de ahí en adelante no se le aplica riego durante el invierno luego en noviembre y diciembre no existe riego para favorecer la maduración y concentración de sacarosa incrementándose la misma según mediciones de % Brix mensual.

A lo largo del desarrollo del ensayo se registró las condiciones agroclimáticas como la precipitación, evaporación, temperaturas, radiación solar, humedad relativa entre otras; de la estación meteorológica del Ingenio Taboga, está ubicada a 4 km de distancia del experimento.

3.2.5 Diseño experimental

El área total del experimento fue de 1.03 hectáreas, donde la unidad experimental principal correspondiente a las dosis de potasio correspondió a 1800 m² y la subunidad experimental proporcionada de los % de agotamiento de humedad en el suelo fue de 900 m². En el experimento se evaluó el % de tolerancia hídrica de la caña, según los tratamientos establecidos de humedad en el suelo y dosis de potasio.

Como información adicional se determinó parámetros biométricos como las siguientes, altura de la planta, altura del tallo, grosor del tallo y % Brix, las anteriores medidas después del

macollamiento del cultivo de caña de azúcar para la variedad LAICA 12 - 339 a partir del cuarto mes en crecimiento (correspondiendo el mes de abril), se tomó 2 muestras por surco para cada franja compuesta por 8 surcos mensuales.

3.2.6 Variables de Productividad y eficiencia en el uso del agua.

3.2.6.1 Producción en toneladas de caña por hectárea y kg de azúcar por toneladas.

La cosecha se realizó a los 13 meses de edad, la planta de la caña de azúcar estado de maduración completa; en cada parcela de 900 m² se determinó las toneladas y el contenido de sacarosa por toneladas por hectárea; se determinó siguiendo la metodología de CeniAD según (Amaya et al 2001), para la cual se tomaron al azar 2 muestras de 8 tallos por parcela de % de agotamiento; en el laboratorio de análisis de tallos de caña de azúcar del Ingenio Taboga, las muestras se desfibraron y homogenizaron, luego se tomó en peso 500 gramos para su análisis respectivos de la sacarosa.

3.2.6.2 Eficiencia del uso del agua

La cantidad de agua utilizada por la caña de azúcar para la variedad LAICA 12- 339; producto de los diferentes riegos aplicados a través del poliducto polypipe por abertura de surco en promedio un vertido de 1.4 L/s y posteriormente convertidos en metros por segundos; en la producción de caña de azúcar por tonelada como rendimientos de campo.

3.2.7 Análisis estadístico ANDEVA

De acuerdo a (Fallas, 2012), menciona que el análisis de varianza permite analizar el efecto de una o más variables o categorías en varios datos. Cada tratamiento puede tener varias observaciones o por el contrario tener una única observación por tratamiento. ANDEVA de un factor cuando se requiere saber si las medias de una variable son diferentes entre los niveles o grupos de otra variable.

Se realizó un análisis descriptivo y cuantitativo mediante el análisis estadístico INFOSTAT, el cual permitió utilizar un modelo lineal estadístico por medio de un paquete de software, fue el siguiente para cada una de las variables consideradas ANOVA, CV y prueba de Tukey (0.5%). Mediante el análisis estadístico INFOSTAT se identificaron las variables que permitieron diferenciar en la variedad LAICA 12- 339, el uso eficiente de la tolerancia hídrica de la caña de azúcar, en las diferencias de toneladas de campo para cada tratamiento y toneladas de sacarosa a nivel de la agroindustria.

CAPITULO IV

RESULTADOS y DISCUSIÓN

4.1 ANALISIS AGROCLIMATICO DE LA CAÑA DE AZUCAR VARIEDAD LAICA 12- 339.

Se analizó las condiciones agroclimáticas de la zona en estudio del experimento, en el cultivo de la caña de azúcar variedad LAICA 12.339 a continuación, se detalla la información.

Cuadro 7. Datos Mensuales de la Precipitación (mm), Eto mm y ETc mm por la Estación Meteorológica del Ingenio Taboga, para la variedad LAICA 12- 339, durante el año 2019.

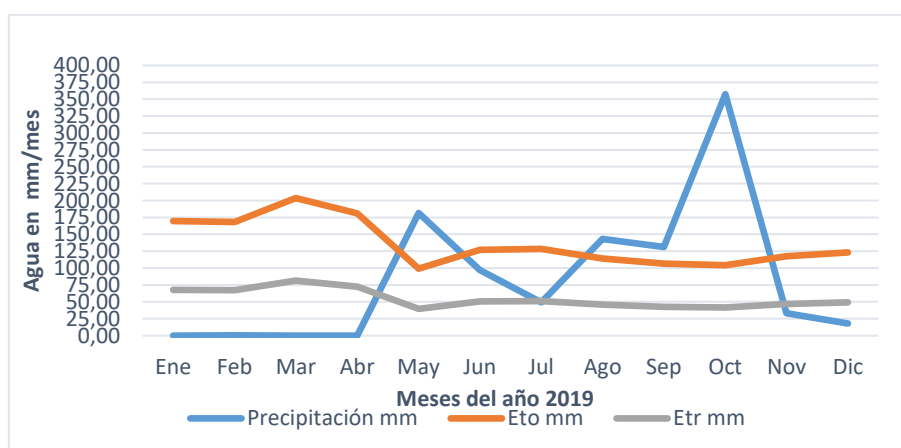
Año 2019	Precipitación mm	Eto mm	Etc mm
Ene	0.00	169.56	67.82
Feb	0.50	168.29	67.32
Mar	0.00	203.65	81.46
Abr	0.00	180.80	72.32
May	181.40	99.16	39.66
Jun	96.93	127.18	50.87
Jul	49.19	128.30	51.32
Ago	143.19	114.38	45.75
Sep	131.11	106.41	42.56
Oct	357.37	104.33	41.73
Nov	33.23	117.38	46.95
Dic	18.00	123.17	49.27

Fuente: Ingenio Taboga 2019.

Observación: La ubicación de la Estación Meteorológica digital Ingenio Taboga, con respecto a la unidad experimental de la variedad LAICA 12- 339 finca UTN, se localizó a una distancia de 4 km.

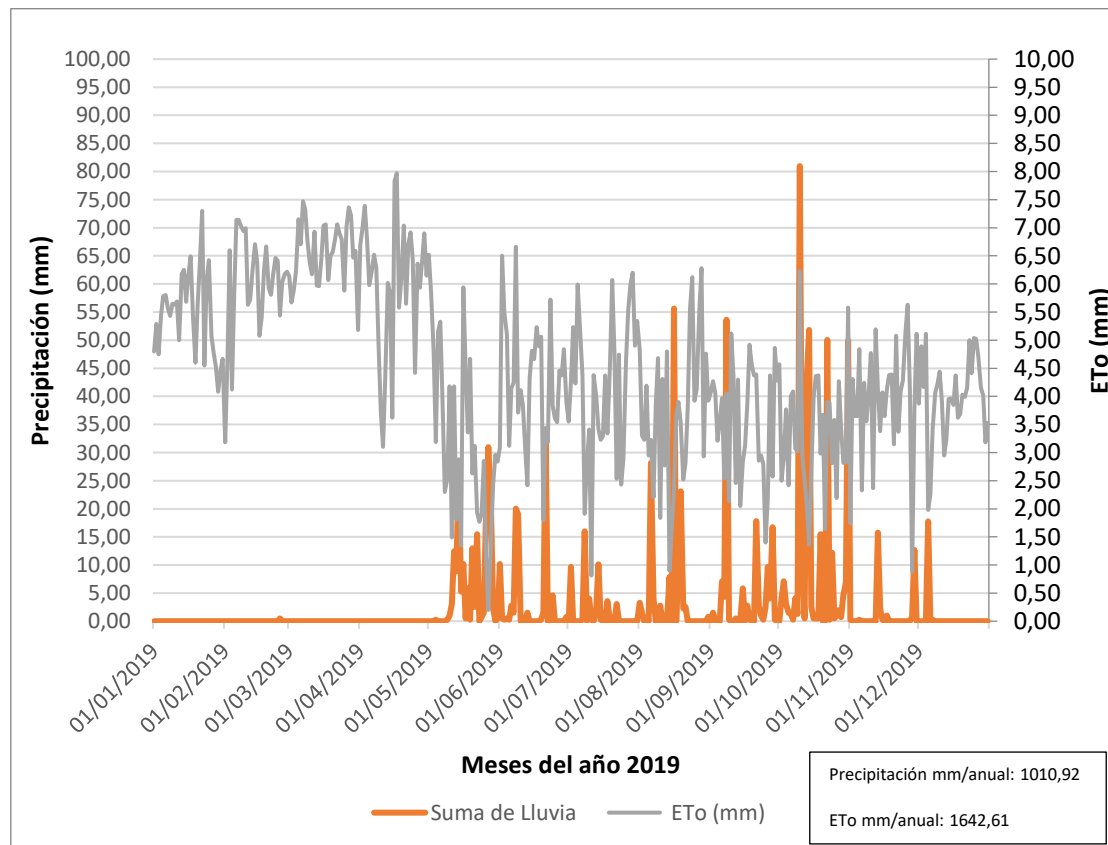
La información cuadro N° 7 y sus condiciones agroclimáticas de la zona, se relaciona con su fenología del cultivo en su crecimiento y la producción de sacarosa de la planta en la variedad específica; cuando se cosechó cada tratamiento de la unidad experimental.

Gráfica 1. Datos mensuales en la Precipitación (mm), Evaporación Potencial (mm) y Evaporación Real obtenidos de la Estación Meteorológica del Ingenio Taboga para el cultivo de caña de azúcar variedad LAICA 12- 339, durante el año 2019.



En la gráfica 1. Nos indicó que la precipitación, la evaporación potencial y la evaporación real se ha estimado en un 80% del agua es perdida por acción de la energía solar, un 14% se pierde por efecto del viento y un 6% se pierde por acción de la temperatura y la humedad. Según (sugarcane 2016). para el cultivo la caña de azúcar variedad LAICA 12-339; se dieron mayores pérdidas hídricas atmosféricas en época seca, por la ETo hasta 225 mm y la ETc hasta 75 mm mensual en el mes de marzo, mientras las lluvias se estabilizan la ETo llega hasta 125 mm y la ETc hasta 50 mm; en el mes de mayo, luego se estabilizan paralelamente al eje x, según la gráfica 1, en la época lluviosa, donde las altas velocidades de viento, superiores a 60 km/hora, son perjudiciales para cañas ya crecidas, al causar la tendadura y el rompimiento de las cañas. Además, el viento favorece la pérdida de humedad de las plantas, agravando así los efectos dañinos del estrés hídrico según (sugarcane 2016).

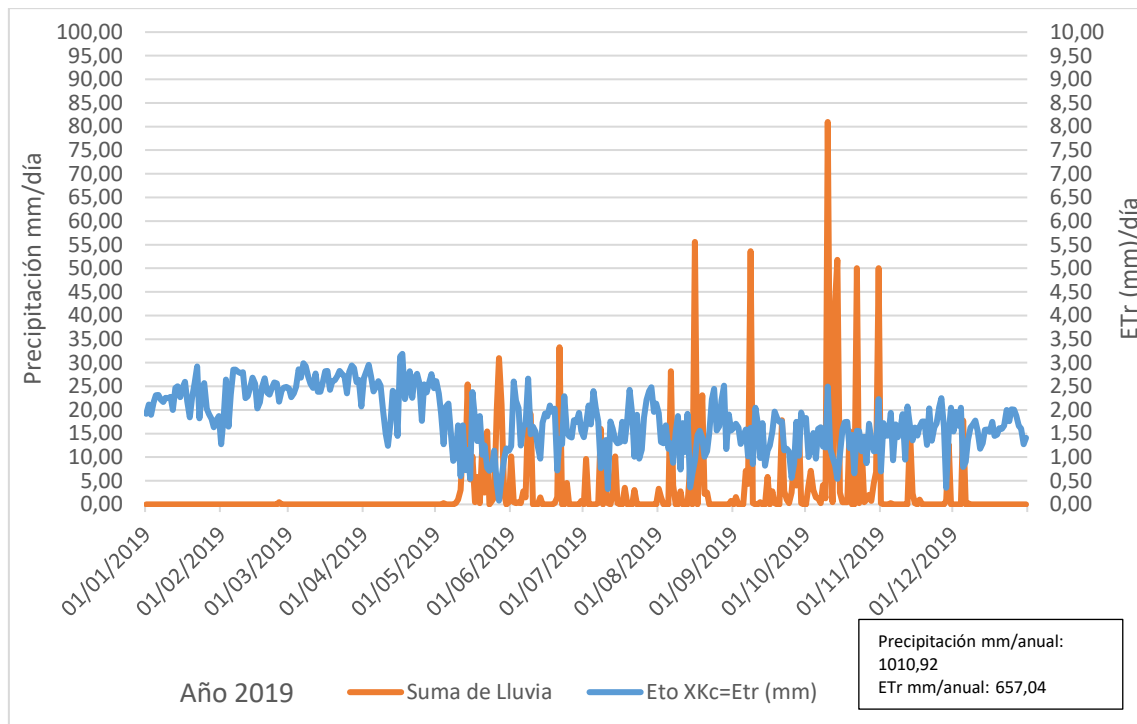
Gráfica 2. El Efecto de las ETo (mm) y la Precipitación diaria (mm) en el cultivo de la caña de azúcar variedad LAICA 12- 339 en el ensayo, durante el año 2019.



En la Gráfica 2. Nos indicó que la evapotranspiración de referencia o potencial ETo (mm), es un parámetro relacionado con el clima que expresa el poder evaporante de la atmósfera, según (Avalos J y Pacheco J 2012). Para el estudio experimental indicó en el cultivo de la caña de azúcar variedad LAICA 12- 339, manifestó un comportamiento durante el año 2019, la ETo/diaria con tendencia a aumentar de enero a mayo, de 3 a 7.5 mm/diario en la época seca y luego baja

ligeramente en junio, debido a la disminución de la evapotranspiración potencial de la zona estudiada, en la época lluviosa, donde son inversamente proporcional una de la otra.

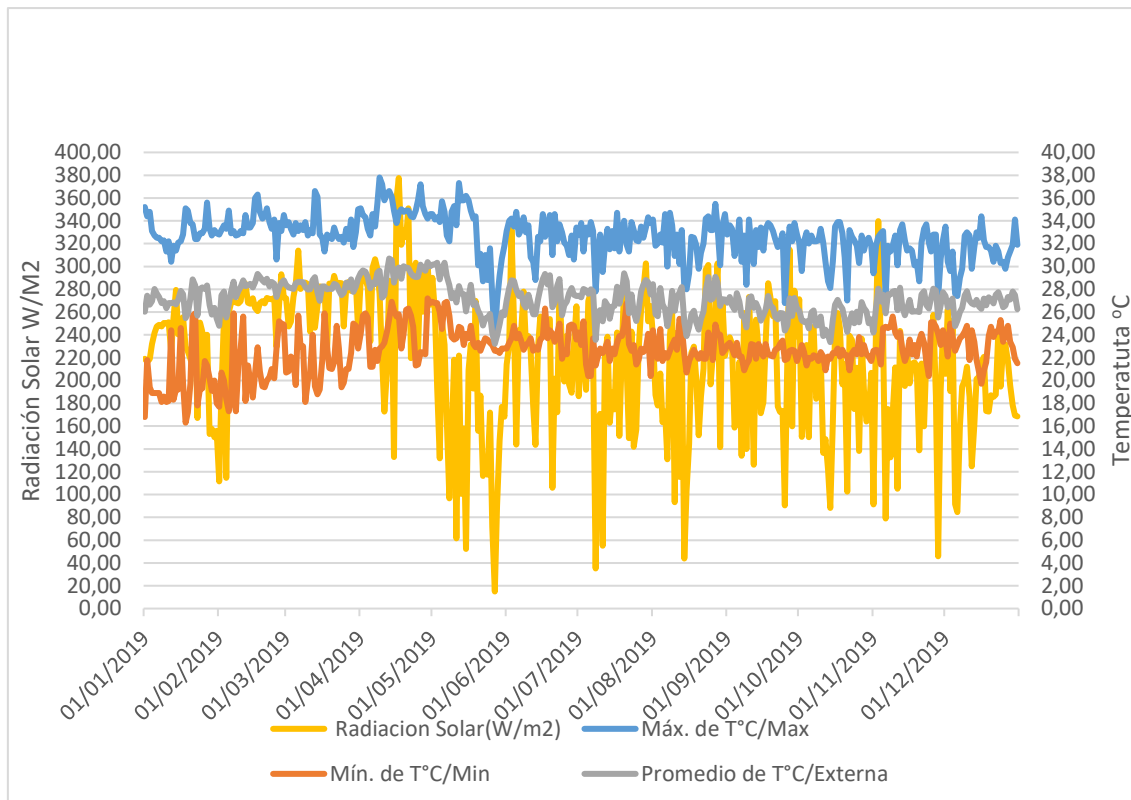
Gráfica 3. El efecto en las E_{Tc} (mm) y la Precipitación diaria (mm) en el cultivo de la caña de azúcar variedad LAICA 12- 339 en el ensayo, durante el año 2019.



La grafica 3. Nos indicó la relación entre la E_{Tr} y las precipitaciones en el cultivo de la caña de azúcar variedad LAICA 12- 339; donde las condiciones agroclimáticas para este cultivo están para que se desarrollen en campos extensos, bajo condiciones agronómicas excelentes y sin limitaciones de humedad en el suelo. La evapotranspiración de un cultivo, será diferente a la del cultivo de referencia (E_{To}) en la medida en que sus características de cobertura del suelo, propiedades de la vegetación y resistencia aerodinámica difieran de las correspondientes al cultivo. Los efectos de las características que distinguen al cultivo están incorporados en el coeficiente del cultivo (K_c). En la metodología del coeficiente del cultivo, la evapotranspiración del cultivo se calcula multiplicando E_{To} por K_c. Según la (FAO).

Las mismas se refieren a la evapotranspiración de un cultivo que se desarrolla libre de enfermedades, con buena fertilización, que crece en un campo extenso bajo condiciones óptimas de humedad en el suelo y la cual alcanza su producción total bajo ciertas condiciones climáticas. Según la (FAO). Donde la E_{Tr} del año 2019, en la época seca, entre enero a mayo anduvo de 1 a 3 mm/diario. Pero conforme inician las precipitaciones en la zona, la misma disminuye en época lluviosa entre 0.5 a 2 mm/diario, para el cultivo de la caña de azúcar variedad LAICA 12- 339.

Gráfica 4. El efecto de la radiación solar en (W/m²) y las temperaturas mínima, máxima y media en el cultivo de la caña de azúcar variedad LAICA 12-339 en el ensayo, durante el 2019.

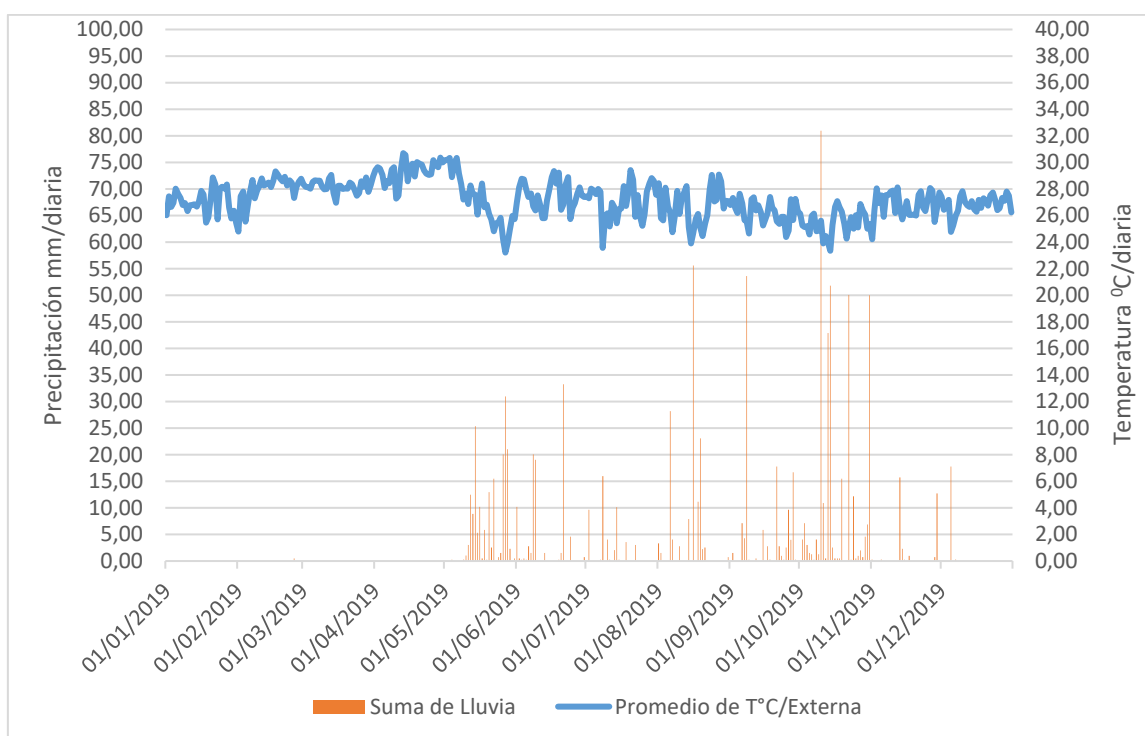


En la gráfica 4. Nos indicó, la relación del efecto de la radiación solar y las temperaturas, donde el comportamiento de la caña de azúcar es una planta que adora el sol. Crece bien en áreas que reciben energía solar de 18-36 MJ/m². Por ser una planta C4 la caña de azúcar es capaz de altas tasas fotosintéticas y este proceso tiene un alto valor de saturación de luz. El ahijamiento es influenciado por la intensidad y la duración de la radiación solar. Una alta intensidad y larga duración de la irradiación estimulan el ahijamiento, mientras que las condiciones de clima nublado y días cortos lo afectan adversamente. El crecimiento del tallo aumenta cuando la luz diurna se extiende entre 10-14 días. El incremento del índice de área foliar es rápido durante el tercer y quinto mes de crecimiento, coincidiendo con la fase formativa del cultivo, y alcanza los valores máximos al comienzo de la fase del gran crecimiento. Según (sugarcane). La radiación total promedio interceptada por un cultivo de caña en un ciclo de crecimiento de 12 meses ha sido estimada en 6350 MJ/m². Cerca del 60% de esta radiación es interceptada por el follaje, durante la fase formativa y en la fase del gran crecimiento. Según (sugarcane)

El crecimiento está directamente relacionado con la temperatura. Donde la temperatura óptima para la brotación (germinación) de los esquejes es 32°C a 38°C. La germinación disminuye bajo 25°C, llega a su máximo entre 30-34°C, se reduce por sobre los 35°C y se detiene cuando la temperatura sube sobre 38°C. Temperaturas sobre 38°C reducen la tasa de fotosíntesis y aumentan la respiración. Por otro lado, para la maduración son preferibles temperaturas relativamente bajas,

en el rango de 12-14°C, ya que ejercen una marcada influencia sobre la reducción de la tasa de crecimiento vegetativo y el enriquecimiento de azúcar de la caña. A temperaturas mayores la sacarosa puede degradarse en fructosa y glucosa, además de estimular la fotorespiración, que produce una menor acumulación de azúcares. Según (sugarcane). Por ende, en todo el desarrollo y crecimiento de la planta de caña de azúcar durante el estudio experimental de la variedad tipo LAICA 12- 339, la temperatura oscilo muy estable durante todo el año entre los 22 y 38 °C, mientras que la radiación solar de la misma forma, oscilo de 20 a 380 w/m², donde es más altas en la época seca con respecto a la época lluviosa del año.

Gráfica 5. La relación de la precipitación mm/diaria y su temperatura media °C/diaria en el cultivo de la caña de azúcar variedad LAICA 12- 339, en el ensayo durante el año 2019.



En la gráfica 5. Nos indicó la relación que existe entre la precipitación media y la temperatura media, registrando una precipitación durante el año 2019 de 1010.90 mm de lluvias, con una disminución de las lluvias entre los meses de julio a agosto conocido como veranillo de San Juan o Canícula, el acumulado de las lluvias se concentran de junio a noviembre siendo los meses más lluviosos agosto a octubre. El comportamiento anual de la precipitación en cuanto a su distribución y acumulación, juega un papel fundamental sobre la producción en las plantaciones de caña de azúcar, según (Vargas J 2011). Donde se reafirma con esta grafica 5, su distribución de la lluvia. Las temperaturas óptimas para diferentes etapas del desarrollo de este cultivo son: para la germinación entre 32 °C y 38 °C, para el macollamiento 32 °C y para el crecimiento 27 °C. Según (MAG 1991). La temperatura media diaria anual se mantuvo en un rango de 24 a 30 °C, observamos que en la época seca con cero lluvias la temperatura fue más

alta entre los 26 a 30 °C mientras que la época lluviosa la temperatura se encontró entre los 24 y 28 °C siendo está más baja que en la época seca. La planta utiliza entre 148 a 300 g de agua para producir 1 g de materia seca, según sugarcane. La caña de azúcar requiere altas temperaturas durante el período de crecimiento y bajas temperaturas durante el período de maduración en la formación de azúcares.

4.2 ANALISIS AGRICOLA DE LA CAÑA DE AZUCAR DE LA VARIEDAD LAICA 12-339

Se desarrolló un estudio experimental agronómico y agrícola de la variedad LAICA 12-339, en la finca de la UTN. De acuerdo al método y materiales usados y establecidos para su ejecución e implementación.

4.2.1 RESULTADO DE MUESTREO DE SUELO FRANCO LIMOSO DEL ORDEN MOLLISOL

Se tomó muestra del lote experimental de forma compuesta representativa en toda la 1.03 ha, de los 4 cuadrantes, cada uno con 2587.50 m², luego se procedió a su análisis edáfico de forma química en el laboratorio del CIA UCR, este se interpretó forma agronómica, el análisis químico del suelo y se procedió a realizar el balance nutricional del ensayo, en relación de la variable el efecto del potasio y su tolerancia hídrica en la caña de azúcar de la variedad tipo LAICA 12-339, el análisis se encuentra en el anexo N° 62.

4.2.1.1 Análisis de la Serie Cascante, fase muy profunda (B.2.1.1) Finca UTN Sede Guanacaste

Como se presenta en el cuadro N° 8, esta subdivisión de la serie de suelos Cascante, se caracteriza por poseer un estrato arenoso a más de 150 centímetros de profundidad, específicamente un horizonte C. Lo anterior explica porque a la profundidad definida para la calicata (80 centímetros), no se encontró dicho horizonte, según (Araya A 2009). En el parámetro del agua útil los resultados en la calicata # 4 presentan valores mayores con respecto a otras calicatas estudiadas en relación al lote TNR 26 de la finca UTN, sobre todo en los horizontes superficiales, se puede deber a que el lote donde se ubicó la calicata N° 4 según (Araya A 2009). Ha estado en barbecho durante aproximadamente tres años, al igual que el lote TNR 25 donde se realizó el estudio. En cuanto a la densidad aparente, se obtuvieron valores similares para todos los horizontes ubicados.

Cuadro 8. Resultados de análisis físicos de suelo calicata 4. Lote TNR 26

Lote	TNR26			
Ubicación	N 10° 19,141' w 85° 08,914'			
Horizonte	Ap	A12	A13/B2	B3
Prof Inicio (cm)	0	15	40	63
Prof Final (cm)	15	40	63	80
Grosor (cm)	15	25	23	17
% Arena	33.2	37.2	32.2	35.2
% Arcilla	13.6	11.6	4.6	5.6
% Limo	53.2	51.2	63.2	
Textura	FL	F	FL	FL
% CC	28.2	31.43	31.7	33.52
% PMP	16.76	18.97	22.31	22.95
% Agua Útil	11.44	12.46	9.39	10.57
D. Aparente (g/cm ³)	1.35	1.36	1.25	1.14

Fuente; Araya A 2009.

F = franco A = arcilloso L = limoso a = arenoso

En el estudio experimental, se utilizó la variedad de caña de azúcar LAICA 12-339 en el lote llamado TNR 25, según mapa de los lotes y su nomenclatura correspondientes en la finca de la UTN de la Sede Guanacaste, se utilizó la información del lote vecino correspondiente a los datos del lote TNR26, donde se había construido una calicata, para el perfil del suelo, se interpretó la información de la calicata existente según cuadro N° 8, para la Tesis de post grado UCR, Establecimiento de un plan de riego para las áreas de docencia, investigación y producción de la finca de la Universidad Técnica Nacional, sede Guanacaste. Según (Araya A, 2009).

Cuadro 9. Análisis físico e hídrico del Suelo del ensayo experimental (Teórico)

Horizonte	Prof cm	Dap g/cm ³	% C.C	% PMP	% Agua útil	$\Phi=aj^b$ (%)	Agua disp cm	Agotam (35%) cm	Agotam (70%) cm	Agua m ³ /ha (35%)	Agua m ³ /ha(70%)
Ap	0-15	1,35	28,2	16,76	11,44	16,75	2,316				
A12	15-40	1,36	31,43	18,97	12,46	18,98	4,236				
Total, a 40 cm							6,552	2,293	4,586	229,34	458,64

Fuente: Elaboración propia 2020.

Cuadro 10. Agua Disponible 35% en intervalos de riego kc en caña de azúcar de 0 – 6 meses: 0.4, ETp según Priesley.

Cañas Guanacaste	Total, cm/mes	Agua disp. cm (35 %)	Kc (cm/día)	Consumo Diario agua (días)
Enero	14,595	2,293	0,195	11
Febrero	15,841	2,293	0,211	10
Marzo	16,840	2,293	0,224	10
Abril	16,661	2,293	0,222	10
Mayo	13,550	2,293	0,180	12

Fuente: Elaboración propia 2020.

Nota: Partiendo de una condición de C.C Lote TNR26.

4.2.2 Número de riego y frecuencias para la caña de azúcar variedad LAICA 12- 339. Con un 35% Agotamiento de humedad en el suelo.

Según el Cuadro N° 10, el 35 % de agotamiento de humedad del suelo, para el mes de enero se aplicó dos riegos cada once días, durante febrero dos riegos cada diez días, mientras que durante los meses de marzo y abril se deberán aplicar tres riegos cada diez días y por último el

mes de mayo dos riegos cada doce días. Es importante señalar que esta plantación de caña de azúcar nos referimos a tipo planta (primer año de producción) puede ser cosechada nuevamente a finales del mes de enero del año 2021, según (Subirós 2000) después de cuatro meses la caña de azúcar ya cumplió totalmente las fases fenológicas de germinación, macollamiento y se encuentra en la fase de rápido crecimiento. Hasta este momento se ha dado un aumento del área foliar y un crecimiento vigoroso general de la planta en crecimiento. En esta fase fenológica de crecimiento de la planta de caña de azúcar tipo variedad LAICA 12- 339, se inician de aquí en adelante hasta la fase de maduración los parámetros de medición de los biocrecimiento y el % Brix de los tallos de la planta azucarera.

Cuadro 11. Agua Disponible 70% en intervalos de riego kc en caña de azúcar de 0 – 6 meses: 0.4, ETp según Priesley.

Cañas Guanacaste	Total, cm/mes	Agua disp. cm (70 %)	Kc (cm/día)	Consumo Diario agua (Frecuencia días)
Enero	14,595	4,586	0,195	23
Febrero	15,841	4,586	0,211	21
Marzo	16,840	4,586	0,224	20
Abril	16,661	4,586	0,222	20
Mayo	13,550	4,586	0,180	25

Fuente: Elaboración propia 2020.

Nota: Partiendo de una condición de C.C Lote TNR26.

4.2.3 Número de riego y frecuencias para la caña de azúcar variedad LAICA 12 339. 70% Agotamiento.

Según se observa en el Cuadro N° 11, el 70 % agotamiento de humedad del suelo, durante el mes de enero se deberá aplicar un riego cada veinte tres días, durante el mes de febrero un riego cada veintiún días, mientras que durante los meses de marzo y abril se deberán aplicar un riego cada veinte días y por último durante el mes de mayo un riego cada veinte cinco días. Es importante señalar que esta plantación de caña de azúcar tipo planta (primer año de producción) puede ser cosechada nuevamente a finales del mes de enero del año 2021, según (Subirós 2000) después de cuatro meses la caña de azúcar ya cumplió totalmente las fases fenológicas de germinación, macollamiento y se encuentra en la fase de rápido crecimiento. Hasta este momento se ha dado un aumento del área foliar y un crecimiento vigoroso general de la planta. En esta fase

fenológica de crecimiento de la planta caña de azúcar de la variedad LAICA 12- 339, se inician de aquí en adelante hasta la fase de maduración los parámetros de medición de los biometricos y el % Brix de los tallos de la planta azucarera.

Cuadro 12. Estimación del contenido de humedad y potencial matricial en los agotamientos de 35 y 70% de humedad del suelo.

Cultivo de caña de Azúcar LAICA 12- 339	Densidad aparente g/cm³	Humedad Gravimétrica Hg (%)	Humedad Volumétrica Hg (%)	Potencial Matricial μ:MPax10⁻¹
Agotamiento 35 %	1,36	27,43	37,304	0,92
Agotamiento 70 %	1,36	23,43	31,864	3,01

Fuente: Elaboración propia 2020.

$I_{(ac)}: 1,30 \times t_{(ac)}^{0,25}$ (Infiltración acumulada).

$i_{(bas)}: 0,25 \times 1,30 t_{(ac)}^{-0,75}$ (Infiltración basica).

En el siguiente cuadro N° 12. Nos indica el tiempo de inundación del suelo Mollisol haplustoll para el ensayo del riego por inundación por medio de la conducción hídrica del poliducto polietileno tipo polypipe.

Cuadro 13. Lámina de riego por hectárea en cm, aplicado al ensayo experimental variedad LAICA 12- 339.

Cultivo de caña de Azúcar LAICA 12- 339	Lamina de riego cm	Tiempo inundación (Min)
Agotamiento 35 %	2,293	9,683
Agotamiento 70 %	4,586	154,88 (2.58 hr)

Fuente: Elaboración propia 2020.

Observación: El tiempo de inundación para la capacidad de campo (c.c), en este suelo para 10 cm es 10 horas, partiendo de un estadio de suelo seco.

Cuadro 14. Volúmenes de agua requeridos desde el mes de enero a mayo para la irrigación de la caña de azúcar de la variedad LAICA 12- 339.

Mes	Lamina de riego	Lamina de riego	Lamina de riego	Lamina de riego
	m ³ /ha (35% Agot)	L/ha (35% Agot)	m ³ /ha (70% Agot)	L/ha (70% Agot)
Enero	229,34	229340	458,64	458640
Febrero	229,34	229340	458,64	458640
Marzo	229,34	229340	458,64	458640
Abril	229,34	229340	458,64	458640
Mayo	229,34	229340	458,64	458640

4.2.4 Tiempos de riego para la caña de azúcar para la variedad tipo LAICA 12- 339.

En el ensayo los tiempos de riego para la variedad de caña de azúcar LAICA 12-339, el cálculo en la cantidad de riegos a ser aplicados por mes, este se redondeó hacia abajo con el fin de equilibrar el requerimiento de riego con la lámina neta establecida, las frecuencias se redondearon hacia abajo, de tal modo que correspondieran al número de días del mes. Para el cálculo del tiempo de riego se estableció también un caudal teórico de entrada de 324 m³/hr. El volumen a aplicar por riego se calculó como el volumen total a aplicar durante el mes dividido entre el número de riegos correspondiente a dicho mes.

4.3 ANALISIS EN LA DOSIS DE FERTILIZACIÓN POR TRATAMIENTO DE LA CAÑA DE AZÚCAR VARIEDAD LAICA 12- 339.

Se formuló el balance de los nutrimentos de la zona en estudio del experimento, en el cultivo de la caña de azúcar variedad LAICA 12.339, a continuación, se detalla la información:

Cuadro 15. Tratamiento del balance nutricional para las dosis de 60, 100, 140 y 180 kg K₂O/ha en el ensayo experimental de la caña de azúcar variedad LAICA 12- 339.

Balance de Nutrimentos por tratamiento Experimental/ha				
Tratamientos	kg/ha de Nitrógeno Urea (46%)	kg/ha de Fosforo MAP (50 % P₂O₅)	Kg/ha de Potasio KCl (60% k₂O)	Fertilizante en qq/ha + qq de nutrimentos balanceados
60 kg K ₂ O/ha	FFC+100	FFC + 26,71	60	Fertilizante 18-5-31-1,2-0.1 (4,3 qq/ha) + (2,22 qq Urea) + (0,59 qq MAP).
100 kg K ₂ O/ha	FFC + 49,86	FFC + 13,27	100	Fertilizante 18-5-31-1,2-0.1 (7.17 qq/ha) + (1.11 qq Urea) + (0,31 qq MAP).
140 kg K ₂ O/ha	81	22,50	140	Fertilizante 18-5-31-1,2-0.1 (10 qq/ha) dosis aplicada en finca UTN en el proyecto de caña azúcar. (Testigo).
180 kg K ₂ O/ha	81	22,50	FFC + 40	Fertilizante 18-5-31-1,2-0.1 (10 qq/ha) + (0.89 qq KCl)

Fuente: Elaboración propia 2020.

FFC; Formula de Fertilización Completa

N: Nitrógeno P: Fosforo K: Potasio.

El balance de nutrimentos relacionado con el cuadro N° 15 y su fertilización se tomó como base lo referente a la práctica, que se realizan en el proyecto de caña de azúcar de la finca de la Sede Guanacaste UTN, relacionado con la dosis de la fertilización 18-5-31-1,2-0.1; correspondiente a 10 qq/ha, en este caso concreto referido al tratamiento número III. Donde se le aplicó 140 kg K₂O/ha, (Testigo) del estudio. La fertilización se aplica el mismo de día para todos los tratamientos en una sola aplicación, en el suelo mollisol.

Cuadro 16. El diseño del ensayo a nivel de campo con su fertilización potásica por hectárea y su % de agotamiento de humedad en el suelo, en la caña de azúcar de la variedad LAICA 12- 339.

TRATAMIENTO	FERTILIZACION	CUADRANTE en área de 2587.50 m²	% AGOTAMIENTO DE HUMEDAD EN EL SUELO MOLLISO
I	60 kg K ₂ O/ha	8 surcos	35%
		8 surcos	70%
II	100 kg K ₂ O/ha	8 surcos	35%
		8 surcos	70%
III	140 kg K ₂ O/ha	8 surcos	35%
		8 surcos	70%
IV	180 kg K ₂ O/ha	8 surcos	35%
		8 surcos	70%

Fuente; Elaboración propia 2020.

Nota: Por tratamiento total de surcos 23.

Para cada tratamiento detallado en el cuadro N° 16, se compone de un área de 2587.50 m², cada una, formado por 23 surcos de 75 m de longitud y 1,5 m de ancho entre surcos, de la siguiente forma para cada cuadrante, se deja 3 surcos al lado izquierdo, por efecto de traslape de asunto de riego, luego 8 surcos de (35% Agotamiento de humedad en el suelo), además de 2 surcos de traslape en la irrigación entre los dos agotamientos, luego continuamos con 8 surcos de (70% Agotamiento de humedad en el suelo), por ultimo 2 surcos al lado derecho en el límite del lote TNR 25 unidad experimental de (1.03 ha) sucesivamente en cada cuadrante compuesto de una área de 2587.50 m².

En el experimento se determinó el porcentaje de pendientes tanto para el canal de irrigación como el área experimental de los tratamientos a nivel de campo.

Cuadro 17. Determinación del porcentaje de la pendiente del canal de irrigación a través del uso del poliducto tipo polypipe, en un suelo Mollisol con textura franco limosa en el cultivo de la caña de azúcar variedad LAICA 12- 339, durante el año 2019.

PENDIENTE DE CANAL							
Punto	V(+)	hi	V(-)	Cota	Diferencia (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)
1	1.090	101.090		100.000	0.641	368.8	0.17
2	1.359	101.190	1.259	99.831			
3	1.219	100.944	1.465	99.725			
4			1.585	99.359			

Fuente: Elaboración propia 2020.

En el cuadro N° 17, nos indicó el porcentaje de la pendiente de 0.17, relacionado con la topografía de conducción hídrica por medio de la utilización del poliducto del tipo poliducto polypipe para su conducción eficiente del agua hasta el lote en estudio experimental.

4.3.1 Porcentaje de la pendiente del área en estudio en el cultivo de la caña de azúcar variedad LAICA 12- 339.

Se determinó la pendiente del terreno, en este se cultivó la variedad LAICA 12- 339, según (Villalobos M. 2008), Cuando se tienen pendientes naturales del terreno menores de 0.5% las longitudes de los surcos pueden ser grandes o tener tendencia a aumentarse, según cuadro N° 18; ubicándose nuestra pendiente en estudio en 0.3%, mientras que, para pendientes grandes, se debe de tener a incluir a disminuir las longitudes del surco ,el experimento con longitudes cortas de surcos del estudio de 75 m, por los riesgos de la erosión. En la parcela en estudio de determinó la erosión del suelo en el área experimental de campo, con esa pendiente del 0.3% logramos acompañar un estudio de erosión de suelo durante al final del lote experimental en una esquina, un pequeño hoyo de profundidad de 0.5 m³, durante 6 semanas recogimos un total de 21.50 kg/suelo/ha, para ese tiempo de efecto de lluvias en los meses de mayo, junio y julio del 2019.

Según (Villalobos M. 2008). Tampoco es conveniente el trazar surcos con pendientes menores de 0.05% ya que hay problemas para evacuar el agua después de un riego o drenar los excesos cuando se reducen precipitaciones fuertes.

El riego por inundación, en el tiempo inundado para un suelo Mollisol indicó en el estudio la infiltración básica: $0,9 \text{ cm X Mpa } 10^{-1}$ (Caracterización de un suelo haplustoll en Cañas Guanacaste). Según (MAG).

Cuadro 18. El porcentaje de la pendiente de los cuadrantes para la irrigación a través del uso de poliducto tipo polypipe, en un suelo Mollisol con textura franco limosa para la caña de azúcar de una variedad LAICA 12- 339, durante el 2019.

PENDIENTE DEL LOTE EXPERIMENTAL CAÑA DE AZÚCAR									
Cuadrante	Punto	V(+)	hi	V(-)	V(I)	Cota	Diferencia (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)
IV	1		100.944		1.755	99.189	0.250	75	0.33
	2				2.005	98.939			
II	3				2.090	98.854	0.220	75	0.29
	4				2.310	98.634			

Fuente: Elaboración propia 2020.

Observamos que las pendientes de irrigación en la conducción del agua a través del uso del poliducto tipo polypipe, la pendiente interna en el área experimental es relativamente moderada. según (Villalobos M. 2008).

4.3.2 Cálculo de la infiltración del suelo Mollisol, en la unidad experimental.

En el Cuadro 19. Se muestran los datos de campo obtenidos en la prueba de infiltración por medio de los cilindros tipo infiltrómetros.

Cuadro 19. Datos obtenidos de la prueba de infiltración con cilindros infiltrómetros, en el Suelo Mollisol, franco limoso, en el experimento de la caña de azúcar de la variedad LAICA 12-339.

Intervalo (min)	Tiempo acumulado (min)	Tiempo promedio acumulado (min)	Lamina infiltrada (cm)	Lamina acumulada (cm)	li (cm/h)	lp (cm/h)
0.0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0
1.5	1.5	2.3	1	1	39.2	39.2
5.4	6.9	9.6	1	2	11.2	17.4
5.1	12.0	14.6	1	3	11.7	15.0
5.9	18.0	20.9	1	4	10.1	13.4
12.2	30.1	36.2	2	6	9.9	11.9
13.7	43.9	50.7	2	8	8.7	10.9
14.3	58.2	65.3	2	10	8.4	10.3
17.3	75.4	84.1	2	12	7.0	9.5
16.2	91.6	99.7	2	14	7.4	9.2
21.9	113.6	124.5	3	17	8.2	9.0

Fuente: Propia 2020.

Los resultados obtenidos en la linealización de la ecuación de Kostiakov se muestran en el siguiente cuadro 19.

Cuadro 20. Valores de linealización de la ecuación de Kostiakov

Tiempo promedio acumulado (min)	li (cm/h)	Log (X)	Log (Y)	X ²	Y ²	X*Y
2.3	39.2	0.4	1.6	0.1	2.5	0.6
9.6	11.2	1.0	1.0	1.0	1.1	1.0
14.6	11.7	1.2	1.1	1.4	1.1	1.2
20.9	10.1	1.3	1.0	1.7	1.0	1.3
36.2	9.9	1.6	1.0	2.4	1.0	1.5
50.7	8.7	1.7	0.9	2.9	0.9	1.6
65.3	8.4	1.8	0.9	3.3	0.9	1.7
84.1	7.0	1.9	0.8	3.7	0.7	1.6
99.7	7.4	2.0	0.9	4.0	0.8	1.7
124.5	8.2	2.1	0.9	4.4	0.8	1.9
	Σ	14.9	10.2	24.9	10.8	14.3

Fuente: Propia 2020.

Aplicando las ecuaciones 3, 4 y 5 respectivamente se obtienen los valores de a y b, como se muestra a continuación:

Según la fórmula:

$$a' = \frac{10.2 \times 24.9 - 14.9 \times 14.3}{10 \times 24.9 - 14.9^2} = \frac{41.0}{26.4} = 1.55$$

$$a = 10^{a'} = 10^{1.55} = 35.74$$

$$b = \frac{14.3 - \frac{14.9 \times 10.2}{10}}{24.9 \times \frac{14.9^2}{10}} = -0.35$$

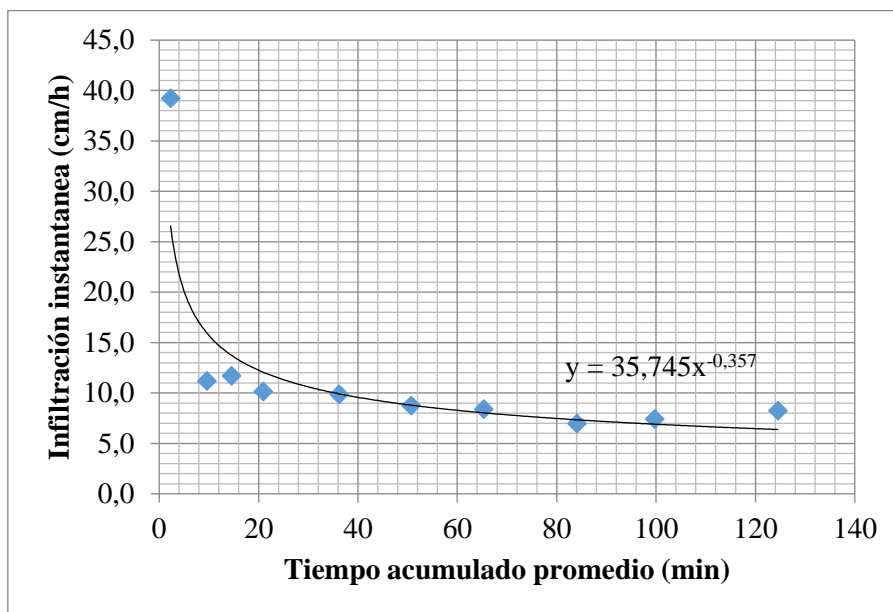
Sustituyendo los valores de a y b en la ecuación 1, se obtiene la ecuación de velocidad de infiltración instantánea:

$$li = a \times t^b$$

$$li = 35.74 \times t^{-0.35}$$

En la Figura 3, se muestra la curva de mejor ajuste para los datos obtenidos en la prueba de infiltración.

Figura 3. Curva de infiltración instantánea del suelo Mollisol Experimental.



Fuente: Elaboración propia 2019.

El tiempo base se determina mediante la ecuación:

Según la fórmula:

$$Tb = -600 \times b$$

$$Tb = -600 \times -0,35 = 210 \text{ min}$$

Se sustituye el tiempo base en la ecuación de infiltración instantánea y se obtiene la infiltración base del suelo

$$li = 35,74 \times 210^{-0,35} = 5,5 \text{ cm/h}$$

De acuerdo al resultado anterior, en razón de la textura y tomando como referencia la figura N° 7, la infiltración del suelo es alta, mayor a 5 cm/h, característico de un suelo franco limoso según Brouwer et al 1988, rango de 5 a 10 mm/hr.

Según la razón granulométrica del suelo, posee un porcentaje considerable de arena complementado con la presencia de alta limosidad grumosa, lo cual hace más permeable los estratos de suelo y justifica que se presente alta infiltración.

Al ser un lote ligado a la actividad cañera, las labores de mecanización agrícola como subsolado y rastreo en la preparación del terreno, intervienen también en modificación de la estructura del suelo provocando un aumento en la porosidad del mismo, favoreciendo una rápida entrada circulación del agua dentro del perfil de suelo.

La alta infiltración trae por consecuencia la baja retención de humedad, puesto, que el agua se percola rápidamente a través del estrato del suelo, disminuyendo el agua útil para la planta. Está influenciada por la textura, la estructura y por el contenido de humedad en el suelo.

4.3.3 El cálculo de la velocidad de avance hídrico del suelo Mollisol, en la parcela en estudio.

Cuadro 21. Ejemplo de la velocidad de avance hídrico e infiltración en el suelo, para un agotamiento del 35% de humedad en el suelo dentro del ensayo.

Fecha	Estacas	Dist m	Tiempo/min	Tiempo/s	Infiltración s/m	Aforo Polypepe	Total L/Surco	Total m3/Surco	Surcos/Tratamiento	
									Agua/L	Agua/m3
22/01/19	1	18.75	6.38	383	20.42	1.40	536	0.54	12326	12.33
	2	18.75	6.35	381	20.32	1.40	533	0.53	12268	12.27
	3	18.75	11.4	684	36.48	1.40	958	0.96	22024	22.02
	4	18.75	6.28	377	20.10	1.40	528	0.53	12132	12.13
Total		75	30.41	1825	24.33		2554	2.55	58750	58.75

Cuadro 22. Ejemplo de la velocidad de avance hídrico e infiltración en el suelo, para un agotamiento de 70% de humedad en el suelo dentro del ensayo.

Fecha	Estacas	Dist m	Tiempo/min	Tiempo/s	Infiltración s/m	Aforo Polypepe	Total L/Surco	Total m3/Surco	Surcos/Tratamiento	
									Agua/L	Agua/m3
22/01/19	1	18.75	10.47	628.2	33.50	1.40	879	0.88	20228	20.23
	2	18.75	18.29	1097.4	58.53	1.40	1,536	1.54	35336	35.34
	3	18.75	18.17	1090.2	58.14	1.40	1,526	1.53	35104	35.10
	4	18.75	15.25	915	48.80	1.40	1,281	1.28	29463	29.46
Total		75	62.18	3730.8	49.74		5,223	5.22	120131	120.13

Fuente: Elaboración propia 2020.

Según los resultados en los cuadros N° 21 y 22 relacionado con los tiempos de avance hídrico de infiltración para un surco observamos la variable de porcentaje de agotamiento de humedad en el suelo, por ejemplo el de 35% de agotamiento de humedad en el suelo este consume

menos agua en su recorrido para los 75 m longitudinal, para un total por surco de 2,55 m³ de agua, comparado con el consumo de agua de avance en el surco del 70% de agotamiento de humedad en el suelo franco limoso del orden Mollisol con un 5.22 m³ de agua en un solo surco. De acuerdo a la información anterior existió por tratamiento hídrico, el 35% de agotamiento de humedad en el suelo y un 70% de agotamiento de humedad en el suelo, un total de 58,75 m³ y 120,13 m³ respectivamente valor real a nivel de campo estudiado, aumentando la cantidad de agua de irrigación con valores a mayor porcentaje de agotamiento de humedad en el suelo Mollisol para la textura franco limoso.

4.3.4 Demanda hídrica planta - suelo del cultivo de caña de azúcar variedad LAICA 12-339 después de un riego, en la etapa de crecimiento temprana.

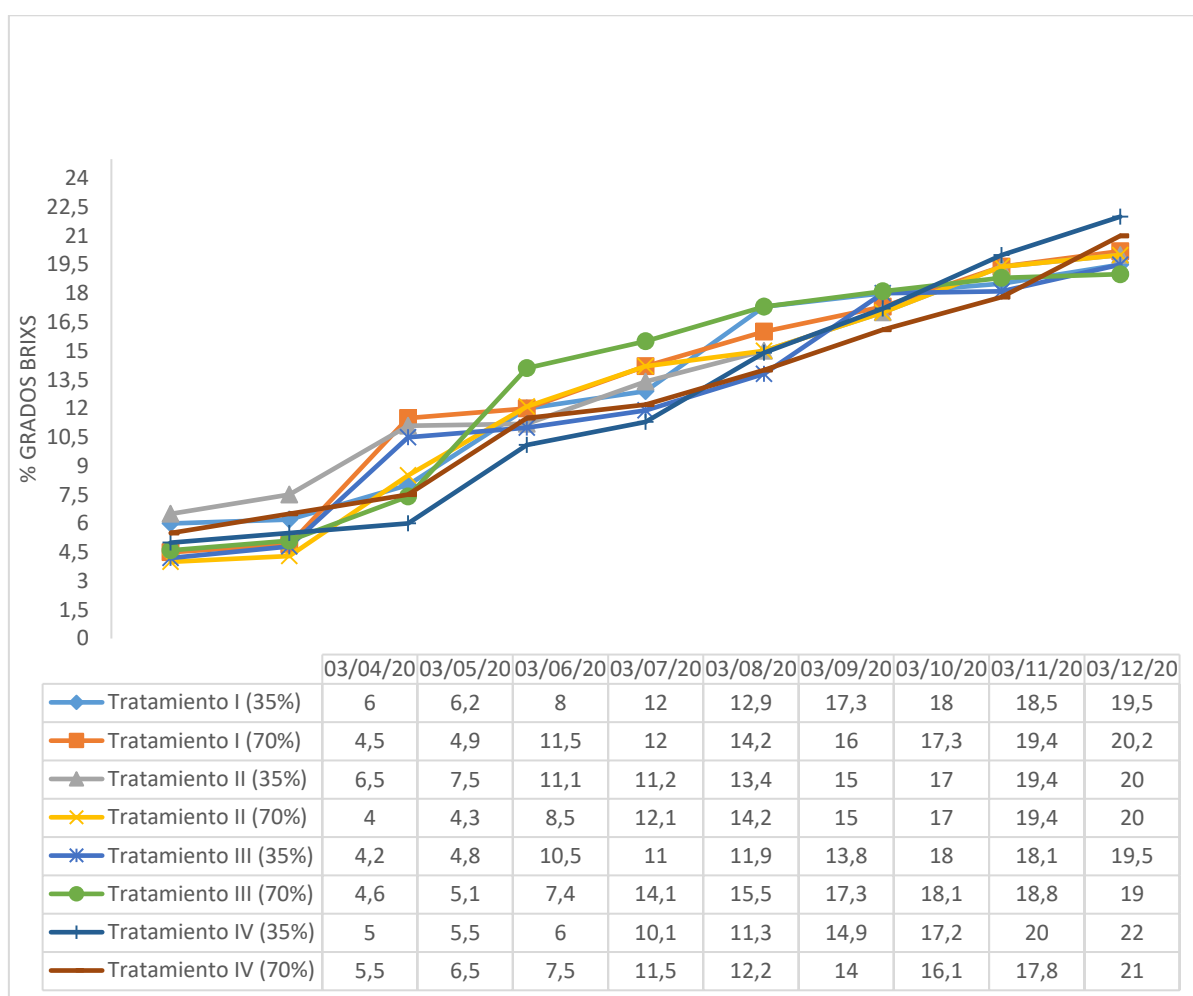
Mediante medidas directa constituyen la forma más simple y de uso más rápido para medir la humedad en el suelo, después de la irrigación se tomaron muestras de suelo con el contenido de humedad en el momento a diferentes profundidades en el suelo a (20 y 40 cm), posteriormente se llevó al laboratorio UTN, donde fueron analizadas por el método gravimétrico; observamos un comportamiento de tolerancia hídrica, donde nos indica que a menor profundidad radicular 20 cm, la planta de caña de azúcar se va comportar en absorber menos agua ejemplo a 35 % de agotamiento de humedad en el suelo, esta presenta; más contacto directo con el medio ambiente, va ejercer mayor exposición del suelo descubierto, a temprana edad fenológica de la planta de caña de azúcar variedad LAICA 12-339, alrededor de 70 cm de altura de la planta, por ende ocurre una mayor evaporación, infiltración, percolación, el viento y la radiación solar, van ejercer su dinamismo a nivel suelo y planta, la misma va aprovechar menos el líquido hídrico a este nivel de profundidad y 35% de agotamiento de humedad tanto para los cuadrantes III y II. Según (Villón M 2006), en las zonas áridas, como en nuestro estudio, los cultivos necesitan el riego, no es necesario el aporte capilar, por lo cual cuando mayor sea la profundidad de la tabla de agua, menos perjuicios causará a los cultivos, con ellos se evita el acumulamiento de sales en la superficie del terreno. Si comparamos ejemplo el 70% de agotamiento de humedad en el suelo, tanto para los cuadrante I y IV. Para este ejemplo de crecimiento fenológico de la planta de caña de azúcar. El estudio nos demuestra que la planta a esa edad tiene una capacidad de tomar agua después de una irrigación entre 0.52 y 0.70 mm a una profundidad de 20 cm de suelo, con un 35% de agotamiento de humedad en el suelo, todo lo contrario del 70% de agotamiento de humedad en el suelo si relacionamos la cantidad de agua después de una irrigación la planta reacciona en tomar 0.92 y 0.98 mm a una profundidad igual a 20 cm del suelo y el mismo principio se cumple a profundidades de 40 cm tanto para 35% de agotamiento. La planta estudiada variedad tipo LAICA 12- 339, el sistema de riego por surco presento un nivel muy bajo de eficiencia de riego alrededor al rededor del 20%, pero si comparamos ambos sistemas de agotamientos en esta planta cañera el 35% de agotamiento es un poco más alto 22% de eficiencia del riego comparado con el

riego de 70%, es muy baja porque el agua fácilmente se pierde por escorrentía, evaporación, infiltración, percolación.

4.4 ANALISIS DE LOS PARAMETROS BIOMETRICOS DE LA CAÑA DE AZUCAR VARIEDAD LAICA 12 -339.

Se analizó las condiciones de los parámetros biométricos de la caña de azúcar variedad LAICA 12-339 en la zona del experimento, donde a continuación se detalla la información.

Gráfica 6. Comportamiento de grados Brix de acuerdo al tratamiento experimental de la caña de azúcar variedad LAICA 12-339 durante el año 2019.



En la gráfica 6. Observamos el comportamiento de los grados Brix del Jugo, este se refiere al contenido de sólidos solubles totales presentes en el jugo, expresados como porcentaje. Los Brix incluyen los azúcares y a compuestos que no son azúcares. Los Brix pueden ser medidos en el campo, en la misma plantación, donde fueron tomadas las muestras en dicho lugar experimental, utilizando un refractómetro manual para Brix o HR Brix. Para esto se perforan varias plantas en el campo y se colecta su jugo para formar una muestra compuesta que fue analizada. Se colocó una gota del jugo compuesto en el refractómetro manual y se hace la medición de grados Brix. El campo circular del visor se oscurece a medida que aumenta el nivel

de Brix, que puede ser leído fácilmente. El refractómetro manual para Brix tiene graduaciones de 0 a 32%. Las lecturas de Brix pueden tomarse por separado en la parte superior o inferior del cultivo, según sugarcane.

La importancia de los Brix en el proceso de caña de azúcar como el porcentaje de sacarosa disuelto en agua, en este caso disuelto en el jugo de la caña, este parámetro biométrico es esencial en la suma del proceso de la caña de azúcar, el valor depende de la pureza del jugo de la caña, este va contribuir a un mayor rendimiento de sacarosa en el tallo de la planta de caña de azúcar y su de calidad según Scribd.

El comportamiento de los grados brix o concentraciones de azúcares tipo sacarosa observados en la gráfica 6, conforme la planta va pasando por sus diferentes etapas fenológicas de crecimiento de la variedad tipo LAICA 12 -339; va ir aumentando su concentración de azúcar siempre y cuando no tengas excesos de agua o lluvia del tipo inundación o de forma estancada donde si podemos tener problemas de oxigenación radical y problemas de fotosíntesis en la formación de azúcares o metabolitos secundarios. Donde esta variedad analizada y estudiada; después de los 4 meses de edad el crecimiento hasta llegar a la cosecha, se dió un comportamiento hacia el aumento de los azúcares de 4% Brix en el mes de abril hasta los 22% Brix en el mes de diciembre; prácticamente lista para la cosecha y ser procesada en la agroindustria del Ingenio.

Según (Sugarcane). Un cultivo de caña de azúcar está apto para la cosecha cuando ha alcanzado un mínimo de 16% de sacarosa y 85% de pureza, donde la variedad LAICA 12 -339 se encuentra en el mes de diciembre del año 2019, con un contenido de azúcares entre 19 a 22 % Brix dependiendo del tratamiento estudiado a nivel experimental.

Cuadro 23. Numero de tallos por tratamiento en el experimento de la caña de azúcar para la variedad tipo LAICA 12 339, en una muestra de 24 m en 4 surcos, en el año 2019.

	Muestreo en 24 m				Total de tallos/ha			
	Tratamiento I	Tratamiento II	Tratamiento III	Tratamiento IV	Tratamiento I	Tratamiento II	Tratamiento III	Tratamiento IV
	Tallos	Tallos	Tallos	Tallos	Tallos/m	Tallos/m	Tallos/m	Tallos/m
	282	268	281	270	11,75	11,17	11,71	11,25
	298	258	241	268	12,42	10,75	10,04	11,17
	255	229	268	255	10,63	9,54	11,17	10,63
	248	230	267	274	10,33	9,58	11,13	11,42
Total	1083	985	1057	1067	11,28	10,26	11,01	11,11
1 ha					77 841	70 797	75 972	76 691

Elaboración propia 2020.

En el cuadro N° 23, en el ensayo Interpretamos el número de tallos por hectárea de la variedad LAICA 12 -339 donde obtuvimos en los diferentes tratamientos, desde una mayor a menor cantidad de tallos por tratamiento, donde el tratamiento I resultó una mayor cantidad alrededor de 77,841 tallos/ha, seguido por el tratamiento IV alrededor de 76,691 tallos/ha, continuando el tratamiento III alrededor de

75,972 tallos/ha y por último el tratamiento II alrededor de 70,797 tallos/ha. por ende, la producción azucarera va a subir considerablemente con la relación de los índice tallos/ha, en las toneladas de azúcar por tratamiento.

Cuadro 24. Estimación de la producción relacionado con el peso en kilogramos de tallo y toneladas de caña por hectárea mediante un muestreo de la caña de azúcar durante el 13/01/2020, de la variedad LAICA 12 -339, durante el año 2020.

		13/01/2020	Estimada
Cuadrantes	Tratamientos	Peso en kg/tallo	Ton/caña/ha
I	60 kg K/Ha + 35% Agot	1,78	138,17
I	60 kg K/Ha + 70% Agot	1,70	132,43
II	100 kg K/Ha + 35% Agot	1,66	129,00
II	100 kg K/Ha + 70% Agot	1,68	131,06
III	140 kg K/Ha + 35% Agot	1,75	136,44
III	140 kg K/Ha + 70% Agot	1,60	124,75
IV	180 Kg K/Ha + 35% Agot	1,88	146,04
IV	180 Kg K/Ha + 70% Agot	1,63	126,72
Promedio		1,71	133,08
Desv Est		0,09	6,93

Fuente: Elaboración propia 2020.

Es importante destacar que no existen diferencias marcadas entre variedades de caña para su contenido de azúcar; sólo hay diferencias en tecnologías de producción y la función objetivo del sistema. Sin embargo, vale la pena resaltar que algunas características agronómicas o industriales, exigidas por la industria azucarera no son estrictamente aplicables a la producción panelera (Corpoica – Sena, 1998). La cosecha de la caña de azúcar realizada en el tiempo adecuado, en la fase de máxima maduración, mediante el empleo de una técnica adecuada, es necesaria para alcanzar el peso máximo de las cañas procesables; con la pérdida de campo mínimas, para las condiciones de crecimiento existentes.

Por otro lado, la recolección de caña inmadura o sobremadura mediante un método inadecuado de cosecha, provoca pérdidas en la producción de caña y en la recuperación de azúcar, produciendo un jugo de mala calidad y también causa problemas en la molienda, debido a la presencia de cuerpos extraños. Por lo tanto, una cosecha adecuada debe asegurar que:

La caña sea cosechada en su máximo estado de madurez, evitando cortar caña sobremadura o inmadura.

El corte de la caña debe ser hasta el suelo, para cosechar los entrenudos inferiores ricos en azúcar, aumentando la producción y el rendimiento de azúcar.

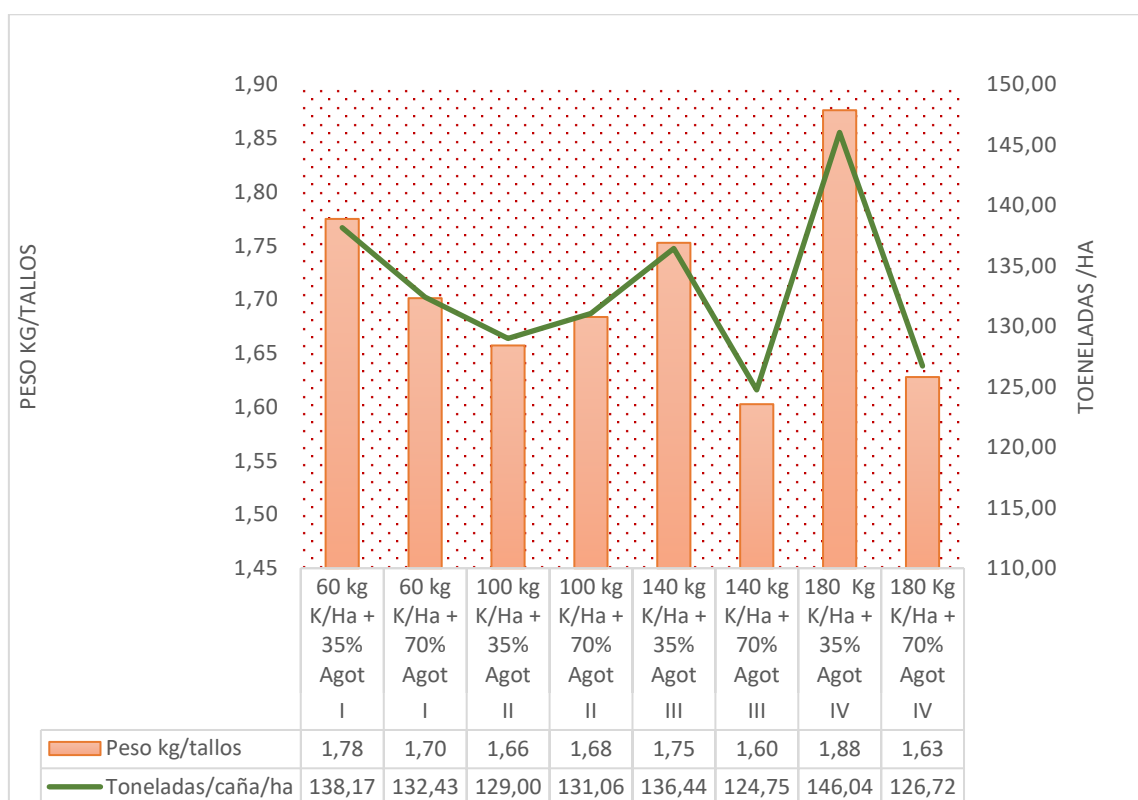
El despunte o desmoche debe hacerse a una altura adecuada para eliminar los entrenudos superiores inmaduros.

La caña debe estar limpia, removiendo los cuerpos extraños, tales como hojas, basura, raíces, etc. La caña cosechada debe enviarse rápidamente al ingenio. (Según Surcane).

La mayor cantidad de toneladas de campo según muestreo del día 13 de enero del 2020, es el tratamiento IV con 180 kg k_2O /ha más 35% de agotamiento de humedad en el suelo, fue de 146.04 Ton/ha y la menor cantidad de producción en el ensayo es el tratamiento III con 140 kg k_2O /ha más 35% de agotamiento de humedad en el suelo con 124.75 Ton/ha.

Sus aplicaciones hídras realizadas alrededor de 3 veces por mes en su frecuencia del riego por gravedad por medio del uso del poliducto polipipe mostró mejores resultados experimentales, mientras que los tratamientos con mayor cantidad de potasio por hectáreas y el 70% de agotamiento de humedad en el suelo presentaron una menor producción de Ton/ha a nivel de campo por ende el agua representa un rendimiento directo productivo y el efecto contrario de un porcentaje de agotamiento de humedad en el suelo muy prolongado, afecta directamente a la planta Laica 12-339 en su genética vegetativa en poder expresar su producción experimental a nivel de campo.

Gráfica 7. Peso en kilogramos de los tallos de la caña de azúcar y Toneladas de caña por hectáreas de la variedad LAICA 12 339, durante el período 2019.



En la gráfica 7. Nos indica el estudio el peso en kg de los tallos en los diferentes tratamientos de la variedad LAICA 12 -339; una semana antes de ser cosechada, arrojando el tratamiento IV un mayor peso del tallo en promedio de 1.88 kg de peso acompañado con 35% de agotamiento de humedad en el suelo, seguido por el tratamiento I con un peso de 1.78 kg con un 35 % de agotamiento de humedad en el suelo, por lo tanto observamos que la planta con una menor cantidad de agua en el suelo alrededor de su tendencia del 70%, los tallos en esta variedad

pesa menos si lo comparamos con un suelo donde la frecuencia de riego fue más contante, en resumidas conclusiones un mayor % de agotamiento menor peso del tallo de la caña de azúcar, son inversamente proporcionales; además la luz es uno de los factores básicos para la producción de azúcares por lo que su intensidad es muy importante. En condiciones normales de humedad, la radiación solar tiene gran influencia en el crecimiento, así como en la formación de los azúcares y en su pureza. Según (MAG 1991).

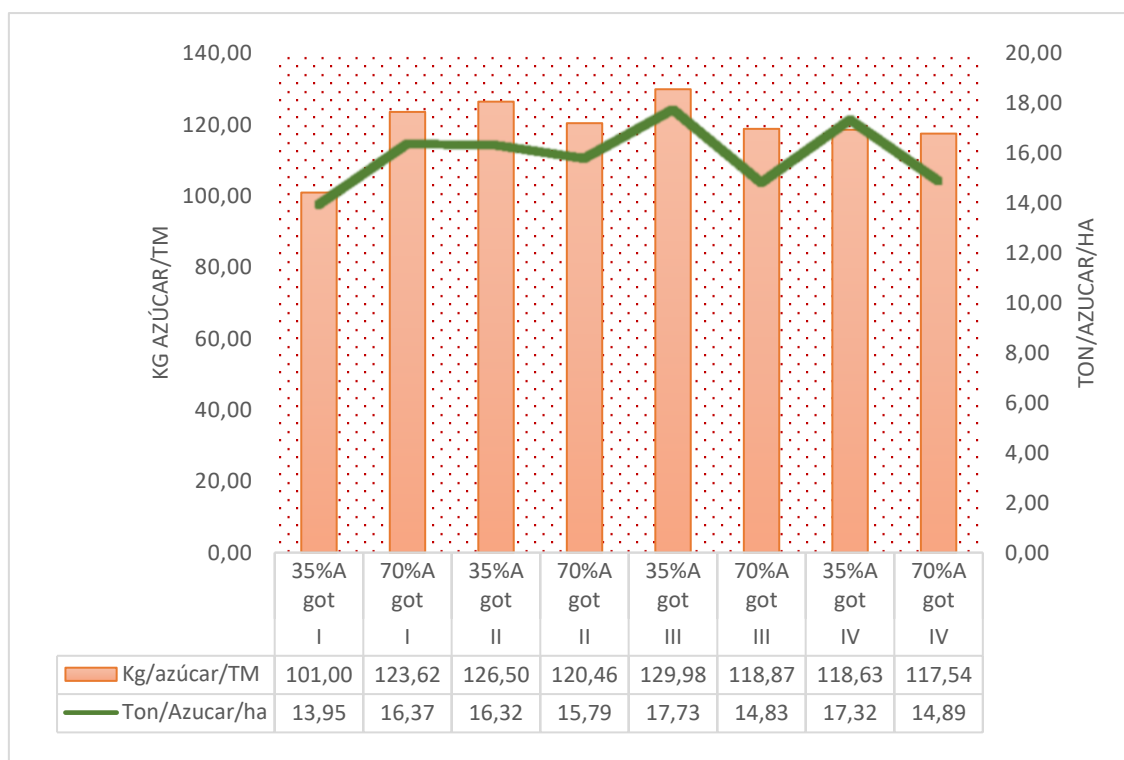
Cuadro 25. Análisis del muestreo de la caña de azúcar durante el 13/01/2020 de la variedad TIPO LAICA 12 -339, en el laboratorio del Ingenio Taboga para la obtención de la sacarosa.

Fecha de muestreo		13/01/2020	Estimada
Cuadrantes	Tratamientos	kg de azúcar/TMC	Ton/Azucar/ha
I	60 kg K/Ha + 35% Agot	101,00	13,95
I	60 kg K/Ha + 70% Agot	123,62	16,37
II	100 kg K/Ha + 35% Agot	126,50	16,32
II	100 kg K/Ha + 70% Agot	120,46	15,79
III	140 kg K/Ha + 35% Agot	129,98	17,73
III	140 kg K/Ha + 70% Agot	118,87	14,83
IV	180 Kg K/Ha + 35% Agot	118,63	17,32
IV	180 Kg K/Ha + 70% Agot	117,54	14,89
Promedio		119,58	15,90
Desv Est		8,65	1,30

Fuente: Elaboración propia 2020.

Para determinar el rendimiento de las toneladas de azúcar por hectárea se extrajeron muestras de tallo antes a la cosecha del corte en cada tratamiento evaluado, las cuales se llevaron al laboratorio del Ingenio Taboga para el análisis correspondiente. Los datos obtenidos se presentan en el cuadro anterior 25. Obteniendo la mayor producción de sacarosa por toneladas en una hectárea los tratamientos III y IV con un 35% de agotamiento de la humedad en el suelo; la cantidad de 17.73 Ton/azúcar/ha y 17.32 Ton/azúcar/ha respectivamente, esto se debe a que ambos tratamientos son altos en sus cantidades de kg de potasio por hectáreas; y este recibió varias veces por mes en su frecuencia del riego alrededor de 3, por usando el poliducto polipype por gravedad, mientras que los tratamientos con menor cantidad de potasio por hectáreas y la misma cantidad hídrica en el suelo 35% presentaron menor producción de sacarosa ni que decir a un 70% de agotamiento de humedad en el suelo, la planta Laica 12-339 presenta una alta genética vegetativa; por lo tanto tiene que existir un equilibrio hídrico de % de agotamiento de humedad en el suelo y la más alta fertilización potásica de acuerdo al experimento desarrollado.

Gráfica 8. Rendimientos del azúcar en kg/Toneladas métricas y Toneladas de azúcar por hectáreas para la agroindustria cañera de la variedad tipo LAICA 12 -339, durante el período 2019.



Fuente: Elaboración propia 2020.

En la gráfica 8. Nos presentó el rendimiento de la cantidad de azúcar en kilogramos por tonelada métrica, llevada a la agroindustria una semana antes de ser cosechada. Durante el período del gran crecimiento condiciones de alta humedad (80 - 85%) favorecen una rápida elongación de la caña. Valores moderados, de 45-65%, acompañados de una disponibilidad limitada de agua, son beneficiosos durante la fase de maduración. Según (sugarcane). Observamos que durante el muestreo de sacarosa antes de la cosecha, obtuvimos el mejor resultado del laboratorio del Ingenio Taboga de 129.98 kilogramos de azúcar por tonelada de producción de la caña de azúcar variedad LAICA 12 -339 correspondiendo al tratamiento III (140 kg de potasio por hectárea y con el 35% de agotamiento de humedad en el suelo y representando 17.73 toneladas de azúcar por hectárea; comparado con el tratamiento I (60 kg de potasio por hectárea y 35% de agotamiento de humedad en el suelo con un valor de 101.00 kilogramos de azúcar representando (13.95 toneladas de azúcar por hectárea).

4.4 ANALISIS AGROESTADISTICO DE LA CAÑA DE AZUCAR VARIEDAD LAICA 12 -339.

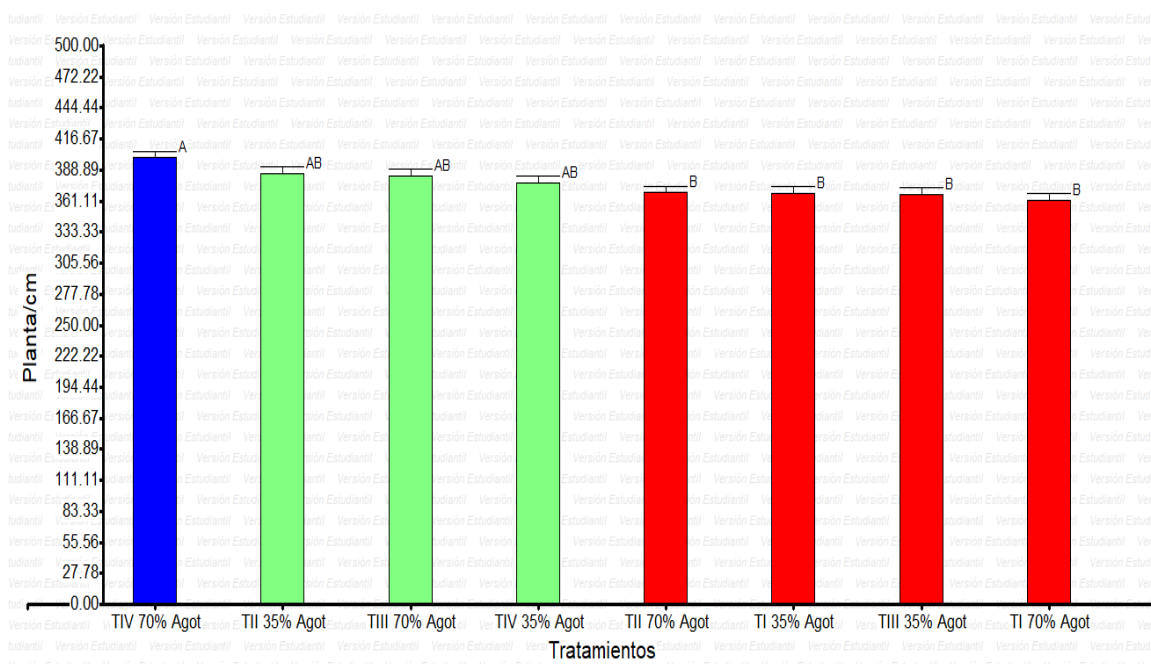
Se analizó las condiciones agroestadísticas de la zona en estudio del experimento, en el cultivo de la caña de azúcar variedad LAICA 12-339, donde a continuación se detalla la información.

4.4.1 Determinación del efecto del potasio y porcentaje de agotamiento sobre los componentes primarios del crecimiento del cultivo de la planta en cm, en la caña de azúcar de la variedad tipo LAICA 12 -339, durante el año 2019.

4.4.1.1 La planta de caña de azúcar variedad LAICA 12 -339, medidas de altura en (cm).

Durante el ensayo se realizaron nueve muestreos de campo, sobre la longitud de la planta de caña de azúcar variedad tipo LAICA 12 -339 en cm, de la caña de azúcar durante el crecimiento fenológico y fisiológico vegetativo. Los muestreos se realizaron cada 30 días utilizando una cinta métrica, marcando la longitud de la planta de caña en (cm). Las lecturas, se realizaron en cada tratamiento de las parcelas de acuerdo a su franja de 8 surcos, obteniendo un promedio general que se puede apreciar en la siguiente gráfica 9, donde el tratamiento IV (180 kg de potasio/ha y 70% de agotamiento obtuvo el mejor crecimiento longitudinal de la planta, con respecto al de menor crecimiento de la planta en cm donde fue tratamiento I (60kg de potasio/ha y 35% y 70% de agotamiento al igual el tratamiento II (100 kg de potasio/ha y 70% de agotamiento de humedad en el suelo) durante el ciclo fenológico y agronómico del cultivo de caña de azúcar variedad LAICA 12-339. Además, el potasio promueve la tras locación de los asimilados de la planta azucarera.

Gráfica 9. Análisis del crecimiento de la planta caña de azúcar en cm, de la variedad tipo LAICA 12 -339, en los diferentes tratamientos durante el período 2019.



En la gráfica 9, observamos que existió diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados para las variables de altura de la planta de caña de azúcar de la variedad LAICA 12 -339, Esto debido a la capacidad que tiene la misma planta de colocar hojas secas caídas y vegetación cerrada de las mismas, de reducir la evaporación y mejorar la eficiencia de distribución

del agua, logrando que la planta tenga una mayor disponibilidad del recurso hídrico según (Amezcuca, 2003).

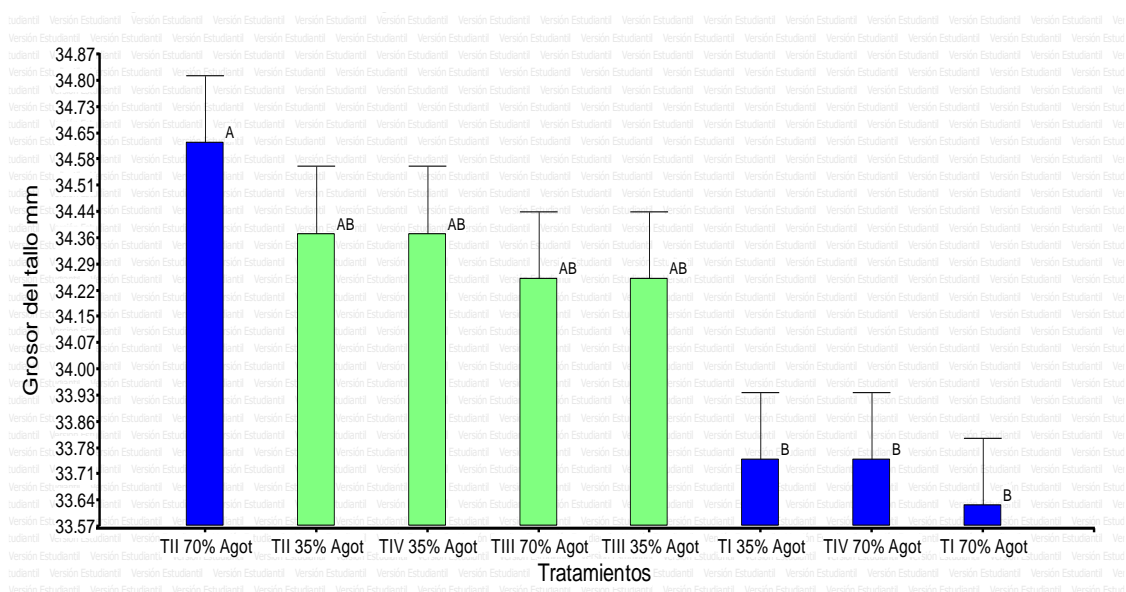
4.4.2 Determinación del efecto del potasio y porcentaje de agotamiento sobre los componentes primarios del grosor del tallo mm, en la caña de azúcar de la variedad LAICA 12 -339, durante el año 2019.

4.4.2.1 Diámetro del tallo (grosor en mm)

Durante el ensayo se realizaron nueve muestreos de campo, sobre diámetro o grosor en mm de la caña de azúcar durante el crecimiento fenológico y fisiológico vegetativo de la planta cañera. Los muestreos se realizaron cada 30 días utilizando un pie de rey, marcando el grosor de los tallos de caña en (mm). Las lecturas, se realizaron en cada tratamiento de las parcelas de acuerdo a su franja de 8 surcos, obteniendo un promedio general que se puede apreciar en la siguiente gráfica 10. Donde el tratamiento II (100 kg de potasio/ha y 70% de agotamiento de humedad en el suelo, obtuvo el mejor crecimiento del grosor tallo en mm con respecto al de menor crecimiento donde fue el tratamiento I (60kg de potasio/ha; 35% y 70% de agotamiento de humedad en el suelo, al igual el tratamiento IV (180 kg de potasio/ha y 70% de agotamiento de humedad en el suelo) durante el ciclo agronómico del cultivo. El potasio promueve la tras locación de los asimilados de la planta azucarera.

En la gráfica 10, observamos que existió diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados para las variables de grosor del tallo en la planta de la variedad tipo LAICA 12 -339, Esto debido a la capacidad que tiene la misma planta de vegetación densa, cerrada, desarrollándose efecto de etiolación del tallo de la planta por ende una menor evaporación y mayor disponibilidad del recurso hídrico según (Amezcuca, 2003).

Gráfica 10. Análisis del crecimiento en el grosor del tallo en mm, de la caña de azúcar variedad tipo LAICA 12 -339, en los diferentes tratamientos durante el período 2019.



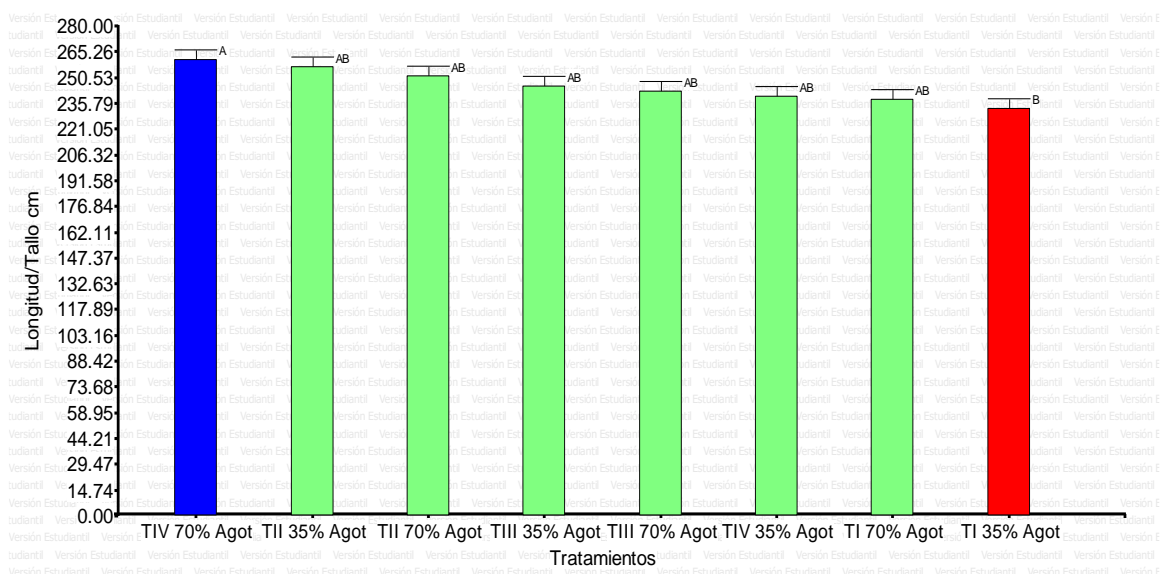
En la gráfica 10, observamos que existió diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados para las variables de grosor del tallo en la planta de la variedad LAICA 12 -339, Esto debido a la capacidad que tiene la misma planta de vegetación densa, cerrada, desarrollándose efecto de etiolación del tallo de la planta por ende una menor evaporación y mayor disponibilidad del recurso hídrico según (Amezcuca, 2003).

4.4.3 Determinación del efecto del potasio y porcentaje de agotamiento sobre los componentes primarios de la longitud del tallo en cm, en la caña de azúcar de la variedad tipo LAICA 12 -339, durante el año 2019

4.4.3.1 Longitud del tallo en (cm)

Durante el ensayo se realizaron nueve muestreos sobre la longitud de los tallos en (cm), en los tratamientos evaluados a intervalos de 30 días después de la siembra de la caña de azúcar. Las lecturas realizadas del muestreo se tomaron en relación a las longitudes de los tallos desde el suelo hasta la lígula de la caña de azúcar o inicio de las hojas verdaderas. Los resultados de los muestreos se pueden observar en la siguiente gráfica 11. Donde el tratamiento IV (180 kg de potasio/ha y 70% de agotamiento obtuvo el mejor crecimiento de la longitud del tallo en mm con respecto al de menor crecimiento este fue el tratamiento I (60kg de potasio/ha y 35% de agotamiento de agotamiento de humedad en el suelo) durante el ciclo fenológico y agronómico del cultivo de la caña de azúcar. El potasio promueve la tras locación de los asimilados de la planta azucarera y partiendo de lo anterior el componente primario del rendimiento que consiste en la longitud de los tallos de caña de azúcar fue influenciado por la aplicación de potasio de acuerdo al análisis estadístico.

Gráfica 11. Análisis del crecimiento en la longitud del tallo en cm de la variedad tipo LAICA 12 -339, en los diferentes tratamientos durante el período 2019.



En la gráfica 11. observamos que existió diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados para las variables de longitud del tallo de la planta variedad tipo LAICA 12 -339, Esto debido a la capacidad que tiene la misma planta de alongarse, en busca de la luz, forma una vegetación densa y cerrada, reduciendo la evaporación y mejora la eficiencia de distribución del agua, logrando que la planta tenga una mayor disponibilidad del recurso hídrico (Amezcuca, 2003).

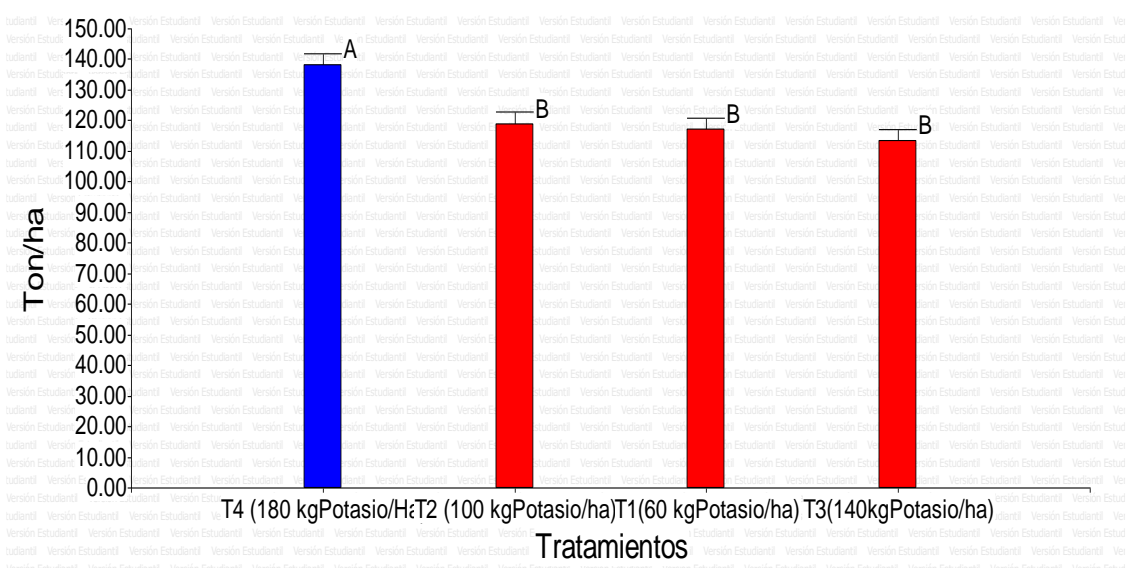
4.4.4 Determinación del efecto del potasio y porcentaje de agotamiento sobre los componentes primarios del peso en toneladas a nivel de cosecha, en la caña de azúcar de la variedad tipo LAICA 12 -339, durante el año 2019.

4.4.4.1 Cosecha en toneladas por hectáreas

Al nutrimento K se le considera el quinto elemento nutricional en importancia para las plantas, luego del carbono (C), Oxígeno (O), Hidrógeno (H) y Nitrógeno (N); según (Bertsch 2003), es el nutrimento especial por el que la caña de azúcar muestra mayor importancia por la que lo extrae y utiliza en mayor cantidad en la formación de azúcares.

Por su parte, (Bertsch 2003) considerando y ampliando la información anterior reporta para 67 datos de diferente origen y naturaleza, un promedio de extracción de K de 1,50 kg de K_2O /Ton de caña en un ámbito de valores extremos de 0,7 a 2,8 kg/Ton, lo que ratifica la alta variabilidad del elemento, según (Chaves M 2017).

Gráfica 12. Producción de caña de azúcar en toneladas métricas por hectárea en la variedad LAICA 12 339, durante el período 2019.



En la gráfica 12; observamos que existió diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados para las variables de peso en toneladas de campo/tratamiento, en la planta de la variedad. LAICA 12 -339; esto debido a la capacidad que tiene la planta de reducir la

evaporación y mejorar la eficiencia de distribución del agua, logrando que la planta tenga una mayor disponibilidad del recurso hídrico según (Amezcuca, 2003). Donde el mejor tratamiento fue IV, casi las 14 Ton/ha, usándose la más alta fertilización potásica en el ensayo.

De acuerdo a los resultados obtenidos y el análisis de varianza (ANDEVA) para la variable rendimiento de campo en toneladas por hectárea, existe diferencia significativa entre cada tratamiento evaluado, debido a que la probabilidad ($P > F$) es menor que 0.05, lo cual indica que todos los tratamientos evaluados no son iguales, atribuyéndose esto al comportamiento que presenta el potasio en el suelo el cual es semimóvil y disponible en el suelo por lo que queda atrapado o fijado en las capas de algunos tipos de arcillas presente en los suelos y específicamente del orden Mollisol, las que se contraen o expanden por efecto de la humedad del suelo, proceso por el cual permite atrapar los iones de potasio (K^+) haciéndolos lentamente disponibles para las plantas de caña de azúcar de la variedad LAICA 12 -339, que son altamente demandantes de los nutrientes macro y micro nutrientes especialmente necesario para el desarrollo fisiológico, productivo del insumo agua y formación de sacarosa. El coeficiente de variación para la evaluación de aplicación de potasio en el cultivo de la caña de azúcar de la variedad tipo LAICA 12 -339; fue de 6.45 % por lo que se considera que el experimento fue adecuadamente manejado, en vista que es menor de 20 %.

4.4.5 Determinación del efecto del potasio y porcentaje de agotamiento de humedad en el suelo, sobre los componentes primarios de la producción en kilogramos de azúcar por hectárea a nivel de la cosecha, de la variedad de caña de azúcar tipo LAICA 12 -339, durante el año 2019.

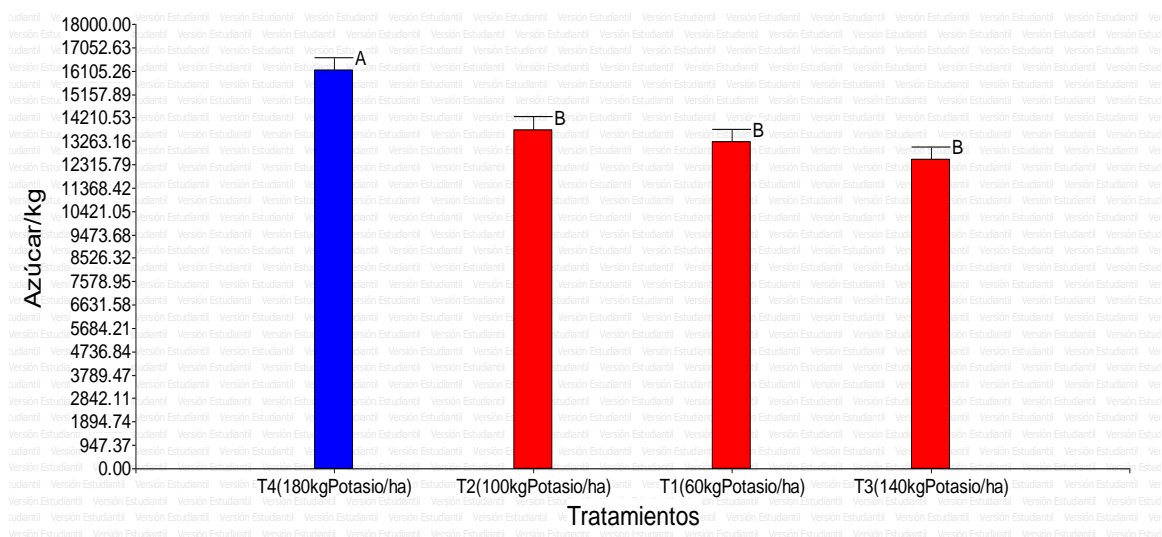
4.4.5.1 Cosecha en kilogramo de azúcar por hectáreas.

En un amplio estudio referencial, Chaves (1998, 1999b) encontró que la relación de extracción de nutrimentos por parte de la caña en el suelo y con ello, lo que consume desde siembra hasta cosecha, siguió el siguiente modelo como principal: $K > N = Si > Ca > S > P > Mg$, en el cual “El resultado de 54 experimentos de campo e invernadero realizados en varias zonas cañeras del mundo, indican que para producir una tonelada de caña, esa planta extrae en promedio un equivalente aproximado a 1,65 kilogramos de K, con un intervalo (amplitud) entre los valores mínimo de 0,27 kg y máximo de 4,10 kg/TM de tallos, constituyéndose en el nutrimento más removido del suelo por la caña de azúcar. Según (Chaves M 2017).

En el experimento, los datos obtenidos a nivel de campo productivo; se pueden apreciar en los resultados de las medias, que, si existe mayor variación en unos de los de los tratamientos evaluados sobre la dosis de potasio aplicada al cultivo de caña de azúcar, en la gráfica siguiente se puede detallar el comportamiento de los resultados obtenidos. Donde al menos un tratamiento, el IV en dosis de potasio se diferencia al resto con los 180 kg/Potasio/ha.

De acuerdo a los resultados obtenidos y el análisis de varianza (ANDEVA) para la variable rendimiento de kilogramos de azúcar por hectárea, existe diferencia significativa entre cada tratamiento evaluado, debido a que la probabilidad ($P > F$) es menor que 0.05, lo cual indica que todos los tratamientos evaluados no son iguales, atribuyéndose esto al comportamiento que presenta el potasio en el suelo el cual es semimóvil y disponible en el suelo por lo que queda atrapado o fijado en las capas de algunos tipos de arcillas presente en los suelos y específicamente del orden Mollisol, las que se contraen o expanden por efecto de la humedad del suelo, proceso por el cual permite atrapar los iones de potasio (K^+) haciéndolos lentamente disponibles para las plantas de caña de azúcar de la variedad LAICA 12-339, que son altamente demandantes de los nutrientes macro y micro nutrientes especialmente necesario para el desarrollo fisiológico, productivo del insumo agua y formación de sacarosa. El coeficiente de variación para la evaluación de aplicación de potasio en el cultivo de la caña de azúcar fue de 5.45 % por lo que se considera que el experimento fue adecuadamente manejado, en vista que es menor de 20 %

Gráfica 13. Producción de azúcar en kilogramos por hectárea a nivel de agroindustria de la variedad tipo LAICA 12 -339, durante el período 2019.



Según (Chaves M 2017), No resulta sencillo adoptar criterio certero para definir necesidades y recomendar cantidades apropiadas de K en un programa de fertilización comercial, en consideración de que su nivel crítico en el suelo es alto lo que se traslada y traduce en dosis aún mínimas muy altas de limitada viabilidad económica, observamos en la gráfica 13, existió diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados para la variable kilogramos de azúcar/tratamiento; de la planta variedad tipo. LAICA 12 -339, induce un mejoramiento en la calidad de los productos (color, tamaño, acidez, resistencia al transporte, manipulación y almacenamiento, valor nutritivo, cualidades industriales Donde el mejor tratamiento fue IV, con 16105.26 kg/Azúcar/hectárea, usándose la más alta fertilización potásica en el estudio. Su relevancia se fundamenta en su activa y dinámica participación directa e indirecta en mecanismos

metabólicos y fisiológicos asociados con la expresión y manifestación del potencial productivo de la planta de caña de azúcar. De manera genérica (Chaves 1999b) destaca las siguientes funciones del K:

- Actúa como activador enzimático en más de 40 enzimas. Regula desde las reacciones de fosforilación hasta la síntesis de proteínas.
- El ion K^+ es el catión principal en el citoplasma, por lo que mantiene controlado el balance de las cargas aniónicas.
- Interviene en el control de la turgencia de células especializadas (estomas).
- Actúa sobre la apertura y cierre de las estomas.
- Interviene en el metabolismo de los carbohidratos y la formación del almidón.
- Interviene en la manutención del potencial osmótico de las células.
- Opera sobre el transporte de carbohidratos: la deficiencia de K induce reducción de la sacarosa en los tallos y la disminución de la respiración, fotosíntesis y formación de clorofila.
- Favorece la tolerancia a las heladas, la sequía y la salinidad de los suelos.
- Promueve la resistencia a enfermedades como el *Helminthosporium sacchari*.
- Reduce el volcamiento y la defoliación de las plantas.
- Induce un mejoramiento en la calidad de los productos (color, tamaño, acidez, resistencia al transporte, manipulación y almacenamiento, valor nutritivo, cualidades industriales, etc.).
- Participa en la permeabilidad de las membranas celulares.
- Actúa sobre el transporte de azúcares a nivel de floema.
- La deficiencia de K favorece la actividad hidrolítica de la enzima invertasa, generando una mayor cantidad de azúcares reductores.
- Participa en la síntesis de la Auxina de crecimiento y con ello sobre los tejidos meristemáticos.
- Toma parte en la formación de los ácidos orgánicos y en la neutralización de los mismos, favoreciendo un pH adecuado en la planta.
- La maduración por lo general se retarda si hay insuficiencia de K en la planta.
- Interviene en la formación de la pared celular lo que evita el encamado.
- Posibilita y favorece el desplazamiento normal de los azúcares de las hojas hacia el tallo.
- No se le ubica sin embargo como parte de algún tejido o estructura de la planta.

La participación e influencia del K está vinculada con la productividad de caña, azúcar y directamente con los jugos, pudiendo su exceso (consumo de lujo) o insuficiencia afectar y disminuir la calidad de la materia prima, influenciando los contenidos de sacarosa (Pol) y fibra industrial de la caña.

Cuadro 26. Análisis de medias de las variables de la caña de azúcar variedad LAICA 12 – 339, a nivel productivo en toneladas de campo por hectáreas y kilogramos de azúcar por hectáreas, durante el año 2019.

Tratamientos	Ton/Campo/ha	Azúcar/kg/ha
I (60 kg K ₂ O/ha)	117.02	13248.50
II (100 kg K ₂ O/ha)	118.91	13727.02
III (140 kg K ₂ O/ha) (Testigo)	113.33	12512.99
IV (180 kg K ₂ O/ha)	138.33	16145.54
E.E	3.84	518.01
CV%	5,45	6.45

Fuente: Elaboración propia 2020.

E.E: Error estándar

CV%: Coeficiente de variación

Significancia de acuerdo con la prueba de Tukey.

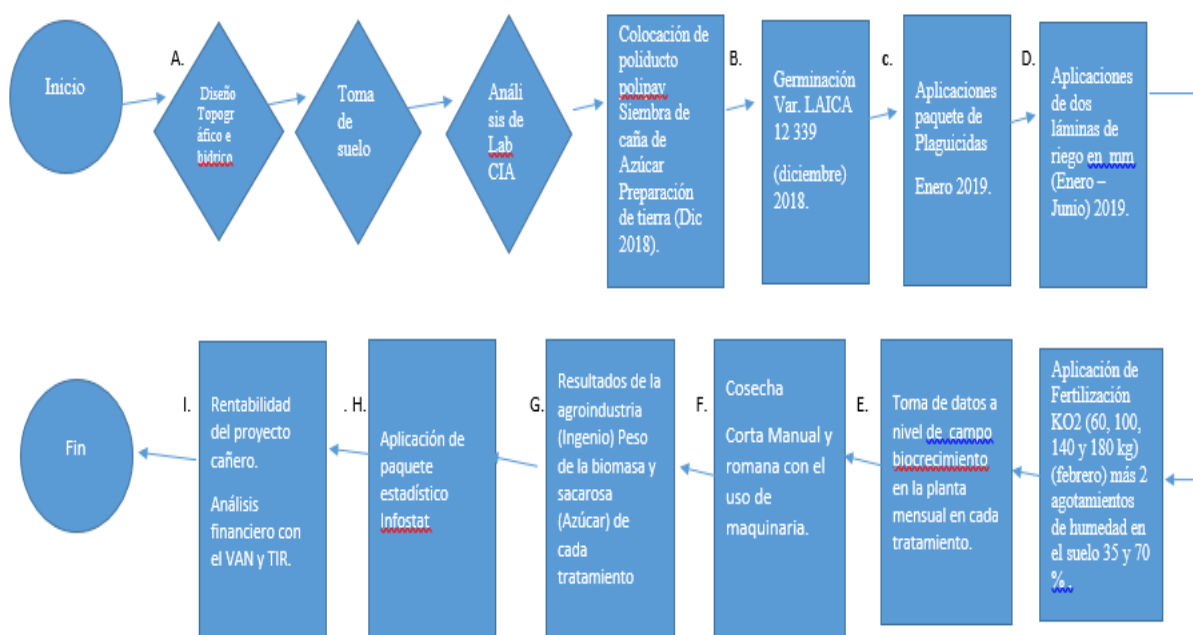
4.5 ANALISIS AGROFINANCIERO DE LA CAÑA DE AZUCAR VARIEDAD TIPO LAICA 12 -339.

Se analizó las condiciones agrofinancieras de la zona en estudio del experimento, en el cultivo de la caña de azúcar variedad LAICA 12.339, donde a continuación se detalla la información.

4.5.1 Flujograma del proyecto

Figura 4. El Flujograma del proyecto.

Efecto de la fertilización potásica sobre el rendimiento y la tolerancia al estrés hídrico en caña de azúcar (*Sacharum officinarum*) de la variedad LAICA 12 339, en la finca de la Sede de Guanacaste de la Universidad Técnica Nacional. Durante el 2019.



Fuente: Elaboración propia 2019.

Se desarrolló los cálculos financieros del estudio de la planta de caña de azúcar de la variedad LAICA 12-339, con su VAN y TIR, de los cuadros de los tratamientos I, II, III y IV los cuadros 27, 28, 29 y 30 respectivamente.

Cuadro 27. Calculo del VAN y TIR del Tratamiento I de la variedad tipo LAICA 12 -339 UTN durante el año 2019.

Tratamiento I							
Inversión Inicial		₺	630,324.53				
Flujo de Ingresos		Flujo de Egresos		Flujo de Efectivo Neto			
A		B		A-B		TIR	
Año	Valor	Año	Valor	Año	Valor	-₺	630,324.53
1	697532.55	1	₺ 630,324.53	1	₺ 67,208.02	₺	67,208.02
2	837039.06	2	₺ 504,259.62	2	₺ 332,779.44	₺	332,779.44
3	735092.00	3	₺ 441,227.17	3	₺ 293,864.82	₺	293,864.82
4	599162.58	4	₺ 378,194.72	4	₺ 220,967.86	₺	220,967.86
5	429250.80	5	₺ 252,129.81	5	₺ 177,120.99	₺	177,120.99
TOTAL	₺ 3,298,076.98	TOTAL	₺ 2,206,135.86	TOTAL	₺ 1,091,941.13		
Formulación de Datos					VAN	₺	145,071.81
f1	₺ 67,208.02			TIR			20%
f2	₺ 332,779.44						
f3	₺ 293,864.82						
f4	₺ 220,967.86						
f5	₺ 177,120.99						
n	5 años						
i	12% Tasa de Interés (0,12)						
io	₺ 630,324.53						

Fuente: Elaboración propia 2020.

Cuadro 28. Calculo del VAN y TIR del Tratamiento II de la variedad tipo LAICA 12 -339 UTN durante el año 2019.

Tratamiento II							
Inversión Inicial		₺	636,902.95				
Flujo de Ingresos		Flujo de Egresos		Flujo de Efectivo Neto			
A		B		A-B		TIR	
Año	Valor	Año	Valor	Año	Valor	-₺	636,902.95
1	722728.50	1	₺ 636,902.95	1	₺ 85,825.55	₺	85,825.55
2	867274.20	2	₺ 509,522.36	2	₺ 357,751.84	₺	357,751.84
3	761644.65	3	₺ 445,832.07	3	₺ 315,812.59	₺	315,812.59
4	620805.25	4	₺ 382,141.77	4	₺ 238,663.48	₺	238,663.48
5	444756.00	5	₺ 254,761.18	5	₺ 189,994.82	₺	189,994.82
TOTAL	₺ 3,417,208.60	TOTAL	₺ 2,229,160.33	TOTAL	₺ 1,188,048.28		
Formulación de Datos					VAN	₺	209,196.86
f1	₺ 85,825.55			TIR			24%
f2	₺ 357,751.84						
f3	₺ 315,812.59						
f4	₺ 238,663.48						
f5	₺ 189,994.82						

Fuente: Elaboración propia 2020.

Cuadro 29. Calculo del VAN y TIR del Tratamiento III de la variedad tipo LAICA 12 -339 UTN durante el año 2019.

Tratamiento III						
Inversión Inicial		C 616 725,76				
Flujo de Ingresos		Flujo de Egresos		Flujo de Efectivo Neto		
A		B		A-B		TIR
Año	Valor	Año	Valor	Año	Valor	-C 616 725,76
1	658807,50	1	C 616 725,76	1	C 42 081,74	C 42 081,74
2	790569,00	2	C 493 380,61	2	C 297 188,39	C 297 188,39
3	694281,75	3	C 431 708,03	3	C 262 573,72	C 262 573,72
4	565898,75	4	C 370 035,46	4	C 195 863,29	C 195 863,29
5	405420,00	5	C 246 690,30	5	C 158 729,70	C 158 729,70
TOTAL	C 3 114 977,00	TOTAL	C 2 158 540,16	TOTAL	C 956 436,84	
Formulación de Datos				VAN	C 59 200,93	
f1	C 42 081,74			TIR	16%	
f2	C 297 188,39					
f3	C 262 573,72					
f4	C 195 863,29					
f5	C 158 729,70					
n	5 años					
i	Tasa de Interés 12%					
io	C 616 725,76					

Cuadro 30. Calculo del VAN y TIR del Tratamiento IV de la variedad tipo LAICA 12 -339 UTN durante el año 2019.

Tratamiento IV						
Inversión Inicial		C 614,450.76				
Flujo de Ingresos		Flujo de Egresos		Flujo de Efectivo Neto		
A		B		A-B		TIR
Año	Valor	Año	Valor	Año	Valor	-C 614,450.76
1	850063.50	1	C 614,450.76	1	C 235,612.74	C 235,612.74
2	1020076.20	2	C 491,560.61	2	C 528,515.59	C 528,515.59
3	895836.15	3	C 430,115.53	3	C 465,720.62	C 465,720.62
4	730182.75	4	C 368,670.46	4	C 361,512.29	C 361,512.29
5	523116.00	5	C 245,780.30	5	C 277,335.70	C 277,335.70
TOTAL	C 4,019,274.60	TOTAL	C 2,150,577.66	TOTAL	C 1,868,696.94	
Formulación de Datos				VAN	C 735,853.21	
f1	C 235,612.74			TIR	52%	
f2	C 528,515.59					
f3	C 465,720.62					
f4	C 361,512.29					
f5	C 277,335.70					
n	5 años					
i	Tasa de interés 12 %					
io	C 614,450.76					

Fuente: Elaboración propia 2020.

4.5.3 Evaluación financiera del Valor Actual Neto (VAN) del proyecto cañero variedad tipo LAICA 12 -339.

La evaluación del proyecto cañero de la variedad LAICA 12 339, realizado en los cuadros 27, 28, 29 y 30. Con el paquete informático de Excel, nos facilitó en forma significativa el cálculo e interpretación de los indicadores financieros como es el VAN Y TIR, donde podemos apreciar que la tasa de interés al 12% utilizada, genera mayor rentabilidad financiera para el tratamiento IV donde el VAN es positivo; además de recuperarse la inversión ₡ 614,450.76, se obtiene una ganancia de ₡ 735,853.21, continuando con el estudio financiero del VAN para los tratamientos II una inversión de 636,902.95 y ganancia de 209,196.96 , continuando con el tratamiento I con una inversión de 630,324.53 y una ganancia de 145,071.81 por último el tratamiento III con una inversión 616,725.76 y una ganancia de 59,200.93 en ese orden respectivo descendente sometido al estudio financiera del VAN.

4.5.4 Evaluación financiera de la Tasa Interna de Retorno (TIR), del proyecto cañero variedad tipo LAICA 12 -339.

La evaluación del proyecto cañero de la variedad LAICA 12 - 339, realizado en los cuadros 27, 28, 29 y 30, en este caso entrega un valor porcentual que tiene el proyecto cañero, donde corresponde al porcentaje anual a los que se le devolverán al desarrollador del proyecto (inversionista), las diferencias de cada periodo en cada año los ingresos menos los costos; donde es positivo e indican que el proyecto cañero es muy rentable y viable según el mejor tratamiento donde fue el IV con esa tasa de 52%, seguido del tratamiento II con una tasa de 24%, continuando el tratamiento I con una tasa de 20% y por último el tratamiento III con una tasa del 16%.

Los resultados obtenidos en este estudio, se constituyen en un aporte que contribuye al conocimiento agronómico, fisiológico y agrícola bajos las condiciones agroclimáticas de la región del cantón de Cañas Guanacaste, Costa Rica, apoyando al proyecto cañero de la UTN, en especial esta variedad nueva promisoría en el país de la variedad tipo LAICA 12 -339, con dos porcentajes de agotamiento hídrico a nivel de suelo, a acompañado de 4 fertilizaciones potásicas en diferentes dosis, buscando la mayor productividad, estas van a contribuir a la sostenibilidad y competitividad económica de los productores cañeros y sostenibilidad ambiental.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

- El estudio experimental de la caña de azúcar variedad LAICA 12 -339, presentó un suelo muy completo desde el punto de vista mineralógico en relación al contenido de los macronutrientes y micronutrientes, no presento deficiencias de minerales, se considera un suelo Mollisol sin deficiencias de minerales, lo demuestran los análisis del laboratorio del CIA, de la Universidad de Costa Rica.
- La prueba de infiltración permitió tener una noción en el comportamiento del agua dentro del perfil de suelo, como decisiones en cuanto al diseño agronómico e hidráulico que mejor se ha determina en la velocidad con que el agua debe de ser aplicada a la superficie sin que ocurran perdidas por escurrimiento superficial.
- De acuerdo a la infiltración base obtenida, se cataloga como alta y propia de suelos arenosos o suelos permeables que poseen alta porosidad, lo cual facilita el movimiento de agua hacia estratos inferiores.
- Al manejar la cobertura del rastrojo obtuvimos beneficios relacionado con la disminución de la erosión eólica, la reducción de las pérdidas de humedad del suelo, ventajas sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos, el sistema produce modificación de las temperaturas del suelo y la población de arvenses.
- La fertilización se realizó dos meses después de la germinación, una sola vez sin fraccionar por ser una zona de baja precipitación, obteniéndose excelentes resultados a nivel de producción de sacarosa y su relación del porcentaje de agotamiento de humedad en el suelo.
- Los principales componentes climáticos que controlan el crecimiento, el rendimiento y la calidad de la caña son la temperatura, la luz y la humedad disponible. La planta crece bien en regiones tropicales asoleadas. Efecto del clima sobre los rendimientos de caña de azúcar y la recuperación de azúcar, se adaptó muy bien a nivel productivo la variedad LAICA 12 – 339.
- Los resultados de campo obtenidos al momento de la cosecha relacionado con la evaluación de las cuatro dosis de potasio en el cultivo de la caña de azúcar variedad LAICA 12 -339 en el suelo Mollisol, con textura franco limosa, además del ciclo fenológico productivo de la planta, estadísticamente se rechaza la hipótesis nula, que corresponde que al menos una dosis de potasio en estudio tendrán diferente efecto sobre la variables del estudio rendimiento en toneladas de caña por hectárea y rendimiento en kilogramos de azúcar por hectárea, al 5% de Tukey de significancia, tomando en cuenta que los niveles de potasio en el suelo, se encontraban en el rango normal, según los resultados obtenidos en el muestreo de suelo y analizados por el laboratorio del CIA, UCR. Para estas evaluaciones se tuvo un coeficiente de variación de toneladas de campo

por hectáreas del 5.45 % y 6.45 % kilogramos de azúcar por hectárea, respectivamente de manera que la evaluación del efecto potasio y porcentaje de agotamiento de humedad en el suelo fue conducida exitosamente.

- La Interrelación de la variable de toneladas de caña de azúcar por hectárea entre los kilogramos de potasio por hectáreas versus el porcentaje de agotamiento de humedad en el suelo; nos demostró en el estudio que el tratamiento de mayor producción de toneladas de caña de campo por hectárea fue el tratamiento IV con 180 kg k_2O /ha y el 35% de agotamiento de humedad en el suelo, donde fue el mejor tratamiento con 146.04 Ton/ha de caña de azúcar de campo y la menor cantidad de producción del estudio fue el tratamiento III con 140 kg k_2O /ha y su relación del 35% de agotamiento de humedad en el suelo con 124.75 Ton/ha de caña de azúcar de campo, este último siendo como el testigo.
- La Interrelación de la variable toneladas de azúcar por hectáreas entre los kilogramos de potasio por hectáreas versus el porcentaje de agotamiento de humedad en el suelo; nos demostró en el estudio que el tratamiento de mayor producción de sacarosa por toneladas por hectárea fueron los tratamientos III con 140 kg k_2O /ha (testigo) y IV con 180 kg k_2O /ha ambos con un 35% de agotamiento de la humedad en el suelo; representaron las mayores cantidades de sacarosa, estos fueron 17.73 Ton/azúcar/ha y 17.32 Ton/azúcar/ha respectivamente y la menor cantidad fue el tratamiento I con 60 kg k_2O /ha y el 35% de agotamiento de humedad en el suelo con 13.95 Ton/azúcar/ha.
- Se determinó que el efecto de la fertilización potásica a menor cantidad de kg k_2O /ha y un mayor porcentaje de agotamiento de humedad en el suelo la variable rendimiento productiva de toneladas de caña y toneladas de azúcar disminuyen significativamente.
- Se determinó que el efecto de fertilización potásica sobre el rendimiento y la tolerancia al estrés hídrico, en caña de azúcar de la variedad LAICA 12 -339, en el suelo tipo Mollisol de mostró que financiera y económicamente es factible; donde el mejor TIR se presentó, en el tratamiento IV con 52 %, ésta es mayor comparada con una tasa referencial. El valor actual neto del tratamiento IV (VAN) fue de ₡ 735,853.21, comparado con los demás tratamientos estudiados II, I y III respectivamente y económicamente factibles.
- Se logró maximizar el área productiva dentro de los tratamientos, en la obtención de altos rendimientos productivos a nivel de campo, como lo es el peso expresado en toneladas, donde este fue un record en el manejo técnico - productivo en caña de azúcar para la finca de la UTN, dándose 131.60 ton/ha y un total de 14,606.15 azúcar kg/ha.
- El nutrimento potasio, es el nutrimento esencial de mayor extracción a nivel de suelo y consumo de la planta de caña de azúcar, así lo demuestra el anexo 1. En su análisis

químico de suelo después de la cosecha de la caña de azúcar; en su importancia en el manejo de la nutrición para la variedad LAICA 12 -339, en su contenido de azúcar.

- El plan de riego más la información recopilada, es muy importante para la planificación de la producción de caña de azúcar, bajo el riego por gravedad por conducción de poliducto tipo polipipe en la finca UTN.

RECOMENDACIONES

- Al ser un suelo del tipo Mollisol, este presentó un contenido de porcentaje de materia orgánica alrededor de 2,12 donde se considera bajo el contenido para este orden según (Melendez G. et al 2001); estos presentan la clasificación como los mejores suelos del mundo por su alta fertilidad y alto contenido de materia orgánica, se recomienda aplicarle abonos verdes, incorporación de residuos de cosecha o enmiendas al lote TNR 25.
- Al tener este contenido de materia orgánica baja en su cantidad, existe una relación directa con el elemento nutrimento llamado cinc (zn) este se encontró en su límite crítico a nivel suelo, se recomienda aplicar enmiendas orgánicas en el futuro para subir su contenido de materia orgánica para que no se manifieste este tipo de deficiencias, del mismo u otro micro elemento de forma antagónica.
- Con el propósito de analizar más detenidamente el fenómeno de alta infiltración en este suelo experimental del tipo Mollisol, se recomienda realizar estudios más concisos de los parámetros físicos del suelo en un perfil mayor a 50 cm.
- Se debe monitorear la calidad del agua de riego, porque puede ser la entrada de posibles factores en el futuro de alguna afectación de la química de los suelos (bicarbonatos).
- El plan de riego y el porcentaje de agotamiento de humedad en el suelo estudiado, para la variedad LAICA 12 -339, es importante como base para la planificación de la producción bajo riego por gravedad, se recomienda utilizar el poliducto tipo polypepe donde este se minimiza la pérdida hídrica a través del recorrido hacia los lotes de caña de azúcar para la finca de la UTN, porque este es un material sostenible y cuida el ambiente.
- Para el área considerada en este estudio, durante el mes de enero ocurre la mayor demanda de agua, debido a la aplicación de riegos prezafra en caña de azúcar.
- En el futuro deberán plantearse investigaciones de índole de impacto ambiental de los excedentes hídricos en los sistemas de riego con sus pérdidas y la calidad que llevan cuando salen de las áreas de producción irrigadas hacia los drenajes.
- Se recomienda aplicar procesos de extensión y capacitación a los productores de caña de azúcar, en relación al manejo agro técnico, como el riego, agrícola del suelo, fitosanitario y financiero, para la nueva variedad tipo LAICA 12 -339.

CAPITULO VI

LITERATURA CITADA

- ASOCIACION NATURLAND 2000. Caña de azúcar. Agricultura orgánica en el trópico y subtropico. Guía de 18 cultivos. pp 20.
- AVALOS J Y PACHECO 2012. Programación del riego de la caña de azúcar en la provinciade Villa Clara, Cuba. Revistas ciencias técnicas agropecuarias. Rev Cie Téc Agr vol.21 no.4 San José de las Lajas oct.-dic. 2012
- AMAYA A, LARRAHONDO. J.E, RANGEL H, MORENO C, Y VIVEROS V, 2001. C.A CeniAD: Nuevo sistema para la determinación de sacarosa en caña de azúcar. Cali. CENICANÑA, 8P.
- AMEZCUA, F, 2003. Francisco Javier Amezcua Vivas, Un Ingeniero Dedicado A La Investigación. Revisado el 10 de octubre del 2010 desde Internet: <http://www.eltravieso.com>
- ARAYA A 2009. Tesis Establecimiento de un plan de riego para las áreas de docencia, investigación y producción de la finca de la Universidad Técnica Nacional, sede Guanacaste. Universidad de Costa Rica pp 63.
- ALEXANDER A.G. 1973. Sugarcane physiology. Elsevier, Amsterdam.
- ALLEN R.J., Jr., G. KIDDER AND G.J. GASCHO. 1978. Predicting tons of sugarcane per acre using solar radiation, temperature and percent plant cane, 1971 through 1976. Proc. Am. Soc. Sugar Cane Technol. 7:18-22.
- ARÉVALO, R.A.; BERTONCINI, E.I.; GUIRADO, N.; CHAILA, S. 2006. Los términos Cultivar o Variedad de caña de azúcar (*Saccharum spp.*). Revista Chapingo Serie Horticultura 12(1): pp 5-9.
- BERTSCH HERNÁNDEZ, F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. 1ed. San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS). 307 p.
- BRESLER E., B.L. MCNEAL and D.L. CARTER. 1982. Saline and sodic soils. Springer-Verlag, Berlin.
- Bouwer H.et al 1988. Water conservation. Agricultural Water Management, Amsterdam, Netherlands, v.14, p.233-241
- CASTILLO R, et al 2004. Fisiología, floración y mejoramiento genético de la caña de azúcar en ecuador. Centro de investigación de la caña de azúcar del ecuador CINCAE. Pp 3.
- Colegio de Postgraduados. 2008. Manejo Sustentable de la Fertilidad del Suelo y de la Nutrición de la Caña de Azúcar.
- CASTRO, O. 2005b. Respuesta de la caña de azúcar al riego en la zona cañera guatemalteca (Estrategias generales y específicas sobre ¿Cuánto y cuándo

regar?), CENGICAÑA. 2005. Memoria. Presentación de resultados de investigación. Zafra 2004/2005. Guatemala. Pp 116-126.

- CASTRO, O. (2009). Consulta sobre los coeficientes de cultivo Kc, para caña de azúcar. Santa Lucía Cotz, Escuintla, Guatemala. CENGICAÑA.
- CHAVES SOLERA, M. 1999b. El Nitrógeno, Fósforo y Potasio en la caña de azúcar. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 130 p.
- CLEMENTS H.F. 1980. Sugarcane Crop Logging and Crop Control: Principles and Practice. University of Hawaii Press.
- COALE F.J., C.A. SÁNCHEZ, F.T. JZUNO and A.B. BOTTCHEER. 1993. Nutrient accumulation and removal by sugarcane grown on Everglades Histosols. Agron. J. 85:310-315.
- COLEGIO DE POSTGRADUADOS. 2009. Informe Final Diagnóstico, modelaje y recomendaciones de la fertilidad de suelos del campo cañero. Etapa II. Ingenio Atencingo S.A. de C.V.
- CORPOICA SENA 1998. Variedades. Colombia. www.fao.org
- DEL TORO, F. et al 1983. Botánica de la Caña de Azúcar. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba.
- DEL TORO, F. Dávila. A. Fernández R. (1990). Botánica y fisiología de la caña de azúcar. Pp 194-195. La Habana: Pueblo y Educación.
- DI RIENZO A. et al 2010. Infostat software estadístico. Universidad Nacional de Córdoba.
- DOOREMBOS, J; PRUITT, W.D. 1977. Las necesidades de agua para los cultivos. Estudios de la FAO, Riego y Drenaje, Boletín N° 24. FAO, Roma. 194p.
- ECURED (1 de julio 2016). Caña de azúcar. Obtenido de Ecured.cu: http://www.ecured.cu/Ca%C3%B1a_de_az%C3%BAcar.
- ESPINOSA, E. 1976. Los distritos de riego, su administración, operación y conservación. CECSA. México, D.F. 623p.
- EXEBIO, E; PALACIOS, E. 1989. Introducción a la teoría de la operación de los distritos y sistemas de riego. Centro de Hidrociencias. Editorial Futura. México, DF. 485p.
- Fallas, J. 2012. Analisis de la varianza . Obtenido de Analisis de la varianza http://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad2/complementarias/analisis_de_varianza_2012.pdf
- FAO. Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar. <http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s02.pdf>
- FOGLIATA F. 1995. Agronomía de la caña de azúcar: tecnología, costos, producción. Universidad de Texas. Ediciones el Graduado. Pp 708 y 752.

- GASCHO G.J., D.L. ANDERSON and J.E. BOWEN. 1993. Sugarcane. pp. 37-42. In: W. F. Bennett (ed.). Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. Amer. Phytopath. Soc., St. Paul, Minnesota. Gosnell.
- GASCHO G.J. and S.F. SHIH. 1982. Sugarcane. pp. 445-479.
- GÓMEZ, P. 1988. Riegos a presión, aspersión y goteo. Editorial AEDOS. 3ra edición. Barcelona, España. 332p.
- GRASSI, C. 1987. Diseños y operación del riego por superficie. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. Mérida, Venezuela. 415p.
- JONES C.A. 1980. A review of evapotranspiration studies in irrigated sugarcane in Hawaii. Hawaiian Planters' Record 59:195-214.
- JONES C.A. 1985. C4 grasses and cereals. Growth, development and stress response. Wiley, New York.
- KINGSTON G. 1977. The influence of accessibility on moisture extraction by sugar cane. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol. 16:1239-1250.
- KLEIBER, J; ESTALELLA, J. 1924. Compendio de Física y Química. Editorial Gustavo Gilí. 3era edición. Barcelona, España. 384p.
- KOEHLER P.H., P.H. MOORE, C.A. JONES, A. De la Cruz, and A. Marezki. 1982. Response of drip-irrigated sugarcane to drought stress. Agron. J. 74:906-911.
- LEITÓN, S. 1993. Riego y Drenaje. EUNED. San José, Costa Rica. 179p
- LEÓN, J, et al 2012. Desarrollo histórico del sector agroindustrial de la caña de azúcar en el siglo XX: aspectos económicos, institucionales y tecnológicos / Jorge León Sáenz, Nelson Arroyo Blanco. – San José, C.R.: Instituto de Investigaciones en Ciencias Económicas, c2012. xxiv, 256 p.: il.
- MAG 1991. Aspectos Técnicos sobre Cuarenta y Cinco Cultivos Agrícolas de Costa Rica. Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica.
- MATA, R. 1991. Los Ordenes de suelos de Costa Rica. Taller de Erosión. Memoria, Heredia, MADE, UNA.
- MATA, R; Rosales, A; Vásquez, A; Sandoval, D. 2013. Mapa de Órdenes de Suelos de Costa Rica. 2 ed. San José, Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. Esc 1: 200.000. Color.
- MAAS E.V. and G.J. HOFFMAN. 1977. Crop salt tolerance: Current assessment. J. Irrig. Drainage Div. Am. Soc. Civil Eng. 103:115-134.
- MELÉNDEZ G y MOLINA E 2001. Memoria. Fertilidad de suelos y manejo de la nutrición de cultivos en Costa Rica. Pp 92.
- METE R. 2014. Valor actual neto y Tasa de retorno: su utilidad como herramientas para el análisis y evaluación de proyectos de inversión. Instituto de Investigación en

- Ciencias Económicas y Financieras Universidad La Salle – Bolivia. VOL 7: (67-85), MARZO 2014.
- MITCHELL D.J., THORBURN P.J. AND LARSEN P. 2000. Quantifying the loss of nutrients from the immediate area when sugarcane residues are burnt. In: Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol. 22:206-211.
- MORALES M. 2020. Docente Maestría de Riego UCR.
- NÚÑEZ, J, 2000. Fundamentos de Edafología. EUNED. 2da edición. San José, Costa Rica. 185p.
- OJEDA, W; SIFUENTES, E; REBOLLEDO, N; GONZÁLEZ, M; GONZÁLES, J; GUILLÉN, J. 1999. Pronóstico del riego en tiempo real. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Morelos, México. 203p.
- ORTEGA, S y ACEVEDO, C. 1999. Programación del riego. Comisión Nacional de Riego, Universidad de Talca. Chile. 15p.
- PALACIOS, E. 1981. Manual de operación de distritos de riego. Universidad Autónoma de Chapingo. 3ra edición. Chapingo, México.333p.
- PAZ-VERGARA J.E., A. VÁSQUEZ, W. IGLESIAS and J.C. SEVILLA. 1980. Root development of the sugarcane cultivars H32-8560 and H57-5174, under normal conditions of cultivation and irrigation in the Chicama Valley. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol. 17:534-540.
- PICON D. 2018. Especificaciones técnicas del poliducto polypipe.
- ROMERO, E. R., J. SCANDALIARIS, P. A. DIGONZELLI, M. F. Leggio NEME, J. A. GIARDINA, J. FERNÁNDEZ de ULLIVARRI, S. D. CASEN, M. J. TONATTO y L. G. P. ALONSO. Página Web de NETAFIM, <http://www.sugarcane crops.com/introduction/>
- SCANDALIARIS J., PÉREZ F., RUFINO M. y ROMERO E. 2000. La cosecha en verde como estrategia para disminuir el impacto ambiental de la caña de azúcar. In: Memorias 5to Congreso de ATALAC, 13avo Congreso de ATACA, 14avo Congreso de ATACORI. San José, Costa Rica. p. 165-166.
- SCRIBD. Importancia de los brix en el proceso de la caña de azúcar. <https://es.scribd.com/document/124960071/Importancia-de-los-Brix-en-el-proceso-de-cana-de-azucar>
- SMITH D. 1994. Principios y prácticas de prueba y evaluación de máquinas y equipos agrícolas. Boletín de servicios agrícolas de la FAO N° 110. Roma: Italia. FAO
- STRASBURGER, E.; NOLL, F.; SCHENCK, H.; SCHIMPER, A. F. W. 1988. Tratado de Botánica. 6ª ed. Española. Traducción de la 32ª ed. Alemana por Oriol de Bolós. Barcelona. Mirin. Pp 1038.

- SUGARCANE. (1 de julio del 2016). Manejo de la cosecha. Obtenido de sugarcane.crops.com
com
http://www.sugarcane.crops.com/s/agronomic/practices/harvesting_management/.
- SUBIRÓS F. 2000. El cultivo de la caña de azúcar. San José, Costa Rica, EUNED pp 55.
- SUGARCANE crops.com clima <http://www.sugarcane.crops.com/s/climate/>.
- VARGAS J 2011. Relación de la precipitación anual y el rendimiento agrícola de Central Azucarera Tempisque S.A. CATSA de las últimas 7 zafras. Guanacaste, Costa Rica.
- VALERIO, C. 1998. Anotaciones sobre Historia Natural de Costa Rica. EUNED. San José, Costa Rica.152p.
- VALVERDE, J. 2000. Riego y Drenaje. EUNED. San José, Costa Rica.223p.
- VAN. DILLEWIJIN 1978: Botánica de la caña de azúcar. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba, ICL. 13.
- VÁSQUEZ A et al 2012. Mapa de órdenes de suelos de Costa Rica.
- VILLALOBOS, E. 2001. Fisiología de la producción de los cultivos tropicales, fascículo N°1. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 228p.
- VILLALOBOS, M. 2008. Fundamentos de riego. Escuela de Ingeniería Agrícola Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 208p.
- VILLALOBOS, M. 2008. Riego por surcos. Escuela de Ingeniería Agrícola Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 109p.
- VILLÓN, M. 2002. Hidrología. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 436p.
- VILLON, M. 2006. Drenaje. I ed- Cartago. Editorial Tecnológica de Costa Rica 544p
- ZIMMERMAN, J. 1981. El riego. CECSA. México, D.F.604p
- ZÚÑIGA, E. 1998. Diseño y evaluación del riego por superficie. EUNA. Heredia, Costa Rica.209p.

CAPITULO VII

ANEXOS

3 Riego en Febrero (35% Agotamiento)	1-11-28/02/2019	1-11-28/02/2019																	₡	12,630.75
2 Riego en Febrero (70% Agotamiento)	1-21/02/2019	1-21/02/2019																	₡	8,420.50
3 Riego en Marzo (35% Agotamiento)	1-11-21/03/2019	1-11-21/03/2019																	₡	12,630.75
2 Riego de Marzo (70% Agotamiento)	1-21/03/2019	1-21/03/2019																	₡	8,420.50
3 Riego en Abril (35% Agotamiento)	1-11-21/04/2019	1-11-21/04/2019																	₡	12,630.75
2 Riego de Abril (70% Agotamiento)	1-21/04/2019	1-21/04/2019																	₡	8,420.50
3 Riego en Mayo (35% Agotamiento)	1-11-21/05/2019	1-11-21/05/2019																	₡	12,630.75
2 Riego de Mayo (70% Agotamiento)	1-21/05/2019	1-21/05/2019																	₡	8,420.50
3 Riego en Junio (35% Agotamiento)	1-11-21/06/2019	1-11-21/06/2019																	₡	12,630.75
2 Riego de Junio (70% Agotamiento)	1-21/06/2019	1-21/06/2019																	₡	8,420.50
D. Laminas de Riego																			₡	126,307.50
Fertilización Urea	4/2/2019	4/2/2019																	₡	9,225.00
Fertilización DAP	4/2/2019	4/2/2019																	₡	13,860.00
Fertilización potásica	4/2/2019	4/2/2019																	₡	-
Tractor y abonadora	4/2/2019	4/2/2019																	₡	5,000.00
Mano de Obra de la aplicación Abono	4/2/2019	4/2/2019																	₡	4,200.00
E. Fertilización																			₡	32,285.00
Herbicida Ametrina	18/3/2019	19/3/2019																	₡	3,430.71
Herbicida Terbutrina	18/3/2019	19/3/2019																	₡	486.49
Coayudante wk	18/3/2019	19/3/2019																	₡	3,750.00
Insecticida Imidacloprid	18/3/2019	19/3/2019																	₡	438.25
Regulador de pH	18/3/2019	19/3/2019																	₡	552.08
Herbicida Picloram Fluroxypyr	18/3/2019	19/3/2019																	₡	1,656.25
Mano de Obra de la aplicación	18/3/2019	19/3/2019																	₡	4,200.00
F. Plaguicidas																			₡	14,513.78

Medición biocrecimiento de la planta	3/5/2019	3/5/2019															₡	8,420.50
Medición biocrecimiento de la planta	3/6/2019	3/6/2019															₡	8,420.50
Medición biocrecimiento de la planta	3/7/2019	3/7/2019															₡	8,420.50
Medición biocrecimiento de la planta	3/8/2019	3/8/2019															₡	8,420.50
Medición biocrecimiento de la planta	3/9/2019	3/9/2019															₡	8,420.50
Medición biocrecimiento de la planta	3/10/2019	3/10/2019															₡	8,420.50
Medición biocrecimiento de la planta	3/11/2019	3/11/2019															₡	8,420.50
Medición biocrecimiento de la planta	3/12/2019	3/12/2019															₡	8,420.50
G. Crecimiento de la Planta																	₡	67,364.00
Cosecha de 0.2575 ha	27/12/2019	28/12/2019															₡	200,000.00
H. Agroindustria Cañera																	₡	430,324.53
Total, de Costos Tratamiento I																₡	630,324.53	

Fuente: Elaboración propia 2019.

A 3. Tratamiento II. Diagrama de Gantt. Efecto de la fertilización potásica sobre el rendimiento y la tolerancia al estrés hídrico variedad tipo LAICA 12 -339.

Entrada/Actividad	Fecha Inicio	Fecha Final	nov-18	dic-18	ene-19	feb-19	mar-19	abr-19	may-19	jun-19	jul-19	ago-19	sep-19	oct-19	nov-19	dic-19	Costos/Tratamiento	
Mano de obra técnica profesional	12/11/2018	28/12/2019															₡	50,000.00
Precio del agua una hectárea	12/11/2018	12/12/2019															₡	10,000.00
Chapea del terreno	12/11/2018	15/11/2018															₡	5,000.00
Toma de muestras de suelo	19/11/2018	19/11/2018															₡	2,500.00
Análisis de Laboratorio de suelo CIA	22/11/2018	22/11/2018															₡	2,500.00
2 Pasadas de Rastreadas	26/11/2018	26/11/201															₡	8,000.00
Micronivelación de suelo	27/11/2018	27/11/2018															₡	3,750.00
Surqueada	5/12/2018	5/12/2018															₡	3,750.00

2 Riego de Junio (70% Agotamiento)	1-21/06/2019	1-21/06/2019																		₡	8,420.50
D. Laminas de Riego																				₡	126,307.50
Fertilización Urea	4/2/2019	4/2/2019																		₡	18,450.00
Fertilización DAP	4/2/2019	4/2/2019																		₡	13,860.00
Fertilización potásica	4/2/2019	4/2/2019																		₡	-
Tractor y abonadora	4/2/2019	4/2/2019																		₡	5,000.00
Mano de Obra de la aplicación Abono	4/2/2019	4/2/2019																		₡	4,200.00
E. Fertilización																				₡	41,510.00
Herbicida Ametrina	18/3/2019	19/3/2019																		₡	3,430.71
Herbicida Terbutrina	18/3/2019	19/3/2019																		₡	486.49
Coayudante wk	18/3/2019	19/3/2019																		₡	3,750.00
Mano de Obra de la aplicación	18/3/2019	19/3/2019																		₡	4,200.00
F. Plaguicidas																				₡	11,867.20
Medición biocrecimiento de la planta	3/5/2019	3/5/2019																		₡	8,420.50
Medición biocrecimiento de la planta	3/6/2019	3/6/2019																		₡	8,420.50
Medición biocrecimiento de la planta	3/7/2019	3/7/2019																		₡	8,420.50
Medición biocrecimiento de la planta	3/8/2019	3/8/2019																		₡	8,420.50
Medición biocrecimiento de la planta	3/9/2019	3/9/2019																		₡	8,420.50
Medición biocrecimiento de la planta	3/10/2019	3/10/2019																		₡	8,420.50
Medición biocrecimiento de la planta	3/11/2019	3/11/2019																		₡	8,420.50
Medición biocrecimiento de la planta	3/12/2019	3/12/2019																		₡	8,420.50
G. Crecimiento de la Planta																				₡	67,364.00
Cosecha de 0.2575 ha	27/12/2019	28/12/2019																		₡	200,000.00
H. Agroindustria Cañera																				₡	436,902.95
Total, de Costos Tratamiento II																			₡	636,902.95	

A 4. Tratamiento III. Diagrama de Gantt. Efecto de la fertilización potásica sobre el rendimiento y la tolerancia al estrés hídrico variedad tipo LAICA 12 -339.

Entrada/Actividad	Fecha Inicio	Fecha Final	nov-18	dic-18	ene-19	feb-19	mar-19	abr-19	may-19	jun-19	jul-19	ago-19	sep-19	oct-19	nov-19	dic-19	Costos/Tratamiento
Mano de obra tecnica profesional	12/11/2018	28/12/2019															₡ 50,000.00
Precio del agua una hectárea	12/11/2018	12/12/2019															₡ 10,000.00
Chapea del terreno	12/11/2018	15/11/2018															₡ 5,000.00
Toma de muestras de suelo	19/11/2018	19/11/2018															₡ 2,500.00
Análisis de Laboratorio de suelo CIA	22/11/2018	22/11/2018															₡ 2,500.00
2 Pasadas de Rastreadas	26/11/2018	26/11/2018															₡ 8,000.00
Micronivelación de suelo	27/11/2018	27/11/2018															₡ 3,750.00
Surqueada	5/12/2018	5/12/2018															₡ 3,750.00
Colocación de poliducto polypipe	7/12/2018	7/12/2018															₡ 5,000.00
A. Diseño Topográfico																	₡ 90,500.00
Semilla de Caña de azucar	9/12/2018	9/12/2018															₡ 25,000.00
Corta y siembra de la semilla de caña	10/12/2018	11/12/2018															₡ 50,000.00
Riego para germinación	12/12/2018	12/12/2018															₡ 4,200.00
Riego para germinación	17/12/2018	17/12/2018															₡ 4,200.00
B. Germinación																	₡ 83,400.00
Aplicación de Herbicida Trifloxysulfuron	4/1/2019	5/1/2019															₡ 4,933.31
Aplicación de coayudante cosmo	4/1/2019	5/1/2019															₡ 655.21
Aplicación de zeta cipermetrina	4/1/2019	5/1/2019															₡ 5,727.49
Aplicación de regulador de pH	4/1/2019	5/1/2019															₡ 438.25
Mano de Obra de la aplicación	4/1/2019	5/1/2019															₡ 4,200.00
C. Plaguicidas																	₡ 15,954.26
3 Riego en Enero (35% Agotamiento)	1-11-31/01/2019	1-11-31/01/2019															₡ 12,630.75
2 Riego en Enero (70% Agotamiento)	1-21/01/2019	1-21/01/2019															₡ 8,420.50
3 Riego en Febrero (35% Agotamiento)	1-11-28/02/2019	1-11-28/02/2019															₡ 12,630.75

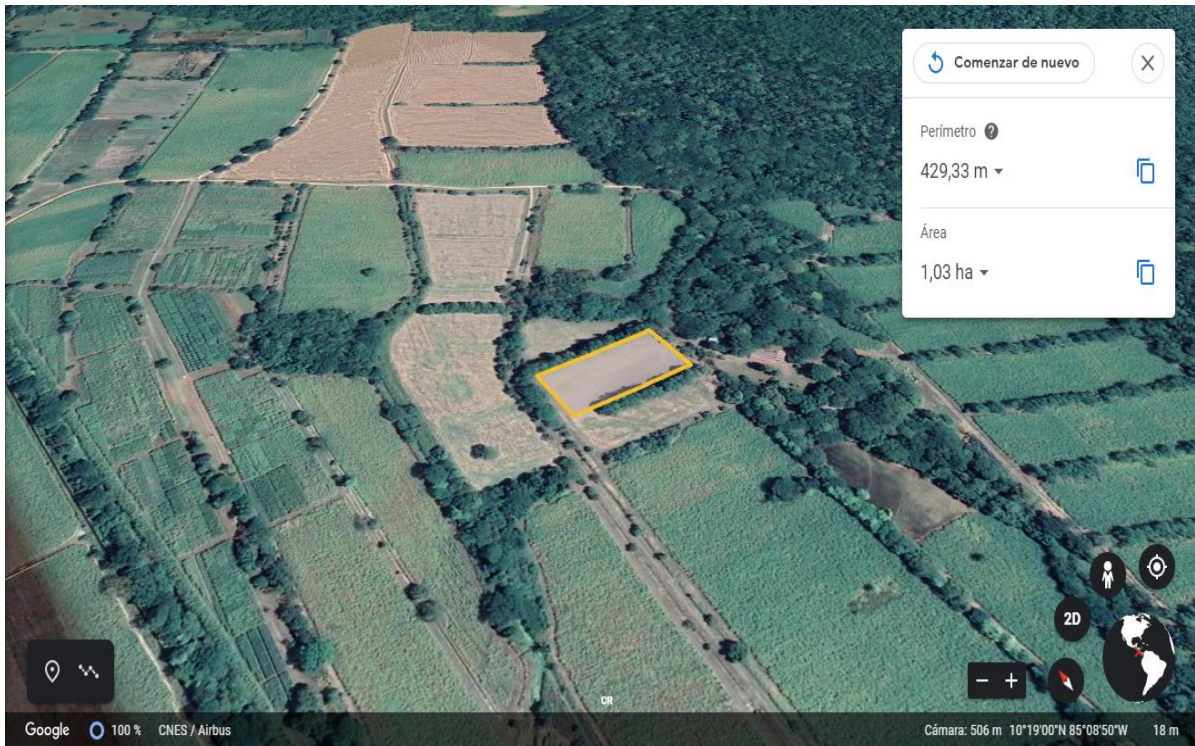
Medición biocrecimiento de la planta	3/12/2019	3/12/2019															₴	8,420.50
G. Crecimiento de la Planta																	₴	67,364.00
Cosecha de 0.2575 ha	27/12/2019	28/12/2019															₴	200,000.00
H. Agroindustria Cañera																	₴	416,725.76
Total, de Costos Tratamiento III																	₴	616,725.76

A 5. Tratamiento IV. Diagrama de Gantt. Efecto de la fertilización potásica sobre el rendimiento y la tolerancia al estrés hídrico variedad LAICA 12 -339.

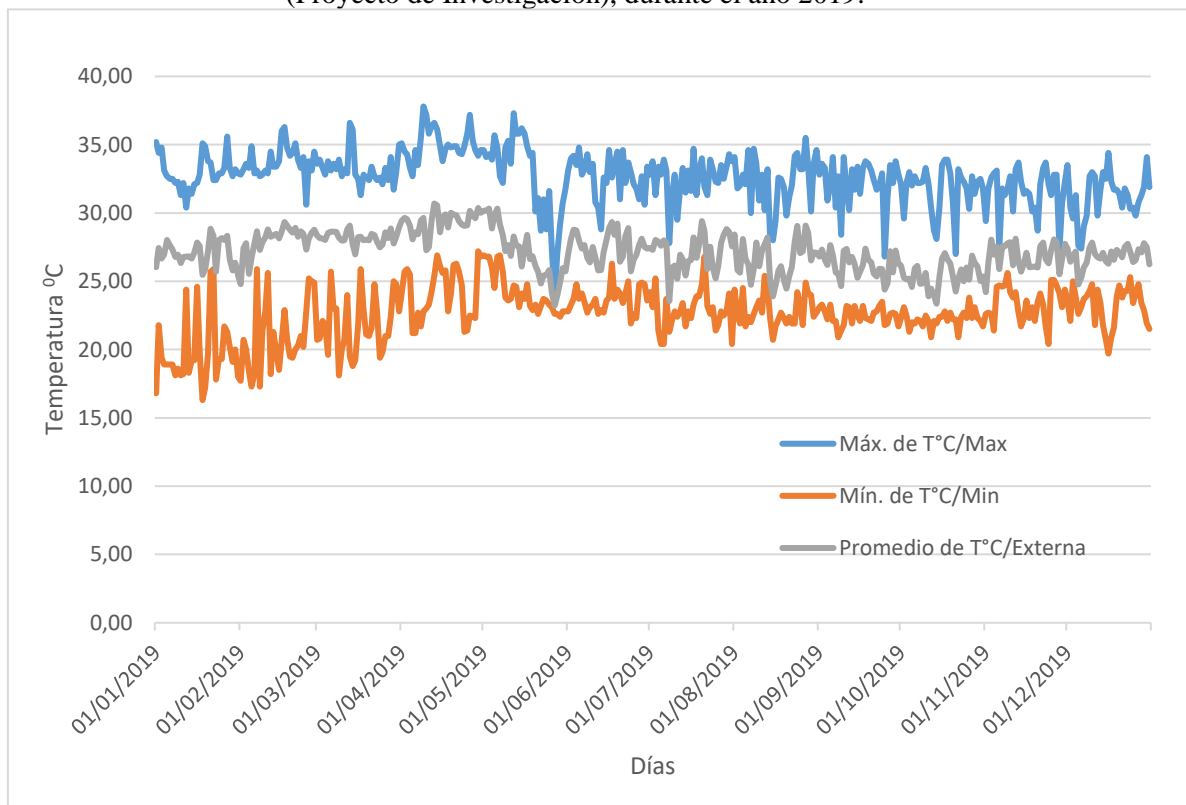
Entrada/Actividad	Fecha Inicio	Fecha Final	nov-18	dic-18	ene-19	feb-19	mar-19	abr-19	may-19	jun-19	jul-19	ago-19	sep-19	oct-19	nov-19	dic-19	Costos/Tratamiento	
Mano de obra tecnica profesional	12/11/2018	28/12/2019															₴	50,000.00
Precio del agua una hectárea	12/11/2018	12/12/2019															₴	10,000.00
Chapea del terreno	12/11/2018	15/11/2018															₴	5,000.00
Toma de muestras de suelo	19/11/2018	19/11/2018															₴	2,500.00
Análisis de Laboratorio de suelo CIA	22/11/2018	22/11/2018															₴	2,500.00
2 Pasadas de Rastreadas	26/11/2018	26/11/201															₴	8,000.00
Micronivelación de suelo	27/11/2018	27/11/2018															₴	3,750.00
Surqueada	5/12/2018	5/12/2018															₴	3,750.00
Colocación de poliducto polypipe	7/12/2018	7/12/2018															₴	5,000.00
A. Diseño Topografico																	₴	90,500.00
Semilla de Caña de azucar	9/12/2018	9/12/2018															₴	25,000.00
Corta y siembra de la semilla de caña	10/12/2018	11/12/2018															₴	50,000.00
Riego para germinación	12/12/2018	12/12/2018															₴	4,200.00
Riego para germinación	17/12/2018	17/12/2018															₴	4,200.00
B. Germinación																	₴	83,400.00
Aplicación de Herbicida Trifloxysulfuron	4/1/2019	5/1/2019															₴	4,933.31
Aplicación de coayudante cosmo	4/1/2019	5/1/2019															₴	655.21
Aplicación de zeta cipermetrina	4/1/2019	5/1/2019															₴	5,727.49

Medición biocrecimiento de la planta	3/7/2019	3/7/2019															₺	8,420.50
Medición biocrecimiento de la planta	3/8/2019	3/8/2019															₺	8,420.50
Medición biocrecimiento de la planta	3/9/2019	3/9/2019															₺	8,420.50
Medición biocrecimiento de la planta	3/10/2019	3/10/2019															₺	8,420.50
Medición biocrecimiento de la planta	3/11/2019	3/11/2019															₺	8,420.50
Medición biocrecimiento de la planta	3/12/2019	3/12/2019															₺	8,420.50
G. Crecimiento de la Planta																	₺	67,364.00
Cosecha de 0.2575 ha	27/12/2019	28/12/2019															₺	200,000.00
H. Agroindustria Cañera																	₺	414,450.76
Total, de Costos Tratamiento IV																₺	614,450.76	

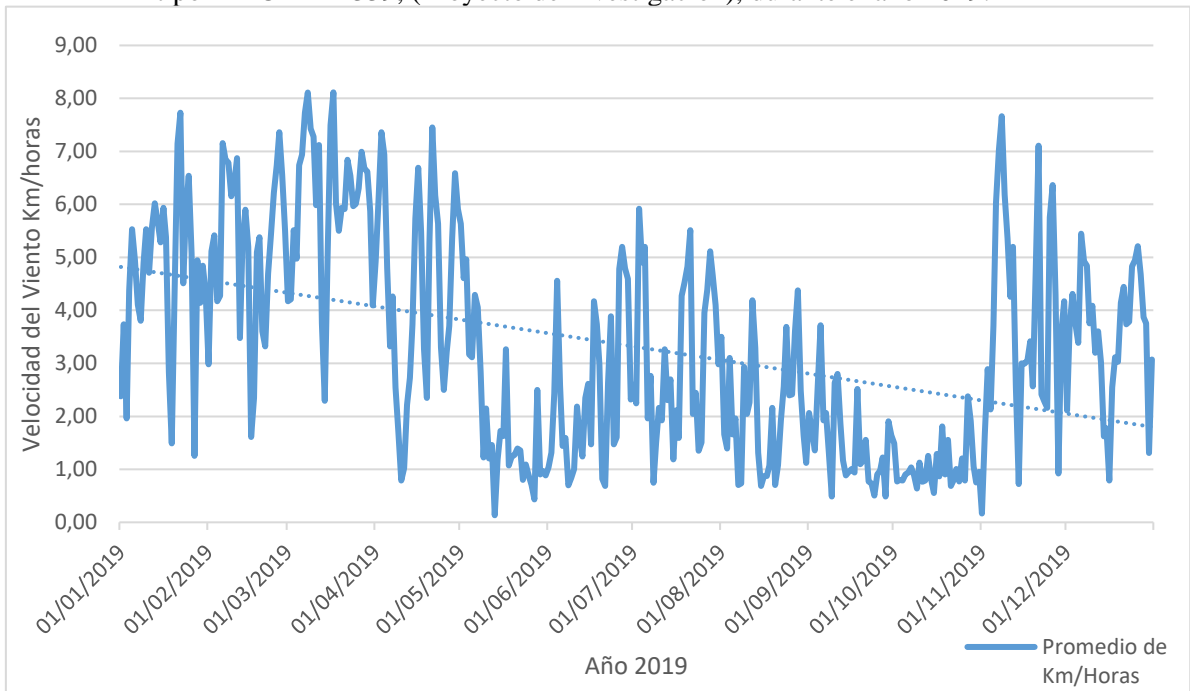
A 8. Localización del ensayo experimental.



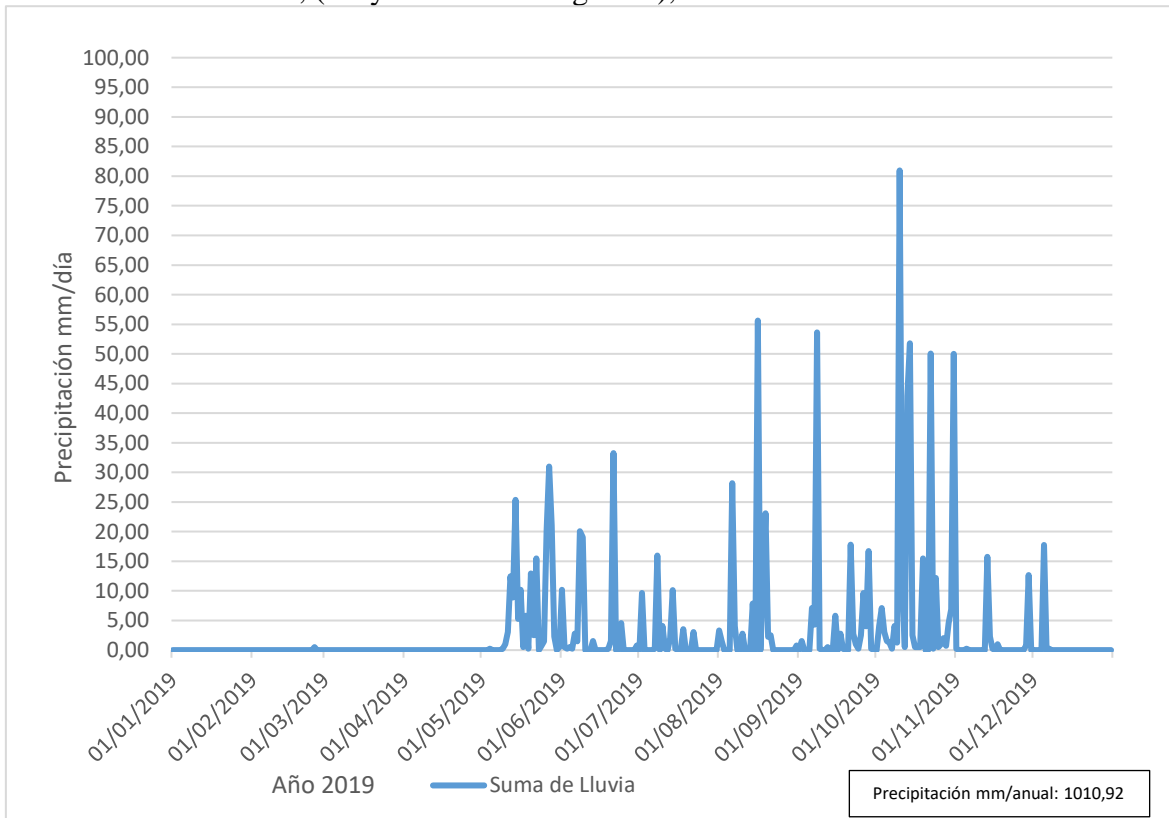
A 9. Efecto en las Temperaturas del cultivo de la caña de azúcar variedad tipo LAICA 12 -339 (Proyecto de Investigación), durante el año 2019.



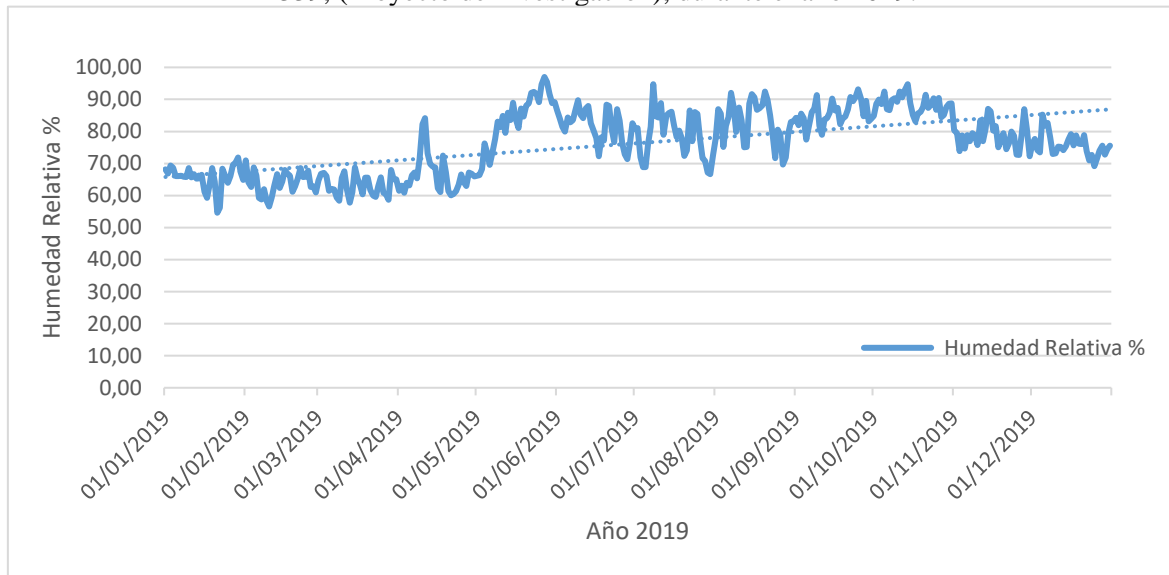
A 10. Efecto de la Velocidad del viento promedio en (km/horas) en la caña de azúcar variedad tipo LAICA 12 -339, (Proyecto de Investigación), durante el año 2019.



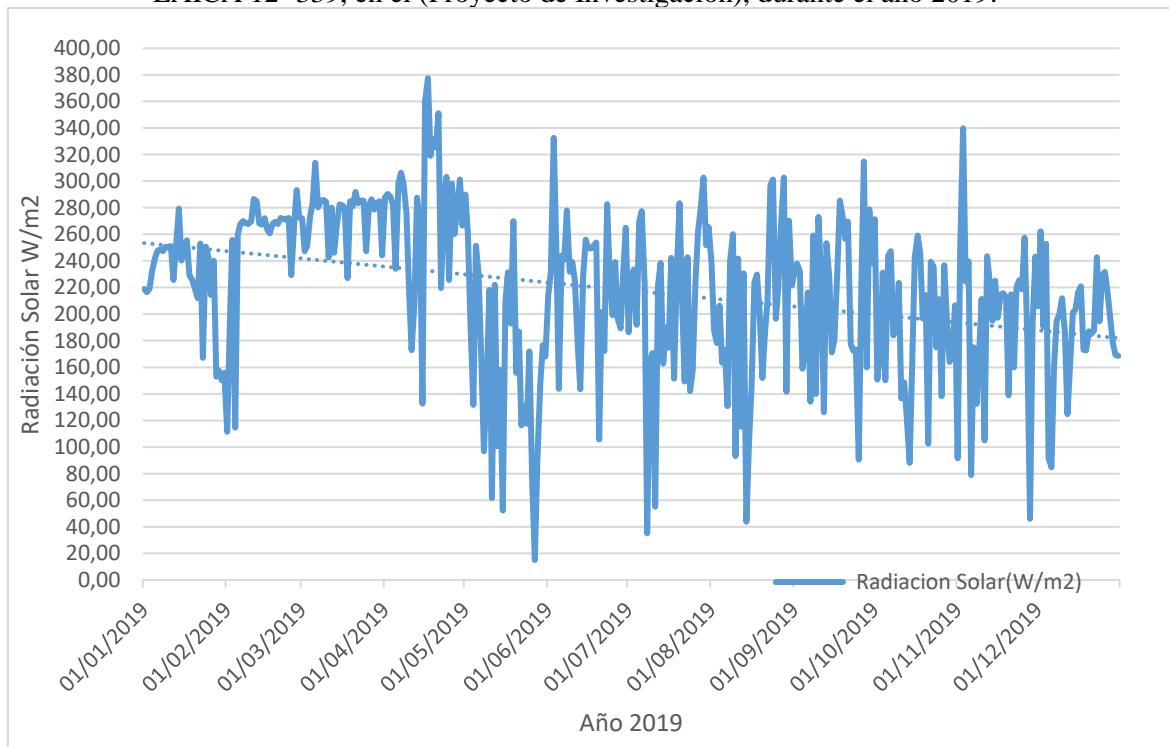
A 11. Efecto de la Precipitación en el cultivo de la caña de azúcar variedad tipo LAICA 12 -339, (Proyecto de Investigación), durante el año 2019.



A 12. Efecto de la humedad relativa en % en el cultivo de la caña de azúcar variedad tipo LAICA 12 -339, (Proyecto de Investigación), durante el año 2019.



A 13. Efecto de la Radiación Solar (W/m²) diaria en el cultivo de la caña de azúcar variedad tipo LAICA 12 -339, en el (Proyecto de Investigación), durante el año 2019.



A 14. Crecimiento de la Planta caña de azúcar en cm, variedad tipo LAICA 12 -339, durante el año 2019.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Dic	64	0.35	0.27	4.57

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8855.61	7	1265.09	4.26	0.0008
Tratamientos	8855.61	7	1265.09	4.26	0.0008
Error	16617.63	56	296.74		
Total	25473.23	63			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=27.11654

Error: 296.7433 gl: 56

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
TIV70% Agot	399.75	8	6.09	A	
TII35% Agot	385.88	8	6.09	A	B
TIII70% Agot	383.75	8	6.09	A	B
TIV35% Agot	377.25	8	6.09	A	B
TII70% Agot	368.63	8	6.09		B
TI35% Agot	368.50	8	6.09		B
TIII35% Agot	367.25	8	6.09		B
TI70% Agot	361.88	8	6.09		B

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

A 15. Crecimiento del grosor en mm de la planta caña de azúcar, variedad tipo LAICA 12 -339, durante el año 2019.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Dic	64	0.33	0.24	1.54

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7.50	7	1.07	3.87	0.0017
Tratamientos	7.50	7	1.07	3.87	0.0017
Error	15.50	56	0.28		
Total	23.00	63			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.82816

Error: 0.2768 gl: 56

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
TII70%Agot	34.63	8	0.19	A	
TII35%Agot	34.38	8	0.19	A	B
TIV70%Agot	34.38	8	0.19	A	B
TIII70%Agot	34.25	8	0.19	A	B
TIII35%Agot	34.25	8	0.19	A	B
TI35%Agot	33.75	8	0.19		B
TIV70%Agot	33.75	8	0.19		B
TI70%Agot	33.63	8	0.19		B

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

A 16. Crecimiento de la longitud del tallo en cm de la Planta caña de azúcar, variedad tipo LAICA 12 -339, durante el año 2019.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Dic	64	0.26	0.16	6.64

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5127.50	7	732.50	2.74	0.0161
Tratamientos	5127.50	7	732.50	2.74	0.0161
Error	14966.25	56	267.25		
Total	20093.75	63			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=25.73394

Error: 267.2545 gl: 56

Tratamientos	Medias	n	E.E.
TIV70%Agot	260.63	8	5.78 A
TII35%Agot	256.63	8	5.78 A B
TII70%Agot	251.75	8	5.78 A B
TIII35%Agot	245.63	8	5.78 A B
TIII70%Agot	242.88	8	5.78 A B
TIV35%Agot	239.88	8	5.78 A B
TI70%Agot	238.38	8	5.78 A B
TI35%Agot	232.75	8	5.78 B

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

A 17. Producción de la caña de azúcar en Ton/ha, variedad tipo LAICA 12 -339, durante el año 2019.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Cosecha	12	0.76	0.67	5.45

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1110.32	3	370.11	8.38	0.0075
Tratamientos	1110.32	3	370.11	8.38	0.0075
Error	353.20	8	44.15		
Total	1463.52	11			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=17.37350

Error: 44.1497 gl: 8

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T4	138.15	3	3.84 A
T2	118.91	3	3.84 B
T1	117.02	3	3.84 B
T3	113.33	3	3.84 B

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

A 18. Producción de la cantidad de azúcar en kilogramos/ha de la caña de azúcar, variedad tipo. LAICA 12 -339, durante el año 2019.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Cosecha	12	0.78	0.69	6.45

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	22261065.99	3	7420355.33	9.22	0.0056
Tratamientos	22261065.99	3	7420355.33	9.22	0.0056
Error	6440120.05	8	805015.01		
Total	28701186.04	11			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=2345.98606

Error: 805015.0069 gl: 8

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T4	16145.54	3	518.01	A
T2	13727.02	3	518.01	B
T1	13248.50	3	518.01	B
T3	12512.99	3	518.01	B

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

A 19. Resultado de la Producción de la caña de azúcar de la variedad tipo LAICA 12 -339 en el ensayo.

ENTREGA DE CAÑA UNIVERSIDAD TECNICA NACIONAL

INGENIO TABOGA ZAFRA 2019 / 2020

Experimento Caña Var Laica 12339

Fecha de Entrega: 26-01-2020											REND. ADEL. KGR / TON. CAÑA	
NOTA ENVIO	HORA ENTRDA	T.M. CAÑA	T.R.	BRIX	POL	FIBRA % CAÑA	POL % CAÑA	PZA. JUGO	LODO	HUMEDAD	AZUCAR	MIEL FINAL
103530	13:59:19	23.26	130.448	18.530	15.167	13.541	12.670	81.852	0.100	70.277	100.912	41.880
103534	14:14:56	21.58	155.405	21.330	18.812	16.131	15.141	88.194	0.200	65.769	121.210	29.243
103557	17:15:49	20.92	139.312	18.180	15.851	14.461	13.068	87.187	0.200	69.735	106.308	28.313
TOTALES		131.60	141.458	19.338	16.581	14.683	15.893	85.743	0.165	69.052	109.636	33.311

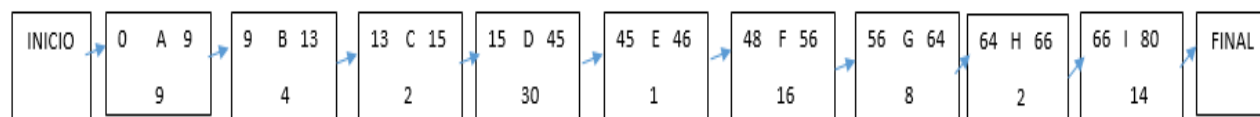
A 20. Cosecha de la caña de azúcar en el ensayo experimental de 1.035 Hectárea, con 4 tratamientos, en dosis de potasio y 2 porcentajes (35 y 70) de agotamiento de humedad en el suelo Mollisol. 26/01/2020.

Tratamiento: 2587.50 m²

Tratamientos	Tractor	Carreta	% Agot	# Surco	Peso Ton/campo	Área m ²	Kg Azúcar/TM	kg/Azúcar/Tramientos	Azúcar/Ton
I	12403	42005	35	8	10.790	900	107.95	1164.78	1.16
	12403	42035	70	8	10.015	900	122.75	1229.34	1.23
	12403	42029	Neutro	7	10.790	787.50	109.636	1182.97	1.18
Total Ton/Campo/Tratamiento					31.595	2587.50		3577.09	3.58
II	12403	42033	35	8	10.015	900	123.23	1234.15	1.23
	12457	42024	70	8	11.630	900	113.96	1325.35	1.33
	12457	42024	Neutro	7	10.460	787.50	109.636	1146.79	1.15
Total Ton/Campo/Tratamiento					32.105	2587.50		3706.30	3.71
III	12457	42030	35	8	10.070	900	108.99	1097.53	1.10
	12457	42048	70	8	10.070	900	112.63	1134.18	1.13
	12457	42012	Neutro	7	10.460	787.50	109.636	1146.79	1.15
Total Ton/Campo/Tratamiento					30.600	2587.50		2280.98	2.28
IV	12457	42030	35	8	12.835	900	124.47	1597.57	1.60
	12457	42012	70	8	11.630	900	116.47	1354.55	1.35
	12457	42048	Neutro	7	12.835	787.50	109.636	1407.18	1.41
Total Ton/Campo/Tratamiento					37.300	2587.50		4359.30	4.36
Total Ton/Ha					131.600	10350.00	109.636	14428.10	14.43

Neutro: No entran en el análisis del % agotamiento.
 Neutro compuesto por 7 surcos, siguiente forma (3 a la derecha, 2 en el centro y 2 a la izquierda en cada tratamiento).

A 21. Ruta crítica del proceso productivo del ensayo de la caña de Azúcar de la variedad tipo LAICA 12 -339.



Fuente; Elaboración propia, 2019

Justificación: Al ser la ruta crítica de forma lineal no lleva procesos, solo 4 dosis de fertilización potásica (60 kg k₂O, 100 kg k₂O, 120 kg k₂O, 60 kg k₂O, 180 kg k₂O y dos % agotamiento de humedad en el suelo), hasta al final de la investigación obtenemos el azúcar para cada tratamiento en los 12 meses de estudio.

A 22. Lote TNR25 con Arvenses.



A 23. Muestras de suelo, Lab CIA. UCR.



A 24. Lote TNR25 Nivelado.



A 25. Lote 3. Semillero LAICA 12 339.



A 26. Siembra de Var, LAICA 12 339. A 27. Construcción compuertas metálicas.



A 28. Funcionamiento de Compuerta.



A 29. Conducción de poliducto polypipe



A 30. Germinación var, LAICA 12 339. A 31. Colocación interna de polypipe



A 32. Aforo del riego para cada surco. A 33. Prueba de Infiltración.



A 34. Balance de Nutrimientos.



A 35- Mezcla de nutrimentos.



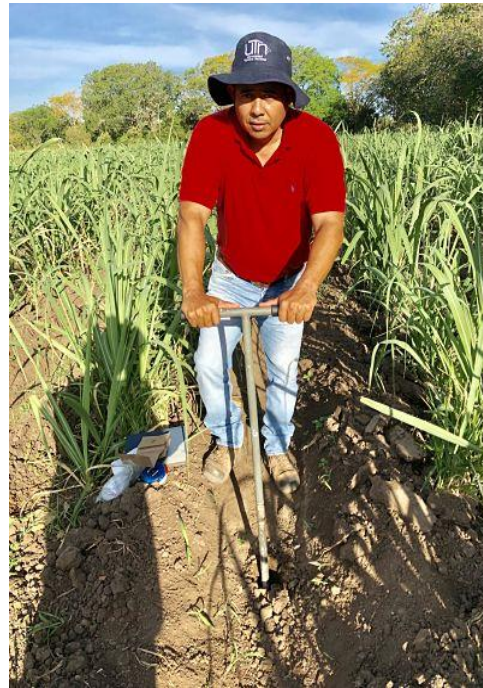
A 36. Abonadora multifuncional.



A 37. Distribución de la conducción polypipe.



A 38. Conducción de poliducto polypipe. A 39. Muestra de suelo antes del riego.



A 40. Prueba de Parshall.

A 41. Prueba de avance de riego.



A 42. Muestreo después del riego



A 43. Pesaje de suelo en Laboratorio UTN.



A 44. Muestra de suelo antes y después del riego. A 45. Hoyo para la escorrentía de suelo.



A 46. Nivel Topográfico.

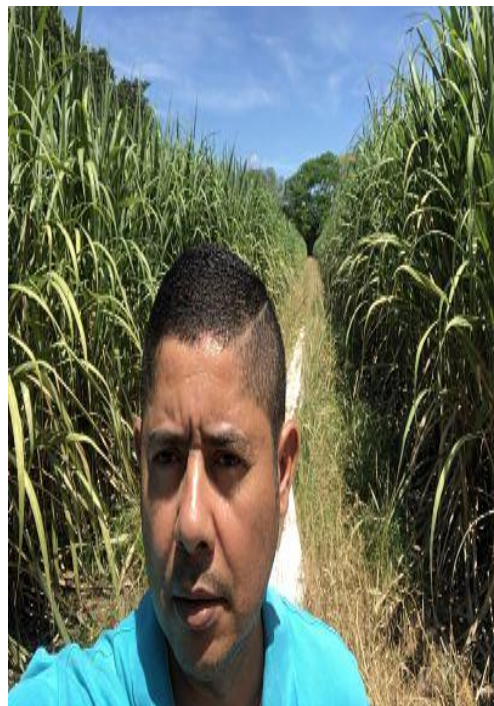


A 47. Pendiente del terreno.



A 48. División de Tratamientos.

A 49. Variedad LAICA 12 -339 en Crecimiento.



A 50. Diferencias de Crecimiento de la planta. A 51. Instrumentos de medición.



A 52. Medición del grosor del tallo.

A 53. Medición de la planta.



A 54. Medición de muestra de tallo.



A 55. Peso del tallo variedad LAICA 12 -339.



A 56. Muestreo de tallos por Tratamiento.



A 57. Tratamientos hacia Lab del Ingenio.

A 58. Cosecha del ensayo.



A 59. Rumas de la variedad LAICA 12 -339.



A 60. Var, LAICA 12 -339 corta de tallos. A 61. Carga y Transporte del ensayo.



A 62. Análisis químico de suelo antes para la siembra de la caña de azúcar.

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA **CIA Centro de Investigaciones Agronómicas**

**CUIDAD DE LA INVESTIGACIÓN
LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES
REPORTE DE ENSAYO
RE-R01 (V2)**

N° DE REPORTE: 69368
USUARIO: CURSO AF-208 PRODUCTIVIDAD DE SUELOS (Sede Central)

RESPONSABLE: MARIO MORALES
CORREO: mario.morales@ucr.ac.cr

PROVINCIA: GUANACASTE
CANTÓN: CAÑAS

CULTIVO: CAÑA

ANÁLISIS: GC-CN
FECHA RECEPCIÓN: 30/11/2018
EMISIÓN DE REPORTE: 06/12/2018
N° DE MUESTRAS TOTAL: 1
PÁGINA: 1/2

		ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS											
		pH	cmol(+)L					%	mg/L				
		H ₂ O	Acidez	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn
ID USUARIO	ID LAB	5.5	0.5	4	1	0.2	5		10	3	1	10	5
SUELO MOLISOL - Ap	S-18-13815	6.6	0.12	19.33	7.37	0.68	27.50	0.4	28	2.8	12	70	28

*¡Un suelo sin deficiencia mineral!
Un proceso realizado. ¡Paseo los días!*

*¡Un suelo sin deficiencia mineral!
Un proceso realizado. ¡Paseo los días!*

D.E. Mariana Blanco M. N.I. 2485 **Gestoría de Calidad**
Ing. Agr. Michael González A. N.I. 7827 **Gestoría Técnica**

1. Los valores están expresados en base seca, en masa. 2. Procedimiento pH y CE en agua 10:25. Acidez, Al, Ca y Mg con MO 1M 1:10. P, K, Fe, Mn y Cu con Olsen Modificado pH 9.3 (NaOH), S, N, ESTA ELOM, Sulfato 1207, S 10, S con CaCl₂/D₂O, H₂O, EOBEN 10:25. Análisis determinativo por absorción con FeO₄ y Al con HCl, P y B por Colorimétrico con el Analizador de bromato de Fierro (FAB) y el resto de los elementos por Espectrofotometría de Absorción Atómica. D y K están por colorimetría. Jueves en un día de 45 días a partir del ingreso de la muestra. 3. El Reporte de Ensayo con validez es el original firmado y sellado que se imprime a solicitud expresa del usuario; cuando el usuario solicita el envío del reporte por correo electrónico o sea desde el laboratorio de investigar la integridad y confiabilidad de sus resultados.

A 63. Análisis de la materia orgánica del suelo antes de la siembra de la caña de azúcar.

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA **CIA Centro de Investigaciones Agronómicas**

**CUIDAD DE LA INVESTIGACIÓN
LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES
REPORTE DE ENSAYO
RE-R01 (V2)**

N° DE REPORTE: 69368
USUARIO: CURSO AF-208 PRODUCTIVIDAD DE SUELOS (Sede Central)

RESPONSABLE: MARIO MORALES
CORREO: mario.morales@ucr.ac.cr

PROVINCIA: GUANACASTE
CANTÓN: CAÑAS

CULTIVO: CAÑA

ANÁLISIS: GC-CN
FECHA RECEPCIÓN: 30/11/2018
EMISIÓN DE REPORTE: 06/12/2018
N° DE MUESTRAS TOTAL: 1
PÁGINA: 2/2

		ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS			
		mS/cm	%	Relación	
		CE	C	N	C/N
ID USUARIO	ID LAB	1.6			
SUELO MOLISOL - Ap	S-18-13815	0.1	1.48	0.15	9.9

→ m.c.a. = 9.55%
*¡Un suelo sin deficiencia mineral!
(un proceso realizado. ¡Paseo los días!)*

D.E. Mariana Blanco M. N.I. 2485 **Gestoría de Calidad**
Ing. Agr. Michael González A. N.I. 7827 **Gestoría Técnica**

1. Si muestra de responsabilidad del usuario. 2. Si no resultado se refieren únicamente a las muestras analizadas. 3. El tiempo de validez de las muestras es de 45 días a partir del ingreso de la muestra. 4. El Reporte de Ensayo válido es el original firmado y sellado que se imprime a solicitud expresa del usuario; cuando el usuario solicita el envío del reporte por correo electrónico o sea desde el laboratorio de investigar la integridad y confiabilidad de sus resultados.

A 64. Análisis químico de suelo después de la cosecha de la caña de azúcar.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

CIA Centro de
Investigaciones
Agronómicas

CIUDAD DE LA INVESTIGACIÓN
LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES
REPORTE DE ENSAYO
RE-R01 (V2)

Nº DE REPORTE: 73826
USUARIO: DOUGLAS ANTONIO GONZALEZ LOPEZ
RESPONSABLE: DOUGLAS ANTONIO GONZALEZ LOPEZ
CORREO: dgonzalez@utn.ac.cr
TELÉFONO: 8815-7669

PROVINCIA: GUANACASTE
CANTÓN: CAÑAS

LOCALIDAD: CAÑAS

CULTIVO: SIN CULTIVO

ANÁLISIS: OC, CN
FECHA RECEPCIÓN: 03/03/2020
EMISIÓN DE:
REPORTE: 13/03/2020
Nº DE MUESTRAS:
TOTAL: 4
PÁGINA: 1/2

		ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS											
Solución Extractora:		pH	cmol(+)/L					%	mg/L				
<u>KCl-Olsen Modificado</u>		H ₂ O	ACIDEZ	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn
ID USUARIO	ID LAB	5.5	0.5	4	1	0.2	5		10	3	1	10	5
M.I	S-20-01481	6.8	0.09	20.89	8.54	0.48	29.80	0.3	26	1.7	8	24	9
M.II	S-20-01482	6.7	0.08	19.35	7.59	0.68	27.70	0.3	27	1.9	9	38	10
M.III	S-20-01483	6.8	0.08	18.95	7.62	0.61	27.26	0.3	27	1.8	9	31	7
M.IV	S-20-01484	6.8	0.08	19.63	8.00	0.61	28.32	0.3	29	2.0	8	25	11

-----ULTIMA LINEA-----

Los valores debajo de cada elemento corresponden con los Niveles Críticos generales para la solución extractora usada
SA=Porcentaje de Saturación de Acidez=(Acidez/CICE)*100
CICE=Capacidad de intercambio de Cationes Efectiva=Acidez+Cat(Mg+K)

B.Q. Mariana Blanco M.
N.I. 2468
Gestoría de Calidad

Ing. Agr. Michael González A.
N.I. 7827
Gestoría Técnica

A 65. Análisis de la materia orgánica del suelo después de la cosecha de la caña de azúcar.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

CIA Centro de
Investigaciones
Agronómicas

CIUDAD DE LA INVESTIGACIÓN
LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES
REPORTE DE ENSAYO
IE-401 (V2)

N° DE REPORTE: 73828
USUARIO: DOUGLAS ANTONIO GONZALEZ LOPEZ

RESPONSABLE: DOUGLAS ANTONIO GONZALEZ LOPEZ
CORREO: dgonzalez@utn.ac.cr
TELÉFONO: 8815-7889

PROVINCIA: GUANACASTE
CANTÓN: CAÑAS
LOCALIDAD: CAÑAS
CULTIVO: SIN CULTIVO

ANÁLISIS: [QC-01](#)
FECHA RECEPCIÓN: 03/03/2020
EMISIÓN DE REPORTE: 13/03/2020
N° DE MUESTRAS TOTAL: 4
PÁGINA: 2/2

ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS					
ID USUARIO	ID LAB	mS/cm	%		Relación
		Ce	C	N	C/N
		1.5			
MJ	S-20-01481	0.1	1.45	0.15	9.7
MJI	S-20-01482	0.1	1.34	0.14	9.6
MJII	S-20-01483	0.1	1.40	0.14	10.0
MJIV	S-20-01484	0.1	1.58	0.15	10.5

-----ULTIMA LINEA-----

OBSERVACIÓN: El % C y N totales se determinaron con el método de C/N por combustión seca. Los valores de % C total correlacionan muy bien (R²=0.98) con el % de MO. Si quiere estimar el valor del % MO a partir del dato de % C total determinado con esta metodología, multiplique el % C total por 1.43.

E.G. Marianela Blanco M.
N.L. 2488
Gestión de Calidad

Ing. Agr. Michael González A.
N.L. 7827
Gestión Técnica

1. El usuario es responsable del usuario. 2. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas. 3. El tiempo de custodia de las muestras es de 45 días a partir del ingreso de la muestra. 4. El Reporte de Ensayo válido es el original firmado y sellado que se imprime a solicitud expresa del usuario; cuando el usuario solicita el envío del reporte por correo electrónico o fax libera al Laboratorio de responder la integridad y confidencialidad de sus resultados.