

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



EVALUACIÓN DE CUATRO DOSIS DE UN POLÍMERO RETENEDOR DE HUMEDAD EN EL SUELO Y SU INFLUENCIA EN EL DESARROLLO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) VARIEDAD MEX69-290, PARA SEMILLA.

POR

JOSÉ IGNACIO RIVERA MENJIVAR

CIUDAD UNIVERSITARIA, 01 DE SEPTIEMBRE DE 2021.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE



EVALUACIÓN DE CUATRO DOSIS DE UN POLÍMERO RETENEDOR DE HUMEDAD EN EL SUELO Y SU INFLUENCIA EN EL DESARROLLO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) VARIEDAD MEX69-290, PARA SEMILLA.

POR

JOSÉ IGNACIO RIVERA MENJIVAR

REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

CIUDAD UNIVERSITARIA, 01 DE SEPTIEMBRE DE 2021.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

Lic. M. Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

Ing. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO:

Dr. FRANCISCO LARA ASCENCIO

SECRETARIO:

Ing. Agr. BALMORE MARTÍNEZ SIERRA

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE

Ing. Agr. M. Sc. JOSÉ MAURICIO TEJADA ASENSIO

DOCENTES DIRECTORES:

Ing. Agr. M. Sc. JOSÉ MAURICIO TEJADA ASENSIO

Ing. Agr. HENRY EMERSON FABIAN ROMERO

Ing. Agr. JAIRO AARON VIGIL SÁNCHEZ

COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN

Ing. Agr. M. Sc. NELSON BERNABÉ GRANADOS ALVARADO

AGRADECIMIENTOS

A Dios Todo Poderoso

Por haberme guiado en todo el camino por darme la fortaleza y la sabiduría necesaria para tomar decisiones y enfrentar los retos de cada día, por la oportunidad y las bendiciones recibidas antes y durante mis estudios realizados para culminar con satisfacción una de las metas más importante de mi vida.

A mis padres

Álvaro de Jesús Rivera Galdámez y Blanca Rubia Menjívar De Rivera por estar siempre conmigo y por el gran sacrificio que ellos han realizado para que pueda salir adelante quienes me apoyaron con consejos y con sus conocimientos prácticos en la agricultura, por lo que ahora doy las gracias por culminar esta fase de mi vida logrando titularme. Así mismo a los que no creyeron también en mí, formaron parte fundamental para cumplir esta anhelada meta.

Alma Máter.

Por haberme dado la oportunidad de ser parte del grupo tan selecto de estudiantes a los que ha formado nuestra querida Universidad de El Salvador.

A la Facultad de Ciencias Agronómicas

A todo el personal docente por su valiosa labor a lo largo de mi formación académica en cada una de las áreas del conocimiento de la carrera, como del departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente.

A mi asesor de tesis

Ing. Agr. José Mauricio Tejada Asensio mil gracias por haberme tenido fé y por brindarme su tiempo, ayuda, amistad, guía, comprensión, consejos, conocimientos, apoyo y colaboración durante toda la realización de esta investigación.

A mis amigos que me apoyaron y estuvieron conmigo en el transcurso de la carrera.

RESUMEN

La investigación se realizó en el periodo de mayo a noviembre de 2019, en el lote la Sandillera de la hacienda El Porfiado, cantón San Francisco El Porfiado, municipio de San Luis La Herradura, La Paz, en un área de 2,205 m², el objetivo principal fue evaluar cuatro dosis (60, 80, 100 y 120 Kg/ha) de polímero retenedor de humedad en el suelo y su influencia en el desarrollo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), variedad MEX69-290 para semilla. Se utilizó un diseño experimental de Bloques Completos al Azar, con cinco tratamientos, cuatro repeticiones y 20 unidades experimentales representadas por parcelas divididas en 5 surcos con dimensiones de 15 metros de largo por 1.40 metros entre surcos. Las variables evaluadas fueron: altura del tallo, cantidad de hojas, largo de entrenudos, diámetro del tallo, cantidad de entrenudos, número de cañas por metro lineal, número de esquejes por caña y peso de la caña; asimismo para su respectivo análisis fue utilizado el programa Infostat, con su respectiva prueba de Tukey. Se encontraron diferencias estadísticas en la variable altura de la planta, siendo las mejores medias por tratamiento al aplicar las dosis de 60 Kg/ha (T1) y 120 Kg/ha (T4) con 2.16 y 2.15 m de altura respectivamente en los primeros 6 meses de cultivo; mientras que para las variables cantidad de hojas, largo de entrenudos, diámetro del tallo, número de plantas productivas por metro lineal, y peso de la planta no se encontraron diferencias estadísticas significativas. Para la variable cantidad de entrenudos se obtuvieron diferencias estadísticas ($p > 0.05$), la dosis de 120 kg/ha presentó los mejores resultados para la variable número de entrenudos con un total de 20 entrenudos por planta, las dosis de 60 (T1) y 80 kg/ha (T2) presentaron comportamientos similares para esta variable con 19 entrenudos por planta. Para la variable número de esquejes por planta se encontró los mejores resultados al aplicar las dosis de 120 (T4) y 60 Kg/ha (T1) con 3.1 y 3 esquejes por planta.

Palabras clave:

Polímero, retenedor de humedad, caña de azúcar, crecimiento vegetativo, cortes, entrenudos, MEX69-290.

ABSTRACT

The research was carried out in the period from May to November 2019, in the La Sandillera lot of the El Porfiado farm, San Francisco El Porfiado canton, San Luis La Herradura municipality, La Paz, in an area of 2,205 m², the objective the main one was to evaluate four doses (60, 80, 100 and 120 Kg / ha) of moisture-retaining polymer in the soil and its influence on the development of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.), variety MEX69-290 for seed. An experimental design of Complete Random Blocks was used, with five treatments, four repetitions and 20 experimental units represented by plots divided into 5 rows with dimensions of 15 meters long by 1.40 meters between rows. The variables evaluated were stem height, number of leaves, length of internodes, stem diameter, number of internodes, number of canes per linear meter, number of cuttings per cane and weight of the cane; Likewise, the Infostat program was used for its respective analysis, with its respective Tukey test. Statistical differences were found in the variable height of the plant, being the best means per treatment when applying the doses of 60 Kg / ha (T1) and 120 Kg / ha (T4) with 2.16 and 2.15 m of height respectively in the first 6 months of cultivation; while for the variables quantity of leaves, length of internodes, diameter of the stem, number of productive plants per linear meter, and weight of the plant, no significant statistical differences were found. Statistical differences were obtained for the variable quantity of internodes ($p > 0.05$), the dose of 120 kg / ha presented the best results for the variable number of internodes with a total of 20 internodes per plant, the doses of 60 (T1) and 80 kg / ha (T2) presented similar behaviors for this variable with 19 internodes per plant. For the variable number of cuttings per plant, the best results were found when applying the doses of 120 (T4) and 60 Kg / ha (T1) with 3.1 and 3 cuttings per plant.

Keywords:

Polymer, moisture retainer, sugarcane, vegetative growth, cuts, internodes, MEX69-290

INDICE GENERAL

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
2.1. Generalidades del cultivo.....	1
2.1.1. Origen.....	1
2.1.2. Distribución geográfica	2
2.1.3. Clasificación taxonómica	2
2.1.4. Descripción botánica	3
2.1.5. Descripción morfológica	3
2.2. Fenología del cultivo.....	4
2.2.1. Germinación y emergencia:	5
2.2.2. Amacollamiento o ahijamiento:	5
2.2.3. Rápido crecimiento:	5
2.2.4. Maduración:.....	5
2.2.5. Cosecha:	5
2.3. Condiciones edafoclimáticas	6
2.3.1. Lluvia:.....	6
2.3.2. Temperatura:.....	6
2.3.3. Humedad relativa:	7
2.3.4. Luz Solar:	7
2.3.5. El suelo:.....	8
2.3.6. El pH óptimo del suelo:.....	9
2.3.7. Relación Planta – Agua:	9
2.3.8. Capacidad de Campo:	9
2.3.9. Punto de Marchitez Permanente:.....	9
2.3.10. Agua fácilmente utilizable por las plantas:	9
2.4. Efectos de las sequias en las plantas	9
2.5. Circunstancias nacionales del cambio climático	10
2.6. El cultivo de caña de azúcar en El Salvador	11
2.7. Importancia del cultivo de caña de azúcar	12
2.8. Alternativas para conservar humedad en el suelo y mejorar el aprovechamiento por las plantas.....	13
2.8.1. Importancia del agua	13

2.9.	Características de retenedores de humedad, función e importancia	13
2.9.1.	Descripción y características del poliacrilato de potasio	13
2.9.2.	Forma de actuar del poliacrilato de potasio	14
2.9.3.	Composición química del poliacrilato de potasio.....	14
2.9.4.	Información medioambiental.....	14
2.9.5.	Toxicidad	15
2.9.6.	Información de seguridad del poliacrilato de potasio.....	15
2.9.7.	Descripción de la acrilamida	15
2.9.8.	Dosificación y forma de aplicación.....	16
2.10.	Investigaciones con polímeros.....	16
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
3.1.	Ubicación del estudio.....	17
3.2.	Metodología de campo	18
3.2.1.	Establecimiento y manejo del cultivo	18
3.3.	Metodología de laboratorio	20
3.4.	Metodología estadística	22
3.4.1.	Diseño de la investigación	22
3.4.2.	Tamaño de la muestra.....	23
3.4.3.	Tratamientos evaluados	23
3.4.4.	VARIABLES EVALUADAS	23
3.4.5.	Análisis de datos	24
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.1.	Análisis de humedad en el suelo.	25
4.2.	Altura de la planta (m)	26
4.3.	Cantidad de hojas.....	28
4.4.	Largo de entrenudos. (m)	29
4.5.	Diámetro del tallo (mm).....	30
4.6.	Cantidad de entrenudos.....	30
4.7.	Cantidad de plantas productivas por metro lineal.....	31
4.8.	Cantidad de esquejes de la planta.....	32
4.9.	Peso de la caña de azúcar	33
5.	CONCLUSIONES	34
6.	RECOMENDACIONES.....	35
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	37
8.	ANEXOS.....	43

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la caña azúcar.	3
Cuadro 2. Información toxicológica del poliacrilato de potasio.	15

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Etapas fenológicas del cultivo de caña de azúcar.	15
Figura 2 Estructura química del poliacrilato de potasio.	14
Figura 3 Ubicación geográfica de la parcela de investigación.	18

INDICE DE ANEXOS

Cuadro A-1. Análisis de la varianza para la variable altura de la planta.	43
Cuadro A-2. Prueba de Tukey de la altura de la planta.	43
Cuadro A-3. Análisis de varianza para la variable cantidad de hojas.	43
Cuadro A-4. Prueba de Tukey de la cantidad de hojas.	44
Cuadro A-5. Análisis de varianza para la variable largo de entrenudos.	44
Cuadro A-6. Prueba de Tukey de largo de entrenudos.	44
Cuadro A-7. Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo.	45
Cuadro A-8. Prueba de Tukey de diámetro del tallo.	45
Cuadro A-9. Análisis de varianza para la variable cantidad de entrenudos.	45
Cuadro A-10. Prueba de Tukey de cantidad de entrenudos.	46
Cuadro A-11. Análisis de varianza para la variable cantidad de plantas productivas por metro lineal.	46
Cuadro A-12. Prueba de Tukey de cantidad de plantas productivas por metro lineal.	47
Cuadro A-13. Análisis del supuesto de normalidad según Shapiro-Wilks (modificado), para la cantidad de cortes por planta en la última etapa de desarrollo según tratamientos.	47

Cuadro A-14. Análisis de la varianza no paramétrica según Kruskal y Wallis de cantidad de cortes por planta en la última etapa de desarrollo según tratamientos.....	47
Cuadro A-15. Prueba de comparación de Apares para cantidad de cortes por planta	47
En la última etapa de desarrollo según tratamientos.....	47
Cuadro A-16. Análisis de varianza para la variable peso de la caña.	48
Cuadro A-17. Prueba de Tukey de peso de la caña.....	48
Cuadro A-18. Cuadro resumen de promedios mensuales de las variables más importantes de la estación meteorológica de Santa Cruz Porrillo.....	49
Cuadro A-19. Ejemplo de datos tomados semanalmente para determinar porcentaje de humedad gravimétrica en suelo.	49

INDICE DE FIGURAS DE ANEXO

Figura A-1. Diseño espacial de la investigación distribución de tratamientos.....	50
Figura A-2. Polímero retenedor de humedad.....	51
Figura A-3. Pesaje de las diferentes dosis a evaluar.....	51
Figura A-4. Pesado de suelo seco.	52
.....	52
Figura A- 5. Mezclado de polímero solido con suelo seco.	52
Figura A-6. Primer riego e hidratación del polímero retenedor de humedad.	53
Figura A-7. Aplicación de polímero al fondo del surco.	53
Figura. A-8. Profundidad de mojado.	54
Figura A- 9. Captura de agua en polímero retenedor.....	54
Figuras A-10 y A-11. Extracción de muestra de suelo para análisis de humedad.	55
Figura A-12. Análisis de humedad gravimétrica a muestras de suelo.	55
Figura A-13. Marcado de plantas para toma de variables fenológicas.	56
Figura A-14. Rotulado de ensayo.....	56
Figuras A-15 y A-16. Rotulado de Bloques y tratamiento.....	57

Figura A-17. Diferencia fenológica en los tratamientos.	57
Figuras A-18 y A-19. Corte de cañas identificadas para la toma de variables.	58
Figura A-20. Conteo de cantidad de hojas.	58
Figura A-21. Medición de altura de la caña.	59
Figura A-22. Conteo de cantidad de hojas.	59
Figura A-23. Medición de largo del entrenudo.	60
Figura A-24. Medición del diámetro de la caña.	60
Figura A-25. Delimitación de un metro lineal.	61
Figura A-26. Conteo de cañas.	61
Figuras A-27 y A-28. Corte y picado de caña.	62
Figura A-29. Elaboración de manojos de caña semilla.	62
Figura A-30. Pesado de manajo de caña.	63
Figura A-31. Cosecha de manojos en caña de tercer tercio.	63

1. INTRODUCCIÓN

La sequía es un fenómeno temporal que resulta de la escasez o mala distribución de la precipitación, las cuales se asocian generalmente con alteraciones en el comportamiento de los sistemas meteorológicos que controlan la variación del clima, en consecuencia, algunas sequías son de naturaleza localizada y tienen duración de períodos cortos, otras están extendidas por zonas muy grandes y persisten durante largos lapsos de tiempo (INETER 2005).

El estrés hídrico provocado por las sequías es aquella situación de disminución de agua a partir de la cual el cultivo comienza a experimentar mermas en su rendimiento final. Para la mayoría de las especies cultivadas esto acontece antes de que sean observables a simple vista los síntomas de carencia de agua como son la pérdida de turgencia de las hojas, marchitamiento, secado de partes viejas, entre otros (FAO 2006).

La agricultura es una de las actividades de producción de alimentos más importante a nivel mundial; sin embargo, es extremadamente vulnerable a los cambios drásticos del clima. En este contexto, es importante considerar el efecto que el calentamiento global y los fenómenos de El Niño y La Niña (ENOS) tienen sobre los principales cultivos explotados en El Salvador, ya que la mayoría de ellos se desarrollan bajo condiciones dependientes del clima (Ibarra y Amaya 2007).

Lograr el uso racional del agua reteniéndola por más tiempo en el suelo es un problema, debido a que de forma natural y según su textura y estructura, tiene su propia retención variable que puede aumentarse con la incorporación de abonos verdes, materia orgánica en general o la incorporación de polímeros sintéticos que ayuden en este sentido (Zepeda 2012).

El objetivo principal de la investigación es evaluar cuatro dosis de polímero retenedor de humedad en el suelo y su incidencia en el desarrollo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) para semilla.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Generalidades del cultivo

2.1.1. Origen

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) es originaria de Nueva Guinea, se cultivó por primera vez el sureste asiático y en la India occidental. Alrededor del año 327 antes de Cristo era un cultivo importante en el subcontinente indio. Fue introducido en Egipto alrededor del

año 647 después de Cristo y alrededor de un siglo más tarde a España (755 D.C.). Desde entonces, el cultivo de la caña de azúcar se extendió a casi todas las regiones tropicales y subtropicales. En los viajes de Cristóbal Colón a América la trasladaron a las islas del Caribe y de ahí pasó a la parte continental americana, particularmente a la zona tropical (CONADESUCA 2015).

La introducción de la caña de azúcar en El Salvador llegó desde México, pero nadie mostró interés por la fabricación de azúcar (Gutiérrez (1990) citado por CAMAGRO s.f.). Los primeros datos en la producción de azúcar en trapiche y la elaboración de otros productos derivados se tienen a finales del siglo XIX, la estadística general (1858-1861) refleja la existencia de cultivos cañeros, producción de panelas y azúcar en las zonas central y occidental del país, aunque el volumen de estas actividades era casi insignificante respecto de la producción de café.

2.1.2. Distribución geográfica

En el mundo los países que cultivan la caña de azúcar están entre la latitud 36.7 °N y 31.0 °S del Ecuador, extendiéndose desde regiones tropicales a subtropicales. La caña de azúcar ocupa un área de 20.42 millones de hectáreas en todo el mundo, con una producción total de 1333 millones de toneladas métricas (FAO 2006).

2.1.3. Clasificación taxonómica

La caña de azúcar pertenece a la familia de las gramíneas, concretamente al género *Saccharum*. Las variedades cultivadas son híbridos de la especie *officinarum* y otras afines (*spontaneum*). Botánicamente, la caña de azúcar pertenece a la tribu Andropogonae de la familia Gramínea, orden Glumiflorae, clase Monocotyledoneae, subdivisión Angiosperma, división Embryophita siphonogama. La sub-tribu es Sacharae y el género, por supuesto, es *Saccharum*, derivado del Sánscrito "sarkara = azúcar blanca", que recuerda que la planta llegó desde la India a la región del Mediterráneo (Díaz y Portocarrero 2002).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la caña azúcar.

Nombre científico	<i>Saccharum officinarum</i> L.
Reino	Vegetal
División	Magnoliophyta
Clase	Angiospermae
Sub-clase	Monocotyledoneae
Súper Orden	Commelinidae
Orden	Commelinales
Familia	Poaceae
Género	<i>Saccharum</i>
Especie	<i>Officinarum</i> L.

Fuente: Invista 2002. Citado por Díaz y Portocarrero 2002.

2.1.4. Descripción botánica

Del Toro (1983), citado por Ramón (2011), afirma que morfológicamente la caña de azúcar se presenta en forma de macollas, plantones de tallos cilíndricos, de tres a cinco metros o más de longitud, con variada coloración (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 cm de profundidad, aunque alcanzan escalonadamente hasta 60 y más centímetros de profundidad en el suelo.

La caña de azúcar es una gramínea tropical, un pasto gigante emparentado con el sorgo y el maíz, en cuyo tallo se forma y acumula un jugo rico en sacarosa, compuesto que al ser extraído y cristalizado en el ingenio se forma el azúcar. La sacarosa es sintetizada por la caña con la energía tomada del sol durante la fotosíntesis, constituye el cultivo de mayor importancia desde el punto de vista de la producción azucarera, además, representa una actividad productiva y posee varios subproductos, entre ellos la producción de energía eléctrica derivada de la combustión del bagazo, alcohol de diferentes grados como carburante o farmacéutico (Alexander 1985. Citado por Díaz y Portocarrero 2002).

2.1.5. Descripción morfológica

Raíz: las raíces de la caña de azúcar pueden originarse en los primordios radiales de la estaca plantada y también en los primordios del rizoma, las raíces que brotan de la estaca se denominan raíces transitorias, son delgadas y muy ramificadas; las raíces que brotan de los

anillos radicales inferiores son gruesas, carnosas, blancas y menos ramificadas (Ramón 2011).

Tallo: el tallo es la unidad morfológica trascendente cuya parte sobre el suelo y libre de cogollo constituye la caña molible. Cada tallo está formado por hojas y canutos que poseen una yema, por lo tanto, cada una de estas unidades tienen función de propagación agámica (Ramón 2011)

Hojas: son en forma de vaina, su función principal es proteger a la yema, nace en los entrenudos del tallo. A medida que la caña se desarrolla, las hojas bajas se vuelven senescentes, se caen y son remplazadas por la que aparecen en los nudos superiores (Díaz y Portocarrero 2002)

Inflorescencia: la inflorescencia de la caña de azúcar es una panícula de forma y tamaño variable, características de cada cultivar o variedad usada, las flores son pequeñas y hermafroditas completas. La caña florece de acuerdo con las características del medio ambiente, el clima y la altura sobre el nivel del mar (Díaz y Portocarrero 2002).

2.2. Fenología del cultivo

El cultivo de caña de azúcar en su ciclo de plantilla tiene un desarrollo vegetativo de duración variable, dado a que depende de la variedad y de la influencia del clima. De la siembra a la cosecha el cultivo puede durar desde 14 hasta 17 meses. En este periodo la caña de azúcar pasa por cuatro etapas: germinación o emergencia, amacollamiento o ahijamiento, rápido crecimiento y maduración. El desarrollo de las socas (segundo corte de la caña), tiene una duración de 11 a 13 meses y se distinguen 3 etapas: brotación o amacollamiento, rápido crecimiento y maduración (Aguilar (2011) citado por CONADESUCA (2015)).

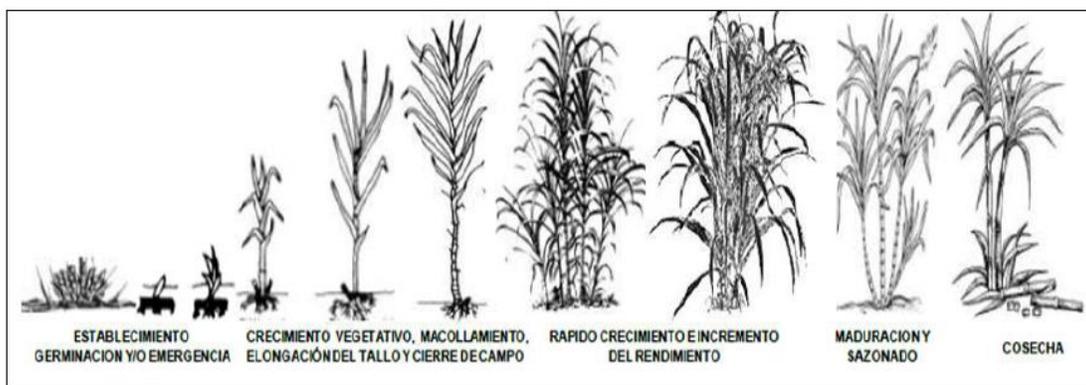


Figura 1 Etapas fenológicas del cultivo de caña de azúcar.

- 2.2.1. Germinación y emergencia:** la germinación es el proceso que da paso de los órganos primarios latentes en la yema al estado activo de crecimiento y desarrollo. Aunque la duración de esta etapa puede variar, inicia entre los 7 a 10 días después de la siembra. El crecimiento inicial se prolonga hasta los 35 días. Las temperaturas óptimas para la brotación oscilan entre 24 a 37° C con disponibilidad de buena humedad en el suelo (Romero et al., 2012, citado por CONADESUCA 2015).
- 2.2.2. Amacollamiento o ahijamiento:** esta etapa comienza alrededor de los 35 a 40 días después de la plantación y se caracteriza por el brote de varios tallos a partir de las articulaciones nodales que se encuentran en la base de los tallos primarios. Los factores que favorecen el ahijamiento son la variedad, los días de larga duración y la alta intensidad luminosa, una temperatura cercana a los 30° C es la óptima, buenas condiciones de humedad en el suelo y buen nivel de nitrógeno (Rosales 2013).
- 2.2.3. Rápido crecimiento:** en esta etapa se da la formación y elongación de la caña con rapidez. En esta fase se presenta una gran acumulación de materia seca y la planta alcanza su máxima área foliar (hojas), esta etapa puede prolongarse de acuerdo a la variedad, la temperatura y la humedad. Sin embargo, como referencia puede citarse que comienza alrededor de los 120 días después de la plantación y es a los 180 días aproximadamente que queda definido la población de tallos (solo sobreviven entre el 40 y el 50% de los hijuelos o retoños). En esta fase el cultivo requiere temperaturas sobre los 30° C, disponibilidad de nutrientes y buena condición de humedad (Rosales 2013).
- 2.2.4. Maduración:** en esta etapa de desarrollo de la planta se da el proceso de síntesis y acumulación de sacarosa en los tallos de la caña. La maduración de la caña es de la base al ápice (extremo superior) de la planta. Esta parte del desarrollo tiene una duración de 2 a 3 meses. Los factores que favorecen el almacenamiento de sacarosa son aquellos que inhiben el crecimiento de la planta, entre ellos la presencia de noches frescas (temperaturas de 18° C), días calurosos y secos (FIRA 2010. citado por CONADESUCA 2015).
- 2.2.5. Cosecha:** la recolección se lleva a cabo entre los 11 y los 16 meses de la plantación, es decir, cuando los tallos dejan de desarrollarse, las hojas se marchitan y caen, la corteza de la capa se vuelve quebradiza. Se quema la plantación para eliminar las malezas que impiden el corte de la caña, así como

las posibles plagas (ratas de campo, víboras, taltuzas, entre otros) que pudieran ocasionar daño a los cortadores (CONADESUCA 2015).

2.3. Condiciones edafoclimáticas

La caña de azúcar se adapta a un amplio rango de condiciones climáticas, pero se desarrolla mejor en regiones tropicales, cálidas y con amplia radiación solar (Humbert 1974. Citado por Rivera s.f.). Las características climáticas ideales para lograr una máxima producción de azúcar de caña son: La presencia de una estación calurosa larga, con alta incidencia de radiación solar y una adecuada humedad.

La planta utiliza entre 148 a 300 g de agua para producir 1 g de materia seca. La presencia de una estación seca, soleada y fresca, libre de heladas, es necesaria para la maduración y cosecha. El porcentaje de humedad cae drásticamente a lo largo del ciclo de crecimiento de la caña, de un 83% en plantas muy jóvenes a un 71% en la caña madura, mientras que la sacarosa aumenta de menos de 10% hasta 45% del peso seco (Humbert 1974. Humbert 1974. Citado por Rivera s.f.).

2.3.1. Lluvia: una precipitación total entre 1500 y 1800 mm es adecuada en los meses de crecimiento vegetativo, siempre que la distribución de luz sea apropiada y abundante. Después debe haber un período seco para la maduración. Durante el período de crecimiento activo la lluvia estimula el rápido crecimiento de la caña, la elongación y la formación de entrenudos. Sin embargo, la ocurrencia de lluvias intensas durante el período de maduración no es recomendable, porque produce una pobre calidad de jugo y favorece el crecimiento vegetativo; además, dificulta las operaciones de cosecha y transporte. En condiciones adecuadas, el rendimiento se incrementa en proporción directa con la cantidad de agua disponible, y por cada 10 mm de agua utilizada se puede obtener alrededor de 1tn de caña por hectárea lo que influye directamente en las prácticas de manejo del cultivo (FAO 2009, Dos Santos *et al.*, 2005, Inman-Bamber 2005, Hunsigi 2001, Fogliata 1995 citado por Rivera s.f.))

2.3.2. Temperatura: El crecimiento está directamente correlacionado con la temperatura. La temperatura óptima para la brotación (germinación) de los esquejes es de 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 fotorrespiración, que produce una menor acumulación de azúcares. Por otro lado, condiciones severas de frío inhiben la brotación de las socas y reducen el crecimiento de la caña. Temperaturas inferiores a 0°C producen el congelamiento de las partes más desprotegidas, como las hojas jóvenes y las yemas laterales. El daño depende de la duración de la helada. (Inman-Bamber 2005 y Fogliata 1995 citado por Rivera s.f.).

2.3.3. Humedad relativa: durante el período de crecimiento rápido, las 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 (Inman-Bamber 2005 y Fogliata 1995 citado por Rivera s.f.).

2.3.4. Luz Solar: la caña se ubica en el grupo de las plantas con vía fotosintética C4, que poseen anatomía tipo "Kranz". Las hojas poseen dos tipos de cloroplastos: los localizados en las células del mesófilo y los de las células de la vaina vascular, con los cuales la planta es capaz de fijar CO₂ por dos vías: a) por la vía normal C3, y b) por la vía alternativa C4, en compuestos de cuatro carbonos como ácido málico, principalmente, ácido aspártico o ácido oxalacético. Esa refijación de CO₂ en los haces vasculares de la vaina como fosfoglicerato (3-PGA) posibilita una mayor eficiencia fotosintética y utilización de la energía solar, puesto que su tasa fotosintética aumenta con la luminosidad, hasta alcanzar valores superiores a 60 lux (lumen /m²) (600 w/m²) de intensidad, con una variación entre 6,5 a 150 lux (65 a 1500 w/m²), en función de la variedad, lo que le confiere un elevado punto de saturación de luz. La caña alcanza valores de fijación de CO₂ elevados, lo que refleja su elevada capacidad fotosintética y alto punto de compensación. Se asegura que posee una eficiencia que va de 5 a 6% en la conversión de energía solar (Salles et al., 2009, Benvenuti 2005 y Hunsigi 2001 citado por Rivera s.f.). Adicionalmente, la caña no presenta fotorrespiración aparente, con lo cual no elimina o pierde CO₂ por las hojas a tasas rápidas, simultáneamente con la absorción de CO₂ por la fotosíntesis y estimulada por la luz. Su velocidad de fotosíntesis es cerca de dos o tres veces superior a la de las gramíneas C3, presentando una capacidad fotosintética de 34 a 86 mg CO₂ /dm² /h. La vía C4 permite realizar la fotosíntesis con los estomas prácticamente cerrados, lo que duplica su eficiencia en el uso del agua y su transpiración relativa (fotosíntesis líquida/transpiración), en comparación con otras gramíneas del tipo C3

Por esta razón, la caña utiliza el agua con mayor eficiencia, manteniendo a su vez, una mayor adaptabilidad en condiciones de déficit de humedad o sequía (De Souza Rolim 2008. Citado por Rivera s.f.). El Índice de Área Foliar (IAF) que describe la dimensión del sistema asimilador

de una comunidad vegetal, así como otros índices vegetales, constituyen una excelente aproximación para evaluar la capacidad de desarrollo del follaje y, consecuentemente, de su capacidad fotosintética total, denominada productividad primaria bruta. La caña presenta en este sentido una gran área foliar, con un IAF elevado (4 a 10) de acuerdo con la variedad; sus hojas son casi verticales durante la mayor parte de su periodo de crecimiento y la anchura de la lámina foliar es variable, lo que eleva significativamente su eficiencia en la intercepción de luz (Xin-Guang Zhu, 2008, Chávez, 1999. Citado por Rivera s.f). En el follaje de la caña las primeras seis hojas superiores interceptan el 70% de la radiación y la tasa fotosintética de las hojas inferiores disminuye debido al sombreado mutuo. Por lo tanto, para una utilización efectiva de la energía radiante se considera como óptimo un valor de 3.0-3.5 de Índice de Área Foliar (Barbieri, 1993). Se ha estimado que el 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. Altas velocidades de viento, superiores a 60 km/hora, son perjudiciales para cañas ya crecidas, al causar la tendedura 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 (Chandra, 2005, Majeke, 2008. Citado por Rivera s.f.) definió que el conocimiento de la composición bioquímica foliar es fundamental para describir, comprender, predecir y modelar el comportamiento de los ecosistemas debido a que los procesos ecológicos que involucran el intercambio de materia y energía están relacionados a componentes bioquímicos y a un estatus nutricional en los que los macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre) y micronutrientes (hierro, cobre, manganeso, zinc, boro y molibdeno) son básicos para el desarrollo y productividad de las plantas agrícolas. Los factores limitantes descritos influyen directamente en la fotosíntesis de la caña de azúcar, el proceso fundamental que determina la productividad del 90% o más de la biomasa seca y del 100% de los productos útiles: la sacarosa y el bagazo.

2.3.5. El suelo: es el medio para el crecimiento de la planta. Proporciona nutrientes, agua y anclaje a las plantas en crecimiento. La manutención de condiciones físicas, químicas y biológicas adecuadas en el suelo, es necesaria para lograr mayor crecimiento, rendimiento y calidad de la caña de azúcar. La caña de azúcar puede ser cultivada exitosamente en diversos tipos de suelo, desde los arenosos a los franco-arcillosos y arcillosos

Las condiciones edáficas ideales para el cultivo de la caña de azúcar son: suelo bien drenado, profundo, franco, con una densidad aparente de 1.1 a 1.2 g/cm³ (1.3 - 1.4 g/cm³ en suelos arenosos), con un adecuado equilibrio entre los poros de distintos tamaños, con porosidad

total superior al 50%; una capa freática debajo de 1.5 a 2 m de profundidad y una capacidad de retención de la humedad disponible del 15% o superior (cm³ de agua por cm³ de suelo) junto a las climáticas constituyen la base para el desarrollo del cultivo (CONADESUCA 2015).

2.3.6. El pH óptimo del suelo: es cercano a 6.5, pero la caña de azúcar puede tolerar un rango considerable de acidez y alcalinidad del suelo. Por esta razón se cultiva caña de azúcar en suelos con pH entre 5.0 y 8.5. (CONADESUCA 2015).

2.3.7. Relación Planta – Agua: El suelo es el depósito de almacenamiento de agua, aire y nutrientes desde donde la planta los extrae por medio de las raíces. Cualquier consideración sobre la absorción de agua, requiere del conocimiento de las propiedades del suelo, especialmente aquellas que afectan la libre disponibilidad de agua para la planta (Génova et al., s. f.).

2.3.8. Capacidad de Campo: Es el volumen de agua que un suelo puede retener después de saturarlo (encharcarlo) y dejarlo drenar (escurrir) libremente durante 48 horas. La Capacidad de Campo viene a reflejar el agua que el suelo almacena en los poros y canales pequeños, después de que los más grandes se hayan llenado de aire. Cuando un suelo está a capacidad de campo la presión necesaria para comenzar a extraer el agua retenida es baja, de menos de 0,3 atmósferas (Badillo *et al* 2009).

2.3.9. Punto de Marchitez Permanente: Es el contenido de agua de un suelo a partir del cual las plantas no pueden extraer más y, por tanto, se marchitan y mueren. En este punto la presión necesaria para comenzar a extraer el agua que todavía contiene el suelo es de 15 atmósferas. De forma general, el Punto de Marchitez es igual al 56% de la Capacidad de Campo (Badillo *et al.* 2009). El agua útil para las plantas es la diferencia entre Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez Permanente.

2.3.10. Agua fácilmente utilizable por las plantas: El agua fácilmente utilizable por las plantas es la parte del agua útil que las plantas pueden absorber con poco esfuerzo (0, 5 - 1 atmósferas) y por tanto sin merma de su capacidad productiva. El agua fácilmente utilizable depende de cada especie de planta, pero se considera, de forma orientativa, que para los cultivos menos sensibles a la sequía el agua fácilmente utilizable es el 50% del agua útil y para los más sensibles entre 25-30% (Badillo *et al.*, 2009).

2.4. Efectos de las sequías en las plantas

Durante las distintas fases fenológicas, el efecto del estrés hídrico en el cultivo no es el mismo. La caña de azúcar posee cuatro etapas fenológicas que incluye la germinación-emergencia, macollaje-establecimiento del canopeo, gran o activo crecimiento y la maduración. Gascho, en

1985. Citado por Deambrosi y Espindola, 2012. Observó que es necesario que durante la fase de germinación-emergencia y de macollaje-establecimiento del canopeo, el cultivo disponga de suficiente agua. Pero el uso consuntivo durante estos períodos es menor que durante la fase de gran crecimiento. Por ello, si un periodo de estrés hídrico se extiende durante la fase de activo o gran crecimiento, las consecuencias en el rendimiento pueden ser severas. (Inman-Bamber 2004. Citado por Castro et al., s.f.). El mayor efecto en la reducción del rendimiento del cultivo de caña de azúcar se da cuando un periodo de estrés hídrico de 6 semanas coincide durante la etapa de mayor demanda de evapotranspiración y la fase de gran crecimiento, (Wiedenfeld 2000. Deambrosi y Espindola, 2012).

2.5. Circunstancias nacionales del cambio climático

Según la ONU (1992) el cambio climático, es un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmosfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables.

La temperatura global de la superficie comenzó a ascender de manera rápida desde 1850, debido posiblemente a que las concentraciones de los gases de efecto invernadero se han incrementado. La tendencia lineal de 100 años 1906 a 2005, muestra un aumento en la temperatura promedio de 0.74°C (0.56°C a 0.92 °C), siendo los años noventa el decenio más cálido. Los escenarios climáticos para el siglo XXI no son alentadores ya que predicen un aumento en la temperatura, entre 1.4°C y 5.8°C (IPCC 2007).

El Salvador, por su ubicación geográfica entre dos océanos (atlántico y pacífico) y por su situación económica y social, es uno de los países con mayor riesgo y vulnerabilidad ante la variabilidad climática. Tiene un clima tropical con estaciones húmedas y secas pronunciadas en las que la temperatura muestra poco cambio estacional y varía principalmente con el nivel de elevación. La variación de la temperatura anual se incrementa durante marzo - abril, y disminuye en diciembre y enero. Cabe destacar que el régimen anual de lluvia ha registrado alteraciones en las últimas décadas ante la falta o exceso de precipitación debido a eventos meteorológicos como El Niño y La Niña. Así, los años 2010 y 2011 han sido los más lluviosos en el período entre 1971 y 2015.

Los escenarios climáticos proyectados para El Salvador señalan que la temperatura seguirá aumentando hasta 2 o 3 °C en las siguientes seis décadas. Así, el incremento de temperatura también conllevaría a un aumento del nivel del mar de casi 8 centímetros, lo que supone que los impactos por el cambio climático serán particularmente graves en la zona costero-marina y en el sector agropecuario. El país lleva cinco años consecutivos (2012- 2016) enfrentándose

a sequías meteorológicas fuertes. La sequía meteorológica de 2012 alcanzó 32 días secos, la de 2013 llegó a 23 y la de 2014 sumó 31 (MARN-DGOA 2018). Las temporadas de sequía entre 2012-2016 se han visto relacionadas con el fenómeno de El Niño y/o la temperatura del océano Atlántico norte tropical por debajo del promedio.

Escenarios de cambio climático realizados por la (CEPAL 2010) para El Salvador, en el estudio denominado; La economía del cambio climático en Centroamérica. Reflejan una progresiva disminución de la precipitación durante el primer trimestre de cada época lluviosa. Esta condición identificada, muestra una tendencia hacia la desaparición de la curva bimodal que ha sido característica en el país, desplazando la lluvia más hacia el final del año. De hecho, el régimen de lluvia, caracterizado típicamente por una época seca (de noviembre a abril) y una época lluviosa (de mayo a octubre), se alteró en las últimas décadas. En estos últimos años, se presentaron diversas anomalías en el patrón temporal y espacial de la lluvia, lo que ha derivado en un incremento de los desastres vinculados a fenómenos hidrometeorológicos, tanto por exceso como por falta de precipitación (IPCC 2007).

De acuerdo con los mismos escenarios realizados por la CEPAL en el estudio mencionado, aún sin considerar la anticipación de los cambios de estado del clima, la disponibilidad de agua para el año 2020, bajará al menos un 6 % respecto de la existente en el año 2000. También indica que las demandas de agua del país crecerán un 300 % hacia 2050 sin incidencias del cambio climático, y más del 400 % con cambio climático. La precipitación nacional en el primer periodo, es decir, entre 2021-2050, podrá reducirse entre un 10 % a 20 % ante cualquier escenario RCP. Particularmente, el cambio podrá ser superior al 20 %.

La temperatura media y mínima presentará aumentos en los periodos 2021-2050 y 2071- 2100 bajo todos los escenarios. Lo anterior, podrá involucrar cambios de entre 1°C y 3°C y hasta 4,5° C hacia finales del siglo. Para el primer periodo (2021-2050), los valores de la temperatura podrán incrementarse entre 1°C y 2°C. Estos cambios tendrán un efecto directo en la temperatura de la costa pacífica y una gran parte del oriente de El Salvador donde los valores podrán superar los 27 °C (CEPAL 2011).

2.6. El cultivo de caña de azúcar en El Salvador

Durante siglos los campesinos salvadoreños han cultivado pequeñas parcelas de caña de azúcar para su consumo. En los años sesenta, sin embargo, la cantidad de tierra dedicada a la caña de azúcar aumentó 43%, resultando en un incremento de un 114% de productos azucareros. La industria creció hasta constituir el 3.1 % del Producto Interno Bruto (PIB) de El

Salvador. Entre el 2001 y el 2011, la producción de caña de azúcar creció otro 30%, y el precio del azúcar aumentó de \$0.08 a \$0.25 por libra. Durante la zafra de 2013-2014 (la estación de cultivo) se produjeron más de 7 millones de toneladas de caña en 108.500 manzanas de tierra (188 acres) y se produjeron 15.6 millones de quintales de azúcar y 54 millones de galones de melazas.

2.7. Importancia del cultivo de caña de azúcar

La importancia social y económica de la caña de azúcar se manifiesta de diferentes maneras: contribución a la generación del producto nacional y del producto sectorial agropecuario, capacidad de creación de empleo, aporte a la generación de divisas y uno de las principales fuentes de calorías dentro de la ración alimentaria consumida por las familias salvadoreñas (Comisión para el Desarrollo Azucarero, 1998. Citado por Díaz Ayala et al., 2004).

Desde el punto de vista social se genera empleo en todas las labores agrícolas desde la siembra hasta la recolección y el transporte para la zafra (Comisión para el Desarrollo Azucarero, 1998. Citado por Díaz Ayala et al., 2004). Más de 450,000 personas dependen de este sector. Existen en el país más de 7,000 productores de Caña, 60% de ellos asociados en cooperativas agrarias y el resto son productores independientes. La agroindustria azucarera salvadoreña genera 47,968 empleos directos al año; emplea anualmente 26,202 personas en labores de siembra, mantenimiento, aplicación de insumos, labores culturales del cultivo, etc. En los ingenios, 4,608 personas realizan labores de mantenimiento y reparación de las fábricas permanentemente y llevan a cabo las labores de zafra o molienda de caña. Adicionalmente, 6,640 personas se encargan del transporte de caña, azúcar y melaza cada año.

Se genera importantes beneficios económicos que benefician principalmente a la población rural y a la economía nacional en general. Entre 1996 y 2002, la industria azucarera creció su participación en el PIB de 1.91% a 2.8%, y del PIBA de un 4.54% a un 5.83%. El rubro de compra de caña incluye casi \$ 27 millones de dólares anuales en pago de mano de obra y empleados; \$ 15.3 millones de dólares en insumos agrícolas (fertilizantes y productos protectores del cultivo); \$ 31.5 millones en transporte de caña principalmente y \$ 16.1 en otros (gastos financieros, alquileres, etc.).

2.8. Alternativas para conservar humedad en el suelo y mejorar el aprovechamiento por las plantas

Ante la disminución de la rentabilidad de la producción agropecuaria se hace necesario optimizar la eficiencia de uso de los recursos tecnológicos disponibles para lograr una productividad elevada y estable en el tiempo, en un marco de sustentabilidad. La agricultura de riego en comparación con la de secano permite multiplicar notablemente el rendimiento de los cultivos y asegurar las cosechas al desligarlas de la influencia de las lluvias. De ahí la importancia de los sistemas y alternativas de riego (INTA 2014).

2.8.1. Importancia del agua

El agua es uno de los recursos más indispensables en el planeta, siendo la fuente de vida para plantas, animales y para el mismo ser humano. Por ello, se han invertido recursos en investigaciones para fabricar dispositivos hídricos ahorradores, convirtiendo el manejo adecuado de este recurso en una tarea de vital importancia en esta época (UNAC 2017).

En toda la historia de la humanidad se ha tenido la necesidad de almacenar la lluvia y siempre se ha hecho en forma líquida, pero en el 2003 el Ing. Sergio Rico Velasco, desarrolló un sistema que permite modificar la presentación líquida del agua lluvia a sólida y su aplicación en jardinería, agricultura, ganadería, forestal, entre otros. La tecnología que se presenta ofrece la posibilidad de almacenar la lluvia en costales y en forma sólida (Rico 2006).

2.9. Características de retenedores de humedad, función e importancia

2.9.1. Descripción y características del poliacrilato de potasio

El poliacrilato de potasio es un polímero fabricado con acrilatos súper absorbentes, tiene la capacidad de absorber hasta 500 veces su peso en agua y mantener la humedad y los nutrientes hasta por espacio de 9 meses en función de la calidad del agua y del suelo, después de ese tiempo los acrilatos vuelven a su estado original y son capaces de absorber nuevas aguas de riego o de lluvia sin modificar la estructura química de la misma, teniendo como resultado agua de lluvia en pequeños pedazos, el poliacrilato de potasio tiene una capacidad activa de absorción de hasta 7 años en retención de agua en el suelo, permitiendo que la planta tome el agua que necesita sin que pase por un estrés hídrico acelerando su crecimiento y aumentando su producción (Aqua Warehouse (2009) citado por Rodríguez (2014)).

2.9.2. Forma de actuar del poliacrilato de potasio

El poliacrilato de potasio se compone de un conjunto de cadenas de polímeros que son paralelos entre sí y vinculadas entre sí por entrecruzamiento regulares, formando una red. Cuando el agua entra en contacto con una de estas cadenas, entra dentro de la molécula por osmosis. El agua se desplaza rápidamente hacia el interior de la red del polímero en el que se almacena. Cuando el suelo se seca el polímero libera hasta el 95% del agua absorbida en el suelo (Zúñiga (2007) citado por Laguna y Jarquín (2017)).

2.9.3. Composición química del poliacrilato de potasio

Las características químicas de las unidades monoméricas determinan las propiedades específicas de un polímero, así como la manera en la cual las unidades están ligadas para formar la cadena y el tamaño o el peso molecular del polímero. Cada uno de estos parámetros contribuye a las propiedades físicas del producto polimerizado, siendo estos una gama de polímeros aniónicos de poliacrilamida superabsorbentes. Ellos son copolímeros reticulados de acrilato de potasio acrilamida, que son insolubles en agua, conteniendo 90% de poliacrilamidas y 10% de aditivos (acrilatos de potasio y silicatos de aluminio), (figura 1), (Hidrogel Original s.f.).

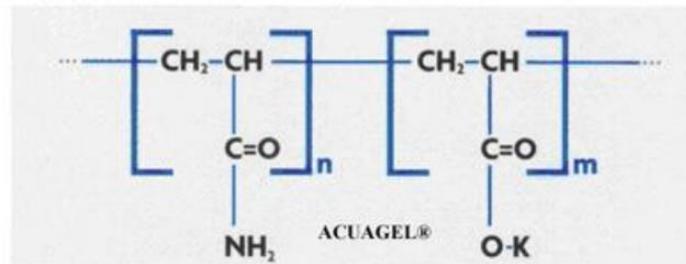


Figura 2 Estructura química del poliacrilato de potasio.

2.9.4. Información medioambiental

Aqua Warehouse (2009) citado por Rodríguez (2014), menciona que la información medioambiental se estructura de la siguiente manera: Biodegradable, el polímero es muy sensible a la acción de los rayos ultravioletas que transforman los polímeros en oligómeros (moléculas de menor tamaño), por lo tanto, es muy sensible a los procesos aeróbicos y anaeróbicos de la degradación microbiana. El Poliacrilato de potasio se degrada naturalmente en el suelo hasta en un 10% - 15% por año, en agua, dióxido de carbono y compuestos de nitrógeno. Bioacumulación, el polímero es muy voluminoso para ser absorbido por los tejidos y las células de las plantas. Su capacidad de bioacumulación es nula. El periodo de efectividad

de los silos de agua en el campo varia de 1 a 7 años, dependiendo del tamaño de las partículas y de las condiciones agroclimáticas.

2.9.5. Toxicidad

Pocos polímeros de importancia comercial tienen propiedades tóxicas, por ello los polímeros se usan en una variedad muy amplia de aplicaciones desde embalaje de alimentos hasta el uso medicinal. Frecuentemente la toxicidad está relacionada con la dosis o la concentración de una sustancia. Muchos componentes que en altas concentraciones constituyen un riesgo para la salud o para el medio ambiente, hacen poco o ningún daño en concentraciones bajas. La posibilidad de un nivel tóxico es improbable en el caso de los polímeros absorbentes diseñados para el uso agrícola y que se elaboran a base de acrilamida. Los fabricantes controlan cada lote individual por la presencia de monieres libres. En los EE.UU. las autoridades ambientales (EPA), han establecido la concentración de 0.10% de monieres libres como el máximo legal. La EPA requiere un registro del producto por arriba de esta concentración. (Hidrogel Original s.f.).

2.9.6. Información de seguridad del poliacrilato de potasio

Cuadro 2. Información toxicológica del poliacrilato de potasio.

Toxicidad: Poliacrilato de potasio demuestra no toxicidad (tasa de 5,000 mg/kg)	
Inhalación	El polvo puede irritar el tracto respiratorio.
Ingestión	Puede causar incomodidad o molestias gastrointestinales. Baja toxicidad oral.
Ojos	El polvo puede producir irritación leve.
Piel	Puede causar irritación, específicamente después de contactos prolongados y repetidos.
Toxicidad crónica	Hasta el momento no se reporta toxicidad crónica.

Fuente: Hidrogel Original s.f.

2.9.7. Descripción de la acrilamida

Los coagulantes de poliacrilamida usados en el tratamiento del agua de consumo contienen concentraciones residuales de monómero de acrilamida. En general, la dosis máxima autorizada del polímero es de 1 mg/l para un contenido de monómero de la poliacrilamida del 0,05%, esta dosis daría una concentración teórica máxima del monómero en agua de 0,5 mg/l, si bien, en la práctica, las concentraciones podrían ser de dos a tres veces menores, estos

valores corresponden a las poliacrilamidas aniónicas y no iónicas, pero las concentraciones residuales derivadas de las poliacrilamidas catiónicas pueden ser mayores. Se utilizan también como agentes cementantes en la construcción de pozos y embalses de agua de consumo. Las personas pueden estar expuestas a concentraciones adicionales de origen alimentario por el uso de poliacrilamida en el proceso de alimentos y la posible formación de acrilamida en alimentos cocinados a temperaturas altas (OMS 2002).

2.9.8. Dosificación y forma de aplicación

El poliacrilato de potasio es un polímero absorbente que debe hidratarse con agua y dejarlo entre 15 a 20 minutos para que absorba el agua. Al tenerlo hidratado, se procede a aplicarse la dosis recomendada para el cultivo específico, en el caso del cultivo de Caña de azúcar la dosis recomendada es de 32-64 kg/mz, la aplicación debe realizarse antes de sembrar la caña semilla, mezclando el polímero con suelo fino a una relación de 10/1, cubriendo con una capa de aproximadamente 2 cm de tierra, posteriormente sembrar la caña de azúcar (Hidrogel Original s.f.).

2.10. Investigaciones con polímeros

Zapata C. (2012) en estudios con rambután (*Nephelium lappaceum* L.) demostró que los tratamientos que mejor respondieron a altura de la planta fueron aquellos donde se utilizaron 3 g/planta de hidrorretenedor, con una frecuencia de riego cada 7 días, obteniendo una altura media de 60.5 cm. Además, la dosis de 3 g/planta de hidrorretenedor a una frecuencia de riego cada 14 días obtuvo 54.5 cm de altura, mientras que la dosis de 2 g/planta a una frecuencia de 21 días obtuvo una altura de 54 cm, mientras que donde se utilizaron 2 g/planta y una frecuencia de riego de 14 días se obtuvo plantas con altura media de 51.5 cm. Barillas et al. (2016) Realizaron un estudio sobre el crecimiento de las plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris*), el cual presentó diferencia significativa sobre la interacción entre las formas de aplicación y las dosis de hidrogel utilizadas, a raíz de esto se obtuvo que el "B2" (tratamiento 6) es el que presentó el mejor resultado con una media de 109 cm, seguido por "A2" (tratamiento 3) el cual presentó una media de 104.6 cm. Se presentaron 4 grupos estadísticos para las medias de los tratamientos, los resultados demuestran que el Poliacrilato de Potasio aumento la altura de las plantas de frijol cuando mayor es la cantidad de poliacrilato que se aplica, esto pudo deberse a la cantidad de humedad que este generó durante el ciclo del cultivo debido a las lluvias. Barón et al. (2006) evaluaron cultivos de Acacia sp. Y rábano (*Raphanus sativus* L.) en fase de vivero en suelos acondicionados con diferentes hidrogeles (Poliacrilatos), en el primer cultivo evaluaron el retraso en la marchitez de la especie y en el segundo la diferencia en

crecimiento. Los resultados demostraron la bondad del uso de hidrogeles en estas aplicaciones: mayor facilidad de liberación y retención de agua aprovechable por el suelo, retraso notable del marchitamiento en condiciones hostiles, y mayor crecimiento de las especies, retrasando hasta en un 400% la marchitez en las especies forestales y en sequias prolongadas la cantidad de plantas marchitas desciende hasta un 250%. Gonzales (2014), estudio el efecto de tres dosis de poliacrilato de potasio en la sobrevivencia de *Pinus arizonica*, para lo cual se evaluó la mortalidad y el crecimiento de las plantas (diámetro y altura). Los resultados obtenidos demostraron que donde se aplicó más polímero hubo más sobrevivencia de la especie, y en el testigo fue menos.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

En este apartado se describen los materiales y metodologías empleadas durante el desarrollo del trabajo de investigación. Así mismo se hace una descripción general de la técnica e instrumentos utilizados

3.1. Ubicación del estudio

La investigación se realizó en el periodo de mayo a noviembre de 2019, ubicado en el lote La Sandillera de la hacienda El Porfiado, cantón San Francisco El Porfiado, en el municipio de San Luis La Herradura, departamento de La Paz, a una altura de 45 metros sobre el nivel del mar, entre los 13°21'19" Latitud Norte y 88°59'41" Longitud Oeste (Figura 3), (Mapas El Salvador 2018)

Los datos climatológicos promedios anuales presentes en la zona de estudio son: precipitación de 147.06 milímetros, temperatura de 26.96°C, humedad relativa de 73%, evapotranspiración potencial de 158.92 milímetros Cuadro A-18. (SNET 2019).

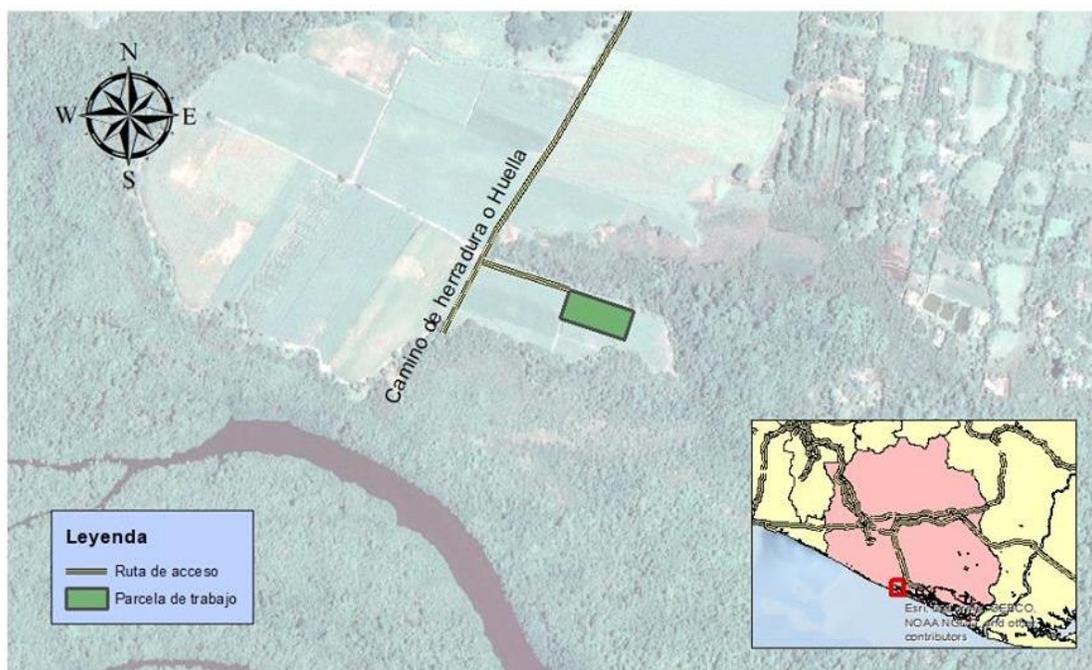


Figura 3 Ubicación geográfica de la parcela de investigación.

3.2. Metodología de campo

3.2.1. Establecimiento y manejo del cultivo

Preparación del suelo

Por ser un suelo arenoso la labor consistió hacer un paso del surcador, preparando el área con un distanciamiento de siembra de 1.40 metros entre surcos en un sistema de siembra simple, se delimitaron los tratamientos y bloques con estacas de madera de 1 metro.

Preparación y aplicación del polímero

La cantidad del polímero destinado para cada tratamiento con su respectiva dosis fue previamente pesada, en balanza semi-analítica en el laboratorio de Química Agrícola, de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. Se mezcló con suelo seco en una relación 1:10 (1 parte del polímero, 10 partes del suelo). Las diferentes dosis del polímero retenedor de humedad se aplicaron sin hidratar en el fondo de cada surco de siembra, posteriormente se cubrió con una capa de tierra de 4 cm.

Siembra

Se sembró la caña de azúcar utilizando dos esquejes por postura a lo largo del surco, se cubrió con tierra y se puso riego por aspersión hasta aplicar 20 mm de lámina de agua, medidos con

un pluviómetro, colocado en el área experimental para determinar cantidad de agua depositada por los aspersores en toda el área para hidratar el polímero retenedor de humedad.

Riego

El método de riego utilizado fue por aspersión haciendo una 1ª aplicación después de la siembra y se repitieron cada 21 días después no haber caído lluvias, aplicando 4 riegos con una lámina promedio de 20 mm de agua, los riegos se aplicaron en las semanas (S-9, S-12, S-21 y S-24), estos riegos fueron aplicados en periodos de estrés hídrico, es decir cuando el porcentaje de humedad gravimétrica se encontraba en punto de marchitez permanente, siendo esta cuando el contenido de agua en el suelo se ha perdido a causa del cultivo, con un valor de (7.02%), mostrando así que el agua que permanece en el suelo no está disponible para las plantas. Cada riego fue aplicado para la recuperación hídrica de las plantas llevando el porcentaje de humedad gravimétrica en suelo a capacidad de campo con un valor de (11.31%). Los riegos fueron aplicados a todos los tratamientos.

Fertilización:

Para la fertilización del cultivo de caña, se aplicaron formulas químicas con en el siguiente orden:

1ª fertilización 30 días después de la siembra con formula 18-46-0 aplicado al subsuelo con fertilizadora, se aplicó 1 qq en toda el área, aplicando la misma cantidad a todos los tratamientos.

2ª fertilización 30 días después de la primera fertilización con una mezcla de sulfato de amonio más urea a una relación de 2:1 es decir 2 qq de sulfato de amonio más 1 qq de urea, se realizó la mezcla previamente de la cual se tomó 1qq y se fertilizaron todos los tratamientos, la aplicación fue de forma manual, aplicándolo entre los surcos aproximadamente 30 gr de fertilizante por metro lineal.

3ª fertilización 60 días después de la segunda fertilización con sulfato de amonio, aplicando 1 qq para todos los tratamientos, la aplicación fue de forma manual, aplicando entre los surcos aproximadamente 30 gr de fertilizante por metro lineal.

Monitoreo de plagas y enfermedades:

El fin fue conocer el estado fitosanitario del cultivo, la evolución de las plagas y su distribución dentro del cultivo, así mismo controlar la efectividad de los insumos agroquímicos en caso de

ser utilizados, después de haber sido aplicados, se realizó un monitoreo frecuente una vez por semana, con la finalidad de prevenir el ingreso y ataque de plagas y enfermedades, en la cual no se observó ningún daño serio por plagas o enfermedades que necesitara un método de control.

Control de malezas:

Para el control de malezas se realizó de dos formas:

1ª. De forma química utilizando herbicida pre-emergente, aplicado después de la siembra, se utilizó con el fin de que el cultivo germinara en un suelo libre de malezas. Una segunda aplicación 50 días después de la siembra con una mezcla de 3 herbicidas con el fin de eliminar hoja, y gramíneas específicas, siendo estos herbicidas quemantes e inhibidores de crecimiento en algunas plantas arvenses.

2ª. De forma manual de los 100 a 110 días después de la siembra, realizada con azadón y machete eliminando malezas presentes, utilizando mano de obra para esa actividad.

Aporque del cultivo de caña de azúcar

Esta labor se realizó a los 80 días de después de haberse sembrado, consistió en un paso de apocador, con el objetivo de acumular suelo o tierra en la base de las cepas para mejorar el anclaje de la planta, desterronar el suelo, mejorar las condiciones de drenaje superficial, controlar las malezas del entresurco.

Cosecha.

La cosecha se realizó en base a los siguientes criterios: madurez fisiológica, edad de cultivo apto para cosechar semilla, corte de tallos y corte de esquejes con una medida aproximada de 45-50 cm. Se desarrolla el empacado en manojos de 50 esquejes cada manojos.

3.3. Metodología de laboratorio

La metodología de laboratorio utilizada para calcular el porcentaje de humedad del suelo según la UNAM (2010), describe que son una serie de procesos de análisis físicos de los suelos en porcentaje de humedad y que se deben calcular por el método de volatilización, usando métodos indirectos que consisten en medir la pérdida de peso de la muestra de suelo después de aplicarles un procedimiento en laboratorio.

Procedimiento:

1. Se pesaron cajas de aluminio vacías en balanza semi-analítica.
2. Se colocaron las muestras de suelo húmedo en las cajas de aluminio.
3. Se pesaron y se obtuvo el peso inicial o peso húmedo.
4. Se colocaron en estufa con ventilación forzada a una temperatura de 105° C durante 24 horas, para eliminar la cantidad de agua de las muestras.
5. Se sacaron las muestras y se anotó el peso final o peso seco.

Este procedimiento se llevó a cabo cada semana en el Laboratorio de Suelos del departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, para determinar el porcentaje de humedad del suelo.

La Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez Permanente se calcularon por procedimientos analíticos utilizando las ollas de presión en el laboratorio.

El procedimiento para determinar la Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez Permanente es el siguiente: las muestras colectadas en campo se llevaron al laboratorio, una parte del suelo paso por un tamiz de 10 mesh la otra parte de suelo se dejó sin tamizar, se colocaron las partes de suelo en dos platos porosos de cerámica, en uno se colocó el suelo sin tamizar y en el otro el suelo tamizado, se colocan por duplicado llenándolos con suelo en anillos de hule sobre el plato poroso de cerámica. Los platos se ubicaron en una bandeja de plástico y se adiciono agua hasta cubrir el plato, teniendo el cuidado de no cubrir los anillos con las muestras de suelo, continuar agregando lentamente agua hasta la completa saturación del suelo.

Después de 12 horas los platos porosos se colocaron en las ollas o membrana de presión, se aplicó aire con incrementos de presión cada 15 minutos hasta llegar a la presión de 1/3 de atmosferas para obtener los valores de capacidad de campo y 15 atmosferas para punto de marchitez permanente, se revisó periódicamente la descarga de agua del tubo de salida, se sumergió el tubo de salida en agua para asegurar que no hubiera burbujas de aire que indicaran alguna fuga.

Las muestras de suelo están en equilibrio cuando deje de salir agua por el tubo de salida. Se sacan las muestras de suelo y se colocaron en recipientes de aluminio previamente pesadas e identificadas, se pesaron en balanza semi-analítica y se anota este peso como Ms+W.

Se llevaron las muestras de suelo en los recipientes de aluminio a la estufa y secaron a 110 °C durante 24 horas. Se pesa y anota como Ms. Con estos datos se calcularon el porcentaje de humedad a partir de la fórmula siguiente:

$$\% \text{ de humedad} = \left(\frac{\text{pérdida de peso}}{\text{peso de la muestra seca}} \right) \times 100$$

Estos análisis se realizaron en el laboratorio de Suelos del departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Facultad de Ciencias Agronómicas, para la prueba de capacidad de campo y punto de marchitez permanente y para determinar el porcentaje de humedad de la parcela se realizó cada ocho días después de la siembra.

3.4. Metodología estadística

3.4.1. Diseño de la investigación

Se utilizó un diseño de Bloques Completos al Azar, con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, cinco dosis de polímero retenedor de humedad, con un total de 20 unidades experimentales. La unidad experimental fue considerada como una parcela con 5 surcos de 15 m de largo y 7 m de ancho, el cual tuvo un área de 105 m².

Modelo matemático

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Variable en estudio en la observación k del tratamiento i en el bloque j

μ = Media del experimento

α_i = Efecto del tratamiento i

β_j = Efecto del bloque j

ϵ_{ijk} = Error experimental de la observación k del tratamiento i del bloque j (Kuehl 2001).

La prueba estadística utilizada fue la comparación de medias Tukey con un nivel de confianza del 5%.

Población y muestra

El área total de la parcela fue de 2,205m² (63 metros de largo por 35 metros de ancho) con una población total de 100 surcos con una longitud de 15 metros a una separación de 1.40 metros de ancho, la unidad experimental se representó por 1 planta por surco, distribuidos en cuatro bloques al azar.

3.4.2. Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra dentro de cada tratamiento fue determinado por 5 plantas que fueron seleccionadas al azar en las dimensiones de un metro lineal, tomado de referencia cada surco con una representación de 7 m² de área útil de cada unidad experimental. En total se realizó el muestreo a 100 plantas de caña de azúcar.

3.4.3. Tratamientos evaluados

Las cantidades de polímero retenedor de humedad fueron determinadas en relación a la recomendación del producto y evaluar dos dosis arriba y dos dosis abajo del valor recomendado por la empresa AQUAGEL, el cual solo está siendo utilizado en México, así mismo se consideraron las dosis en relación al distanciamiento de siembra y tipo de siembra que fue surcado simple.

T₀ = 0 kg/ha de polímero retenedor de humedad.

T₁ = 60 kg/ha de polímero retenedor de humedad (sin Hidratar).

T₂ = 80 kg/ha de polímero retenedor de humedad (sin Hidratar).

T₃ = 100 kg/ha de polímero retenedor de humedad (sin Hidratar).

T₄ = 120 kg/ha de polímero retenedor de humedad (sin Hidratar).

Las diferentes dosis fueron mezcladas con suelo seco seco en una relación 1:10 (1 parte del polímero, 10 partes del suelo), aplicados antes de la siembra al fondo del surco y cubiertos con una capa de tierra de aproximadamente 4 cm.

3.4.4. Variables evaluadas

Las variables evaluadas en la investigación se determinaron según el procedimiento para la toma de medidas en variables fenológicas descrito por Ramón (2011), se determinó un número considerable de cinco (5) plantas establecidas en un área útil de siete metros cuadrados (7m²), cada una de estas plantas ubicada dentro de un metro lineal en cada uno de los surcos.

- a. **Altura del tallo:** se tomó desde los 60 días hasta los 185 días de edad del cultivo y se midió desde la base de la planta hasta el Dewlap (cuello) Visible más alto (+1). Se midió la altura de la planta en metros y se realizó desde la 9° semana, (etapa fenológica de amacollamiento o ahijamiento totalmente definido), hasta la 26° semana (etapa fenológica con población de tallos definidos y cosecha de caña de tercer tercio).

- b. **Cantidad de hojas:** se tomó desde los 60 días hasta los 185 días de edad del cultivo y se registró contando el número de hojas sin contar las marchitas y completamente maduras desde la base de la planta hasta el Dewlap (cuello) Visible más alto (+1).
- c. **Largo del entrenudo:** se tomó desde los 185 días de edad del cultivo y se registró midiendo con cinta métrica desde la línea divisoria del canuto más próximo a la base del tallo tomando 3 puntos por caña.
- d. **Diámetro del tallo:** se tomó desde los 122 días hasta los 185 días de edad del cultivo y se midió después del primer entrenudo visible de la base de la planta, utilizando pie de rey medidas en milímetros.
- e. **Cantidad de entrenudos:** se tomó desde los 122 días hasta los 185 días de edad del cultivo y se registró contando desde el canuto más próximo a la base del tallo hasta el pegue del cogollo.
- f. **Cantidad de plantas productivas por metro lineal:** se contabilizaron a los 185 días de edad del cultivo, contando el número de cañas productivas en una distancia de un metro lineal.
- g. **Cantidad de esquejes por caña:** se tomó a los 185 días de edad del cultivo, partiendo la caña en esquejes de 45 a 50 cm de largo.
- h. **Peso de la caña:** se tomó a los 185 días de edad del cultivo, se registró en los cortes presentes dentro de un metro lineal, los cortes fueron pesados en báscula expresados en kilos.
- i. **Variable independiente** (Uso de un polímero retenedor de humedad en el suelo).

Se evaluó el comportamiento productivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*), de la variedad MEX69-290, aplicando diferentes dosis de polímero retenedor de humedad, sin hidratar en el suelo.

Toma de datos

Por cada tratamiento (surcos), se seleccionaron cinco plantas, a las cuales se les tomó el comportamiento morfológico a evaluar. Los datos de cada variable se midieron una vez por semana, a partir de que presentaron uniformidad en su desarrollo.

3.4.5. Análisis de datos

Para el análisis de las variables se utilizó el programa InfoStatat (versión estudiantil), realizando análisis de estadística descriptiva con medias y análisis de estadística inferencial, análisis multivariante, prueba de normalidad de Shapiro-Wilks, análisis de la varianza paramétrica (ANVA) de Fisher y la prueba de hipótesis de Tukey. Además, se utilizó análisis

de varianza no paramétrica de Kruskal y Wallis y prueba de comparación de apares. (Balzarini et al., 2011).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se determinaron 8 variables durante el ciclo fenológico del cultivo de caña de azúcar, de las cuales tres (3) estuvieron relacionadas con el crecimiento vegetativo, dos (2) con las características principales de la caña de azúcar para semilla, dos (2) con la producción y una (1) con el rendimiento.

Crecimiento vegetativo: altura de la caña, cantidad de hojas, largo de entrenudos.

Características de la caña para semilla: diámetro del tallo, cantidad de entrenudos.

Producción: cantidad de plantas productivas por metro lineal y cantidad de esquejes por planta

Rendimiento: peso de la caña.

4.1. Análisis de humedad en el suelo.

Las pruebas de humedad gravimétrica fueron analizadas en laboratorio para cada semana de desarrollo del cultivo, tomando 10 muestras representativas por todos los tratamientos (cuadro A-19). Donde se demostraron las condiciones del comportamiento de la humedad en la parcela, en la que se estableció el ensayo de investigación. Al analizar el comportamiento de la humedad del suelo (figura 4) se logró determinar los periodos donde el cultivo se abasteció con las precipitaciones, además al encontrar que la humedad del suelo era menor que la capacidad de campo se optó por aplicar riego por aspersion el cual favoreció a que el suelo no llegara al punto de marchitez permanente en donde el cultivo estaría entrando a estrés por falta de agua. Durante la investigación se aplicaron 4 riegos por aspersion con una lámina de 20 mm (20 litros por cada metro cuadrado de tierra), en las semanas 9, 12, 21 y 24 después de establecido el cultivo.

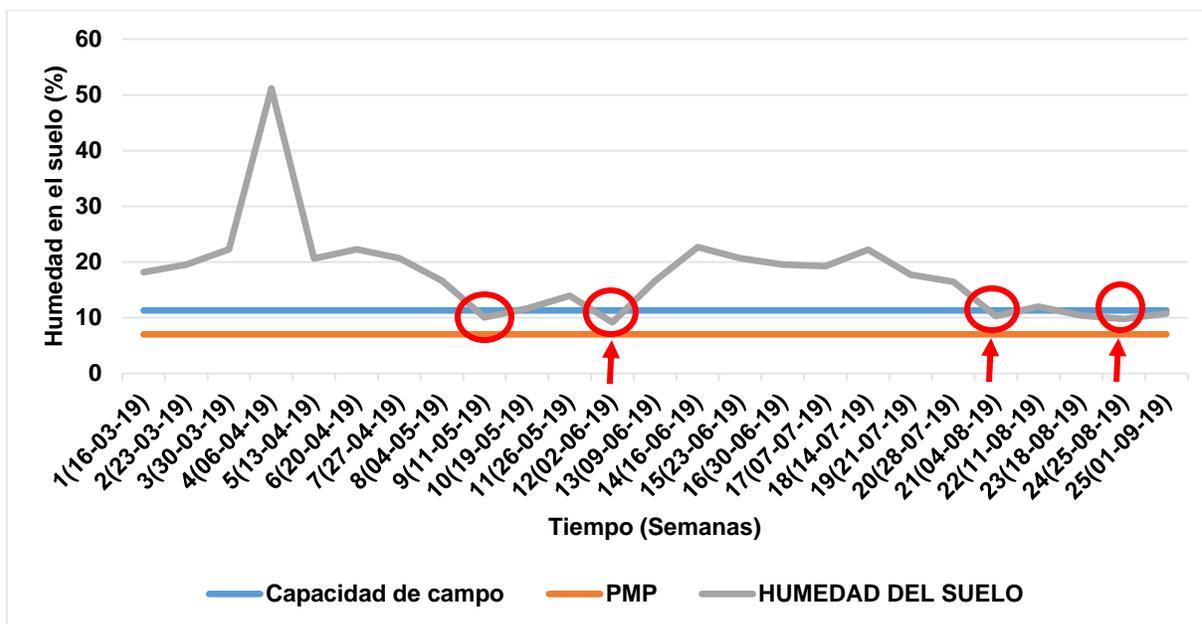


Figura 4. Porcentaje de humedad del suelo por semana en ensayo de investigación.

En el gráfico de humedad se logró identificar un periodo de sequía de 6 semanas o 42 días (desde la semana 6 hasta la 12), en las cuales se hicieron dos aplicaciones de riego cada 3 semanas (21 días), aplicando la primera en la semana 9 donde la curva de humedad del suelo baja sobre el nivel de capacidad campo, periodo en el cual ya no hay agua disponible para el desarrollo de la planta. Observando la curva identificamos que la captura de agua del polímero retenedor de humedad permite ampliar el periodo de riego hasta 3 semanas, aplicando así riego por aspersión hasta la semana 12 nuevamente, cuando el Ingenio El Ángel lo hace en base a su programación cada semana. Mismo caso sucede en los dos últimos riegos aplicados en la semana 21 y 24, con los cuales se reduce el número de riegos aplicados los cuales reducen los costos de producción en las actividades de riego, pasando de 25 a 4 riegos en un periodo de 6 meses.

4.2. Altura de la planta (m)

Para la medición de la variable altura de la planta en la etapa final del desarrollo, se evaluó el crecimiento vertical de estas las cuales se midieron desde la base del tallo (a nivel del suelo), hasta el Dewlap (cuello) Visible más alto (+1) de la planta. Para esta variable se verificó el supuesto de normalidad con el objetivo de determinar la variabilidad por un análisis de varianza, cumpliendo con los supuestos de normalidad. El análisis de varianza (cuadro A-1), mostró que el factor dosis de polímero presentó diferencias altamente significativas ($p < 0.0001$). La prueba de comparación de medias de Tukey (Cuadro A-2), así lo demuestra,

donde se identificó que la dosis de 60 kg/ha mostró diferencias estadísticamente significativas con respecto a las demás dosis (Figura 5), representándose la dosis de 60 kg/ha como la mejor altura de la planta, en contraposición, las dosis de 0 kg/ha y 100 kg/ha fueron quienes mostraron las menores alturas, siendo estadísticamente diferentes (<0.05).

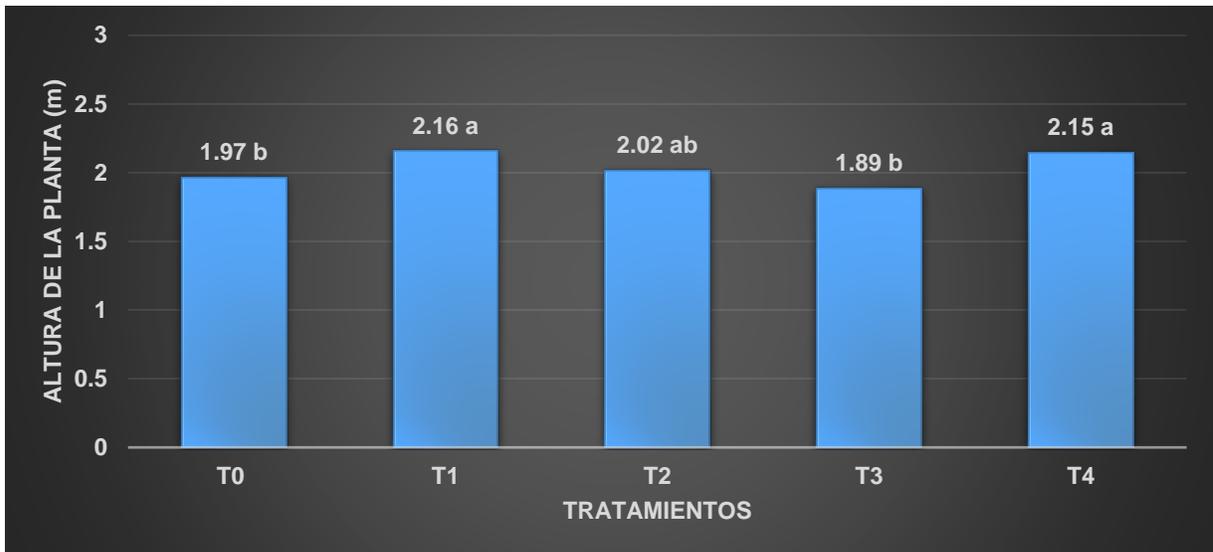


Figura 5. Altura de la planta en la variedad MEX69-290, para semilla aplicando cuatro dosis de polímero retenedor de humedad.

En la investigación al utilizar diferentes dosis de polímero retenedor de humedad, se obtuvo que las mejores alturas de las plantas se produjeron al aplicar el T1 y T4 con dosis de 60 y 120 Kg/ha con 2.16 m y 2.15 m respectivamente, sin embargo, la altura de los tratamientos T0 y T3 con dosis de 0 y 100kg/ha presentaron la menor respuesta con 1.97 y 1.89 m de altura respectivamente.

4.3. Cantidad de hojas

Para esta variable se verificó el supuesto de normalidad con el objetivo de determinar la variabilidad por un análisis de varianza, cumpliendo con los supuestos de normalidad. El análisis de varianza (Cuadro A-3) mostró que el factor dosis de polímero no presentó diferencia estadística significativa ($p < 0.0512$), sin embargo, en la prueba de comparación de medias Tukey (Cuadro A-4), hay una aproximación del efecto del polímero retenedor de humedad en relación con la cantidad de hojas siendo la dosis de 60kg/ha, la que presentó un mejor comportamiento, no obstante, el tratamiento con el menor efecto mostrado fue la de 80 Kg/ha (Figura 6).

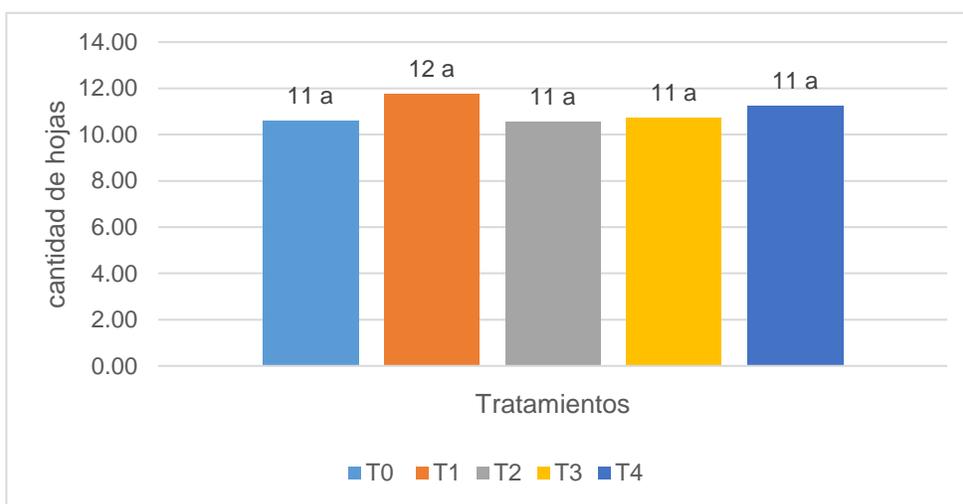


Figura 6. Cantidad de hojas finales de la caña de azúcar para semilla variedad MEX69-290.

Aun cuando no existen diferencias significativas ($p < 0.05$), los resultados demuestran que prevalece un comportamiento aceptable de la caña de azúcar en presencia de las diferentes dosis de polímero retenedor de humedad aplicados, mostrando una mayor cantidad de hojas las plantas que recibían un menor estrés hídrico.

La formación de las hojas del cultivo de caña de azúcar depende de la temperatura y edad de la planta, la expansión de las hojas también se efectúa a niveles más altos cuando las temperaturas son altas, pero estas no se mantienen en la planta debido al agotamiento de las reservas de hidratos de carbono. Según (Amaya *et al.* 1995), la longevidad de las hojas (desde el nacimiento hasta la senescencia de una sola hoja), son mucho más cortas a temperaturas altas, y a condiciones de estrés hídrico, de igual manera en plantas jóvenes la longevidad es corta, generalmente menor a un mes y en plantas más viejas puede durar hasta 5 meses, lo que lleva a mantener un poco follaje, lo que no es suficiente para la completa captación y

translocación de la sacarosa. Aspecto que puede estar relacionado con los resultados de la presente investigación.

4.4. Largo de entrenudos. (m)

Para analizar esta variable se verificó el supuesto de normalidad con el objetivo de determinar la variabilidad por un análisis de varianza, cumpliendo con los supuestos de normalidad. Según el análisis de varianza (Cuadro A-5), mostró que el factor dosis de polímero retenedor de humedad no presentó diferencia estadística significativa ($p < 0.0884$). Sin embargo, en la prueba de comparación de medias Tukey (Cuadro A-6), hay una relación del efecto del polímero retenedor de humedad producido en el crecimiento del entrenudo (figura 7), siendo la dosis de 60 kg/ha, la que presentó un mejor comportamiento con 0.12 m de longitud, no existiendo diferencia estadística alguna entre ellas, en contraposición la dosis de 100Kg/ha mostro un menor efecto en el largo de entrenudos con un valor de longitud de 0.10 m, siendo estadísticamente iguales ($p < 0.05$).

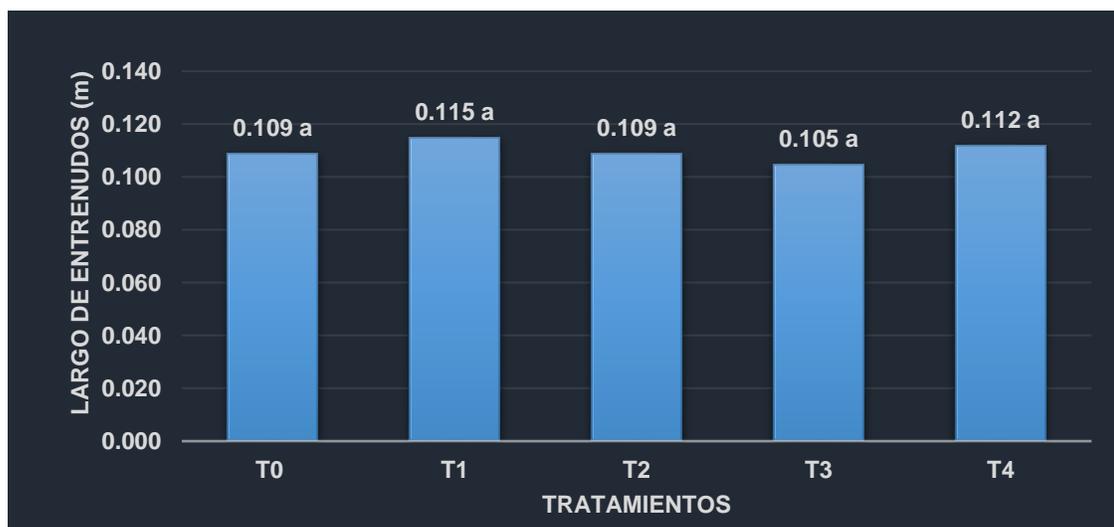


Figura 7. Largo de entrenudos de la caña de azúcar para semilla.

Aun cuando no existen diferencias estadísticas significativas, los resultados demuestran que prevalece un comportamiento favorable del T1 con la dosis de 60 kg/ha, en presencia del largo del entrenudo con 0.115 m, mostrando similar comportamiento al comparar con los demás tratamientos para esta variable.

4.5. Diámetro del tallo (mm)

Para la variable del diámetro del tallo se verificó el supuesto de normalidad con el objetivo de determinar la variabilidad por un análisis de varianza, cumpliendo con los supuestos de normalidad, el análisis de varianza (Cuadro A-7), mostró que el factor dosis de polímero retenedor de humedad no presentó diferencias estadísticas significativas ($p < 0.1154$). Sin embargo, en la prueba de comparación de medias Tukey (Cuadro A-8), así lo demuestra (figura 8) donde se identificó que la dosis de 60 kg/ha (T1), es la que presentó un mejor comportamiento con un valor de 26.17 mm de diámetro del tallo, no existiendo diferencia significativa alguna entre ellas, siendo la dosis de 100 Kg/ha (T3) la que mostró un menor efecto en el diámetro del tallo con un valor de 25.19 mm, siendo estadísticamente iguales al comparar con los diferentes tratamientos, confirmando que al no aplicar polímero retenedor de humedad se obtendrán resultados similares que al aplicar cualquiera de las otras dosis.



Figura 8. Diámetro de los tallos de la caña de azúcar para semilla.

4.6. Cantidad de entrenudos

Para esta variable se contabilizó el número de entrenudos que surgieron desde la base del tallo a partir de los 4 meses, con una uniformidad en el desarrollo del tallo y con presencia de entrenudos, se contabilizó hasta la cosecha de la caña de azúcar siendo esta de 6 meses para semilla. Para esta variable se verificó el supuesto de normalidad con el objetivo de determinar la variabilidad por un análisis de varianza, cumpliendo con los supuestos de normalidad. El análisis de varianza (Cuadro A-9), mostró que el factor dosis de polímero retenedor de humedad presentó diferencias altamente significativas ($p < 0.0006$). La prueba de comparación

de medias de Tukey (Cuadro A-10) así lo demuestra, donde se identificó que la dosis de 120 kg/ha (T4) presentó los mejores resultados con 20 entrenudos por planta, mientras que las dosis de 60 Kg/ha (T1) y 80 Kg/ ha (T2) mostraron resultados similares entre ellas con 19 entrenudos por planta respectivamente, siendo las dosis de 0 (T0) y 100 Kg/ha (T3) los que mostraron los resultados más bajos con 18 entrenudos por planta cada uno.



Figura 9. Cantidad de entrenudos de la caña de azúcar para semilla

La presente investigación demuestra que las dosis de 60 kg/ha, 80 kg/ha y 120 kg/ha producen resultados similares, representándose como los mejores tratamientos, las dosis de 0 kg/ha y 100Kg/ha obtuvieron un total de 18 entrenudos mostrando los resultados más bajos.

4.7. Cantidad de plantas productivas por metro lineal

En la medición de esta variable se contó la cantidad de plantas productivas presentes en un metro lineal tomando 5 puntos por cada tratamiento. Para esta variable se verificó el supuesto de normalidad con el objetivo de determinar la variabilidad por un análisis de varianza, cumpliendo con los supuestos de normalidad. El análisis de varianza (Cuadro A-11), mostró que el factor dosis de polímero retenedor de humedad no presentó diferencias estadísticas significativas ($p < 0.5592$).

Sin embargo, en la prueba de comparación de medias Tukey (Cuadro A-12), así lo demuestra, donde se identificó que la dosis de 0 kg/ha, es la que presentó una mayor cantidad de plantas productivas con un valor de 16 plantas, no existiendo diferencia significativa alguna entre ellas, siendo la dosis de 60 Kg/ha la que mostró un menor efecto en relación al número de plantas productivas con un valor de 14 plantas, siendo estadísticamente iguales ($p < 0.05$) (figura 10).



Figura 10. Cantidad de plantas productivas presentes en un metro lineal.

4.8. Cantidad de esquejes de la planta

El corte de caña de azúcar para semilla puede realizarse a partir de los 6 meses, fase en la cual el ingenio El Ángel puede iniciar el corte de caña semilla para su distribución, haciendo cortes con una medida de 40 a 50 cm de largo, que es una medida estándar que el ingenio maneja, debido a que el esqueje posee de 4 a 6 yemas viables.

Para el análisis estadístico de las fuentes de variación (dosis de polímero retenedor de humedad), en los números de cortes de la planta en la etapa final de desarrollo, se verificó el supuesto de normalidad con el objetivo de determinar la variabilidad por un análisis de varianza (ANVA) paramétrico (Cuadro A-13). La cantidad de cortes de la planta en la etapa final de desarrollo, no cumplieron con el supuesto de normalidad 0.92, $P < 0.0001$. De manera que se procedió a transformar los datos con el objetivo de ajustarlos.

Al aplicar el análisis de varianza no paramétrico de Kruskal y Wallis (Cuadro A-14), para cada fuente de variación. Las dosis de polímero retenedor de humedad, produjeron diferencias significativas en las diferentes medias de la cantidad de esquejes de la planta, así lo demuestra la prueba de comparación de A pares para número de cortes por planta en la última etapa de desarrollo según tratamientos (Cuadro A-15), siendo las dosis de 60 kg/ha (T1) y 120 kg/ha (T4) las que produjeron con 3 y 3.1 esquejes por planta respectivamente, mientras que las dosis de 0 kg/ha (T0) y 80 kg/ha (T2) mostraron similar comportamiento con 2.85 y 2.95 esquejes por planta respectivamente, asimismo, la dosis de 100 kg/ha (T3) que presentó la

menor cantidad de esquejes/planta con un total de 2.6 esquejes. (Figura 11).

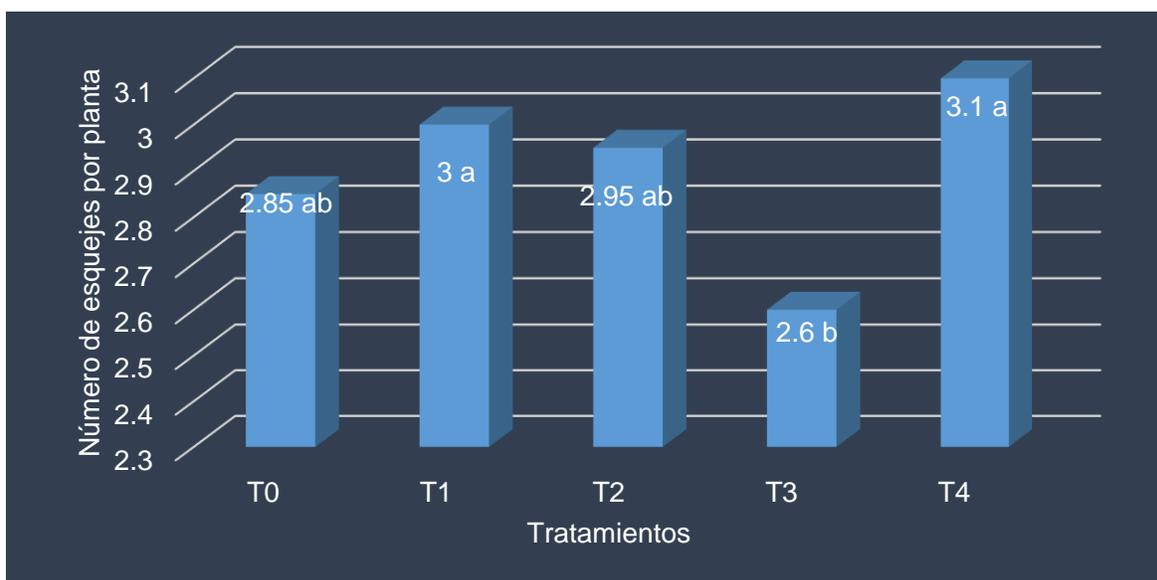


Figura 11. Cantidad de esquejes de las plantas productivas.

4.9. Peso de la caña de azúcar

En el análisis de esta variable se pesó cada una de las cañas identificadas dentro de un metro lineal en cada uno de los tratamientos.

Para esta variable se verificó el supuesto de normalidad con el objetivo de determinar la variabilidad por un análisis de varianza, cumpliendo con los supuestos de normalidad. El análisis de varianza (cuadro A-16), mostró que el factor dosis de polímero retenedor de humedad no presentó diferencias estadísticas significativas ($p < 0.0514$). Sin embargo, en la prueba de comparación de medias Tukey (Cuadro A-17), hay una relación del efecto del polímero retenedor de humedad producido en el peso de la caña de azúcar (figura 12), siendo la dosis de 120 kg/ha (T4), la que presentó un mejor comportamiento con 0.83 kg, no existiendo diferencia estadística alguna entre ellas, en contraposición la dosis de 100Kg/ha (T3) mostró un menor efecto en relación con el peso con 0.68 kg, siendo estadísticamente iguales ($p < 0.05$).



Figura 12. Peso de la caña de azúcar para semilla.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, así como los objetivos e hipótesis planteadas y a las condiciones bajo las cuales se desarrolló la presente investigación se concluye que:

- Estadísticamente las dosis de polímero retenedor de humedad, mostraron diferencias altamente significativas en las variables altura de la planta, con un nivel de significancia de 0.05%, las dosis de 60 (T1) y 120 Kg/ha (T4) mostraron los mejores resultados con 2.16 m y 2.15 m de altura respectivamente, sin embargo, las dosis de 0 (T0) y 100kg/ha (T3) presentaron la menor respuesta con 1.97 y 1.89 m de altura respectivamente, aunque para las variables cantidad de hojas, largo de entrenudos, diámetro de tallos estas dosis no mostraron diferencias estadísticas.
- Las diferentes dosis de polímero retenedor de humedad evaluadas en la variable de cantidad de entrenudos mostraron diferencias altamente significativas ($p > 0.05$), siendo la dosis de 120 kg/ha (T4) que presentó los mejores resultados con 20 entrenudos por planta, mientras que las dosis de 60 Kg/ha (T1) y 80 Kg/ha (T2) mostraron resultados similares entre ellas con 19 entrenudos por planta respectivamente, siendo las dosis de 0 (T0) y 100 Kg/ha (T3) los que mostraron los resultados más bajos con 18 entrenudos por planta cada uno.
- Las variables peso de la caña y cantidad de plantas productivas por metro lineal no mostraron diferencias estadísticamente significativas, es decir que las dosis de

polímero retenedor de humedad producen un comportamiento similar en estas variables, siendo estas relacionadas la primera en rendimiento y la segunda e la producción de caña de azúcar para semilla.

- Estadísticamente las dosis de polímero retenedor de humedad mostraron diferencias altamente significativas en la variable cantidad de esquejes por caña, siendo las dosis de 60 kg/ha (T1) y 120 kg/ha (T4) las que produjeron con 3 y 3.1 esquejes por planta respectivamente, mientras que las dosis de 0 kg/ha (T0) y 80 kg/ha (T2) mostraron similar comportamiento con 2.85 y 2.95 esquejes por planta respectivamente, asimismo, la dosis de 100 kg/ha (T3) que presentó la menor cantidad de esquejes/planta con un total de 2.6 esquejes.
- Al aplicar el polímero retenedor de humedad en la producción de caña para semilla de la variedad MEX69-290 se reducen considerablemente los periodos de riego, asimismo, el costo por cada aplicación de riego es mucho mayor que el costo de la adquisición y aplicación del polímero usando la dosis de 60 Kg/ha ya que fue la que respondió de una mejor manera para las variables altura de planta, cantidad de esquejes por planta y cantidad de entrenudos, además es la dosis que más se ajusta a las condiciones económicas del productor de semilla de caña de azúcar, mientras que al comparar con la dosis de 60 kg/ha con la dosis de 120 Kg/ha se estarían duplicando los costos en la adquisición del polímero y se comprobó que el comportamiento para las variables anteriormente mencionadas fueron similares en ambas dosis.

6. RECOMENDACIONES

- Utilizar la dosis de 60 kg/ha (T1) de polímero retenedor de humedad a base de (poliacrilato de potasio), se obtendrán los mejores resultados con respecto a las variables; altura de la planta y cantidad de esquejes por planta de caña de azúcar para semilla, ya que el comportamiento fue bastante similar al usar la dosis de 120 Kg/ha (T4) del polímero retenedor de humedad, superando únicamente al T1 en la variable número de entrenudos, pero basándose en la capacidad económica de adquirir y aplicar el polímero es más conveniente la dosis de 60 Kg/ha para la producción de semilla de caña de azúcar.

- Realizar otras investigaciones utilizando polímero retenedor de humedad en otros intervalos de riego, épocas secas, diferentes sistemas de riego y aplicación de polímero en forma hidratada para la producción de caña de azúcar para semilla.

- Realizar investigaciones con la aplicación del polímero y llevar el registro de la relación beneficio-costos para determinar si económicamente la aplicación de esta tecnología se convierte en una alternativa sostenible y comparar con el uso del recurso hídrico y los intervalos de riego.

7. BIBLIOGRAFÍA

Aguilar Rivera, N, (s.f). Ficha técnica del cultivo de caña de azúcar. Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Veracruz México (en línea). Consultado 15 mar. 2020. Disponible en http://nutriciondebovinos.com.ar/MD_upload/nutriciondebovinos_com_ar/Archivos/File/CA%C3%91A_DE_AZ%C3%91ACAR,_FICHA_T%C3%89CNICA.pdf

Alarcón, J. 2013. Hacia una producción de maíz y frijol adaptada al cambio climático, evaluación del poliacrilato de potasio (lluvia sólida) en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), bajo condiciones controladas y en campo abierto, como práctica potencial de adaptación a la amenaza de sequía. Parramos, Chimaltenango, Guatemala. 13 p.

Amaya Estévez, A; Cok, JH; Hernández, AP; Irvine, JE. 1995. Biología. En: CENICAÑA (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia). El cultivo de caña en la zona azucarera (en línea). Cali, Colombia. 62p. Consultado 02 de abr. 2019. Disponible en http://www.cenicana.org/pdf/documentos_no_seridados/libro_el_cultivo_cana/libro_p31-62.pdf

Badillo, M; Valdera, F; Bodas, V; Fuentelsaz, F; Peitiado, C. 2009. Manual de buenas prácticas de riego, propuestas para uso eficiente del agua en la agricultura. Madrid, España. 36 p (en línea). Consultado 15 mar. 2020. Disponible en [http://awsassets.wwwf.es/downloads/buenas practicas de riego.pdf](http://awsassets.wwwf.es/downloads/buenas_practicas_de_riego.pdf)

Balzarini, M; Di Rienzo, J; Tablada, M; Gonzales, L; Bruno, C; Cordoba, M; Robledo, W; Casanoves, F. 2011. Estadística y Biometría. Ilustraciones del uso de infostat en problemas de agronomía 1° edición. Argentina. (en línea). Consultado 20 jun. 2020. Disponible en <http://www.agro.unc.edu.ar/~mci/archivos/Estadistica%20y%20Biometria.pdf>

Barilla, E; Villeda, V; Trujillo, O. 2016. Efecto de tres dosis y dos formas de aplicación del acrilato de potasio o hidrogel sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de frijol *Phaseolus vulgaris* L., establecido en campo abierto en tres localidades del corredor seco de Guatemala. Guatemala. 80 p.

Barón Cortes, A; Barrera Ramírez, IX; Boada Eslava, LF; Rodríguez Niño, GA. 2006. Evaluación de hidrogeles para aplicaciones agroforestales, Revista ingeniería e investigación. 27(3). 35-44 p.

CAMAGRO (Cámara Agropecuaria y Agroindustrial de El Salvador). (s.f.). Guía Técnica de Caña de Azúcar (en línea). San Salvador, El Salvador. Consultado 22 feb. 2018. Disponible

en

http://media.admininhouse.com/uploads/www.camagro.com.sv/estructura_3437/Gu%C3%ADa%20T%C3%A9cnica%20de%20Ca%C3%B1a%20de%20Azucar.pdf

Castañeda Castro, O; Gomes Merino, FC; Trejo Téllez, LI; Pastelin Solano, MC. (s.f). El estrés osmótico inducido por polietilenglicol altera las consecuencias de macronutrientes en plantas de caña de azúcar (*Saccharum spp*) In Vitro. Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas. Veracruz México. Volumen 49. Número 8. (en línea). Consultado 20 abr. 2020. Disponible en <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v49n8/v49n8a4.pdf>

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2010. El Salvador Efectos del cambio climático sobre la agricultura. Distrito Federal de México. 65 p (en línea). Consultado 20 jun. 2020. Disponible en <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/25919/1/lcmexl969.pdf>

CONADESUCA (Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar, México). 2015. Ficha técnica del cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) (En línea). Consultado el 24 de ene. De 2018. Disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/141823/Ficha_Tecnica_Cana_de_Azucar.pdf.

CONSAA (Consejo Salvadoreño de la Agroindustria Azucarera). 2017. Informe de cuentas, periodo: junio 2016-mayo 2017 (en línea). El Salvador. Consultado: 19 mar. 2018. Disponible en <http://www.consaa.gob.sv/wp-content/uploads/2017/12/Informe-de-Rendici%C3%B3n-de-Cuentas.pdf>

Deambrosi, A; Espindola, CM; INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 2012. Efecto de la sequía en el rendimiento de los cañaverales de la cuenca cañera Santafesina. Santa Fe, Argentina. (en línea). Consultado 15 mar. 2020. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_voces_y_ecos_nro28_efecto_de_la_sequa_enel_rendi.pdf

Díaz Ayala, SP; Gracias Serrano, FE; Romero Huevo, CM. 2004. Caracterización del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en El Salvador. Tesis Ing. Agr. San Salvador. Universidad de El Salvador. (en línea). Consultado 20 jun. 2020. Disponible en <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/1566/1/13100527.pdf>

Díaz Montejo, LL; Portocarrero Rivera, ET. 2002. Manual de producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) (En línea). Tesis Ing. Agrónomo, Honduras; ZAMORANO.

Consultado 30 abr. 2018. Disponible en <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2247/1/CPA-2002-T043.pdf>

Díaz Montejó, LL; Portocarrero Rivera, ET. 2002. Manual de producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) (En línea). Tesis Ing. Agrónomo, Honduras; ZAMORANO.

Consultado 30 abr. 2018. Disponible en <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2247/1/CPA-2002-T043.pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, América Latina y El Caribe). 2006. Importancia de la agricultura para la economía (en línea). Consultado: 15 mar. 2018. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/v9648s/v9648s.htm>

Génova, LJ; Andreau, R; Etcheverry, M; Etchevers, P; Chale, W; Calvo, L; Ramos Artuso, F, (s.f). Relaciones Agua-Suelo-Planta-Atmosfera. México (en línea). Consultado 15 mar. 2020. Disponible en aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/35376/mod_resource/content/1/unidad%205%20TP5%20RASP.A.pdf

Gonzales, A. 2014. Aplicación de hidrogeles como retenedores de agua en forestales. Coahuila, México, 53 p.

Hidrogel Original. (s.f). ACUA-GEL, Comercializadora Internacional México (en línea). Consultado 25 abr. 2018. Disponible en <http://www.hidrogel.com.mx/comim/comim.pdf>

HIDROKEEPER. (s.f). Línea Agrícola Hidroretenedor, Evaluación de Hidrokeeper en la producción de caña de azúcar (diapositiva). Costa Rica. 11 diapositivas, color. (Serie técnica).

Ibarra Turcios, A.M. 2007. Cambio climático, génesis, impactos y propuestas para enfrentarlo (en línea). San Salvador, El Salvador. 132 p. Consultado 15 abr. 2018. Disponible en <https://www.unes.org.sv/wp-content/uploads/2017/02/Genesis-impactos-y-medidas-Cambio-Climatico.pdf>

Ibarra Turcios, AM; Amaya, LB, 2007. CAMBIO CLIMÁTICO GÉNESIS, IMPACTOS Y PROPUESTAS PARA ENFRENTARLOS (en línea). San Salvador, El Salvador. 132 p. Consultado 15 abr. 2018. Disponible en <https://www.unes.org.sv/wp-content/uploads/2017/02/Genesis-impactos-y-medidas-Cambio-Climatico.pdf>

Idrobo, HJ; Rodríguez, AM; Díaz Ortiz, JE. 2010. Comportamiento del hidrogel en suelos arenosos. Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal. (9). 33-37 p.

INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). 2005. Proyecto MET-ALARN. Sequía Meteorológica. Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. Managua, Nicaragua. 51 p.

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 2014. Manual de buenas prácticas para la conservación del suelo, la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos. Buenos Aires, Argentina. 94 p. (en línea). Consultado 20 jun. 2020. Disponible en <https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-manual-de-buenas-practicas-para-la-conservacion-del-suelo-la-biodiversidad.pdf>

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático). 2007. Cambio Climático 2007, Informe de Síntesis. Ginebra, Suiza. 104 p (en línea). Consultado 15 mar. 2020. Disponible en https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_sp.pdf

Kuehl, RO. 2001. Principios estadísticos para el diseño y análisis de investigaciones. Diseño de experimentos. 2. Ed. México. Thomson. 680 p.

Laguna Martínez, RA; Jarquín Olivas, JM. 2017. Uso de hidroretenedores de agua en tres texturas de suelo y frecuencias de riego en brotes de yemas en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L) variedad CP 72-2086. Managua 2016 (en línea). Tesis Ing. Agr. Managua, Nicaragua. UNA. Consultado 25 abr. 2018. Disponible en <http://repositorio.una.edu.ni/3517/1/tnp331182.pdf>

Mapas El Salvador. 2018. Página Virtual. Santiago Nonualco-La Paz. Coordenadas Geográficas (en línea). El Salvador. Consultado 22 feb. 2018. Disponible en http://www.mapaselsalvador.net/santiago-nonualco_la-paz.html

MARN-DGOA (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales – Dirección General del Observatorio Ambiental). 2018. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático El Salvador. San Salvador, El Salvador, Centroamérica (en línea). Consultado 20 jun. 2020. Disponible en <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/El%20Salvador-NC3-1-TCN%202018%20Rejecutivo%20ingles%20espanol%20WEB.pdf>

Ochoa, S. 2014. Efecto con diferentes dosis de polímero (acrilato de potasio) en trigo para retención de agua en suelos arcillosos en el Valle del Yaqui. Tesis Ing. Sonora, México. Instituto Técnico de Sonora. 5 p.

OMS (Organización Mundial de la Salud, México). 2002. Consecuencias para la salud de Acrilamida en los Alimentos (en línea). Consultado 25 abr. 2018. Disponible en

<http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42635/9243562185.pdf;jsessionid=5C47CBC0444355E4B952C1D89C0B1C5B?sequence=1>

ONU (Organización de las Naciones Unidas). 1992. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Nueva York. 26 p (en línea). Consultado 15 mar. 2020. Disponible en <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

Ramón Patiño, HA. 2011. Evaluación del rendimiento agro productivo e industrial de 3 variedades certificadas de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) de origen cubano (C1051-73, C8751, C132-81), frente al testigo variedad cristalina, en etapa de cosecha, en el Cantón Huamboya provincia de Morona Santiago (en línea). Tesis Ing. Agr. Industrial, Cuenca-Ecuador; Universidad Politécnica Salesiana. Consultado 17 abr. 2018. Disponible en <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1094/13/UPS-CT002112.pdf>.

Rico, S. 2006. Lluvia sólida, foro mundial del agua. (4, 2006, México), Acciones locales para un reto global. 4 p.

Rodríguez Hernández, CH. 2014. Evaluación del poliacrilato de potasio y de materiales genéticos de *Zea mays* L. en dos épocas climáticas del año en la Maquina, Cuyotenango, Suchitepeque (en línea). Tesis Ing. Agr. Guatemala. USAC Consultado 25 abr. 2018. Disponible en <http://www.repositorio.usac.edu.gt/1481/1/022%20EPS%20%28496%29Agr%20Carlos%20Humberto%20Rodr%C3%ADguez.pdf>

Rosales Ortiz, C.A. 2013. Evaluación de tres de riego con polietileno, en suelo arcillo, sobre el crecimiento y rendimiento de caña de azúcar; Cuyutenango, Suchitepéquez (en línea). Tesis Ing. Agrónomo con énfasis en cultivos tropicales. Cuyutenango sede de Escuintla, Universidad Rafael Landívar. Consultado 02 de abr. 2019. Disponible en <file:///C:/Users/Ignacio/Documents/doc.%20tesis%20ignacio/Rosales-Carlos.pdf>

SNET (Sistema Nacional de Estudios Territoriales, El Salvador). 2018. Perspectiva del clima para el período de agosto a noviembre 2016. El Salvador. MARN (en línea). Consultado 2 nov. 2018. Disponible en www.snet.gob.sv/ver/meteorologia/pronostico/perspectivas+clima/

UNAC (Universidad Nacional del Callao). 2017. El agua solida (acrilato de potasio) para retención de agua (en línea). Lima, Perú. 19 p. Consultado 15 abr. 2018. Disponible en <https://es.scribd.com/document/397915019/Policrilato-de-Potasio>

UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México). 2010. Manual de Procedimientos Analíticos, Laboratorio de Física de Suelos (en línea). Consultado el 19 de jun. De 2018.

Disponible en
<http://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL%20DEL%20LABORATORIO%20DE%20FISICA%20DE%20SUELOS1.pdf>

Zepeda Cabrera, CA. 2012. Efecto de cinco dosis de un polímero retenedor de humedad y cuatro frecuencias de riego en almacigo de rambután (*Nephelium lappaceum L.*) en Coatepeque, Quetzaltenango (en línea). Tesis Lic. En Ciencias Agrícolas, Coatepeque, Universidad Rafael Landívar. Consultado 01 May. 2018. Disponible en <http://biblio3.url.edu.gt/Tesario/2012/06/17/Zapeta-Carlos.pdf>

8. ANEXOS

Cuadro A-1. Análisis de la varianza para la variable altura de la planta.

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>lampacean</u>	<u>Aj</u>	<u>CV</u>
Altura (Cm)	100	0.38	0.33	9.26	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	19851.45	7	2835.92	7.95	<0.0001
Tratamiento	11244.14	4	2811.04	7.88	<0.0001
Bloques	8607.31	3	2869.10	8.04	0.0001
Error	32822.34	92	356.76		
<u>Total</u>	<u>52673.79</u>	<u>99</u>			

Cuadro A-2. Prueba de Tukey de la altura de la planta.

<u>Tratamiento</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
T1	216.25	20	4.22 A
T4	215.40	20	4.22 A
T2	202.20	20	4.22 A B
T0	196.55	20	4.22 B
<u>T3</u>	<u>189.05</u>	<u>20</u>	<u>4.22 B</u>

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

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=16.62052

Error: 356.7646 gl: 92

Cuadro A-3. Análisis de varianza para la variable cantidad de hojas.

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>gal</u>	<u>Aj</u>	<u>CV</u>
# Hojas	100	0.15	0.08	13.30	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	33.64	7	4.81	2.25	0.0368
Tratamiento	20.96	4	5.24	2.46	0.0512
Bloques	12.68	3	4.23	1.98	0.1223
Error	196.32	92	2.13		
<u>Total</u>	<u>229.96</u>	<u>99</u>			

Cuadro A-4. Prueba de Tukey de la cantidad de hojas.

<u>Tratamiento</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
T1	11.75	20	0.33 A
T4	11.25	20	0.33 A
T3	10.75	20	0.33 A
T0	10.60	20	0.33 A
<u>T2</u>	<u>10.55</u>	<u>20</u>	<u>0.33 A</u>

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

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.28541

Error: 2.1339 gl: 92

Cuadro A-5. Análisis de varianza para la variable largo de entrenudos.

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>gal Aj</u>	<u>CV</u>
Largo de entrenudo promedio.	100	0.31	0.26	10.90

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	58.80	7	8.40	5.86	<0.0001
Tratamiento	12.15	4	3.04	2.12	0.0844
Bloques	46.65	3	15.55	10.86	<0.0001
Error	131.76	92	1.43		
<u>Total</u>	<u>190.56</u>	<u>99</u>			

Cuadro A-6. Prueba de Tukey de largo de entrenudos.

<u>Tratamiento</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
T1	11.52	20	0.27 A
T4	11.14	20	0.27 A

T2	10.93	20	0.27 A
T0	10.86	20	0.27 A
<u>T3</u>	<u>10.46</u>	<u>20</u>	<u>0.27 A</u>

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

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.05306

Error: 1.4322 gl: 92

Cuadro A-7. Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo.

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>gal Aj</u>	<u>CV</u>
Promedio diámetro	100	0.09	0.02	8.71

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	0.49	7	0.07	1.35	0.2341
Tratamiento	0.39	4	0.10	1.91	0.1154
Bloques	0.10	3	0.03	0.61	0.6073
Error	4.74	92	0.05		
<u>Total</u>	<u>5.23</u>	<u>99</u>			

Cuadro A-8. Prueba de Tukey de diámetro del tallo.

<u>Tratamiento</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
T1	2.71	20	0.05 A
T0	2.63	20	0.05 A
T4	2.62	20	0.05 A
T2	2.57	20	0.05 A
<u>T3</u>	<u>2.52</u>	<u>20</u>	<u>0.05 A</u>

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

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.19976

Error: 0.0515 gl: 92

Cuadro A-9. Análisis de varianza para la variable cantidad de entrenudos.

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>galAj</u>	<u>CV</u>
# Entrenudos totales	100	0.20	0.14	8.47

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	59.26	7	8.47	3.34	0.0033
Tratamiento	54.66	4	13.67	5.38	0.0006
Bloques	4.60	3	1.53	0.60	0.6140
Error	233.50	92	2.54		
<u>Total</u>	<u>292.76</u>	<u>99</u>			

Cuadro A-10. Prueba de Tukey de cantidad de entrenudos.

<u>Tratamiento</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
T4	20.00	20	0.36 A
T1	19.15	20	0.36 A B
T2	18.85	20	0.36 A B
T0	18.20	20	0.36 B
<u>T3</u>	<u>17.90</u>	<u>20</u>	<u>0.36 B</u>

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

Test: Tukey Alfa=0.05 MS=1.40186

Error: 2.5380 gl: 92

Cuadro A-11. Análisis de varianza para la variable cantidad de plantas productivas por metro lineal.

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>gal Aj</u>	<u>CV</u>
# plantas productivas x metro lineal	100	0.07	0.00	19.78

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	54.08	7	7.73	0.92	0.4976
Tratamiento	25.36	4	6.34	0.75	0.5592
Bloques	28.72	3	9.57	1.14	0.3390
Error	775.68	92	8.43		
<u>Total</u>	<u>829.76</u>	<u>99</u>			

Cuadro A-12. Prueba de Tukey de cantidad de plantas productivas por metro lineal.

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T0	15.65	20	0.65 A
T3	14.65	20	0.65 A
T2	14.50	20	0.65 A
T4	14.35	20	0.65 A
T1	14.25	20	0.65 A

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

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=2.55506

Error: 8.4313 gl: 92

Cuadro A-13. Análisis del supuesto de normalidad según Shapiro-Wilks (modificado), para la cantidad de cortes por planta en la última etapa de desarrollo según tratamientos.

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
RDUO # de cortes por caña	100	0.00	0.42	0.92	<0.0001

Cuadro A-14. Análisis de la varianza no paramétrica según Kruskal y Wallis de cantidad de cortes por planta en la última etapa de desarrollo según tratamientos.

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
# De cortes por caña	T0	20	2.85	0.37	3.00	7.26	0.0075
# De cortes por caña	T1	20	3.00	0.32	3.00		
# De cortes por caña	T2	20	2.95	0.60	3.00		
# De cortes por caña	T3	20	2.60	0.50	3.00		
# De cortes por caña	T4	20	3.10	0.31	3.00		

Cuadro A-15. Prueba de comparación de A pares para cantidad de cortes por planta

En la última etapa de desarrollo según tratamientos.

Tratamientos	Medias	Ranks
T3	2.60	36.70 A
T0	2.85	48.45 A B
T2	2.95	52.40 A B
T1	3.00	55.25 B

T4 3.10 59.70 B

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

Cuadro A-16. *Análisis de varianza para la variable peso de la caña.*

Variable	N	R ²	gal Aj	CV
Peso de caña (lb)	100	0.18	0.12	21.91

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.86	7	0.41	2.91	0.0085
Tratamiento	1.82	4	0.46	3.25	0.0514
Bloques	1.04	3	0.35	2.47	0.0672
Error	12.93	92	0.14		
Total	15.79	99			

Cuadro A-17. *Prueba de Tukey de peso de la caña.*

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T4	1.84	20	0.08 A
T1	1.81	20	0.08 A
T2	1.81	20	0.08 A
T0	1.59	20	0.08 A
T3	1.51	20	0.08 A

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

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.32989

Error: 0.1405 gl: 92

Cuadro A-18. Cuadro resumen de promedios mensuales de las variables más importantes de la estación meteorológica de Santa Cruz Porrillo.

PARAMETROS/MES	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Temperatura Promedio °C	26.3	26.7	27.6	28.3	27.9	27.1	27.2	27.1	26.4	26.3	26.4	26.2
Temperatura Mínima Promedio °C	25.2	19.9	20.9	22.6	23.0	22.4	22.0	21.9	21.7	21.5	20.1	19.2
Temperatura Máxima Promedio °C	35.8	35.9	36.0	35.8	34.8	33.3	44.1	44.3	32.7	33.2	44.0	35.2
Temperatura Máxima Absoluta °C	40.4	40.5	41.8	40.8	42.4	39.4	39.6	38.8	37.7	37.0	38.3	39.4
Temperatura Humedad promedio °C	20.8	21.2	22.4	23.7	24.5	24.4	24.1	24.2	24.2	23.9	22.6	21.3
Nubosidad en /10	2.9	3.0	4.0	5.6	6.6	7.2	6.6	6.7	7.5	6.8	4.8	3.4
Viento Velocidad Promedio Escala Beaufort	2.3	2.3	2.1	1.9	2.0	2.0	2.1	1.9	1.9	1.9	2.0	2.1
Viento Rumbo Dominante	NE	NE	NE	S	S	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Humedad Relativa %	63	63	65	68	74	80	77	80	84	82	73	67
Evapotranspiración Potencial mm	149	151	183	183	180	159	173	165	144	142	138	140
Precipitación mm	1.0	0.9	6.5	40.3	175.2	308.0	264.9	288.5	365.5	252.2	53.7	8.1

Fuente: SNET 2019.

Cuadro A-19. Ejemplo de datos tomados semanalmente para determinar porcentaje de humedad gravimétrica en suelo.

PORCENTAJE DE HUMEDAD GRAVIMETRICA					
MUESTRA	MC	MC+SH	MC+SS	% HUMEDAD	PROMEDIO
M1	36,6	81	75,2	15,03	20,68
	35,2	74,69	69,55	14,96	
M2	32,9	76,6	69,27	20,15	
	32,3	62,54	57,83	18,45	
M3	32,7	58,86	54,21	21,62	
	34,8	62,82	58	20,78	
M4	36,1	61,63	57,14	21,34	
	32,8	61,71	56,75	20,71	
M5	32,1	75,32	64,42	33,73	
	31,4	62,86	56,7	24,35	
M6	31,9	61,47	56,57	19,86	
	37,3	64,14	59,74	19,61	
M7	33	72,74	64,27	27,09	
	29,5	63,89	56,79	26,02	
M8	33,6	69,36	64,02	17,55	

	32	64,54	59,67	17,60	
M9	33,6	69,89	64,34	18,05	
	36,3	79,22	72,3	19,22	
M10	35,1	65,36	60,6	18,67	
	35,3	66,62	61,67	18,77	

Fuente: elaboración propia realizada en laboratorio de suelos del departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

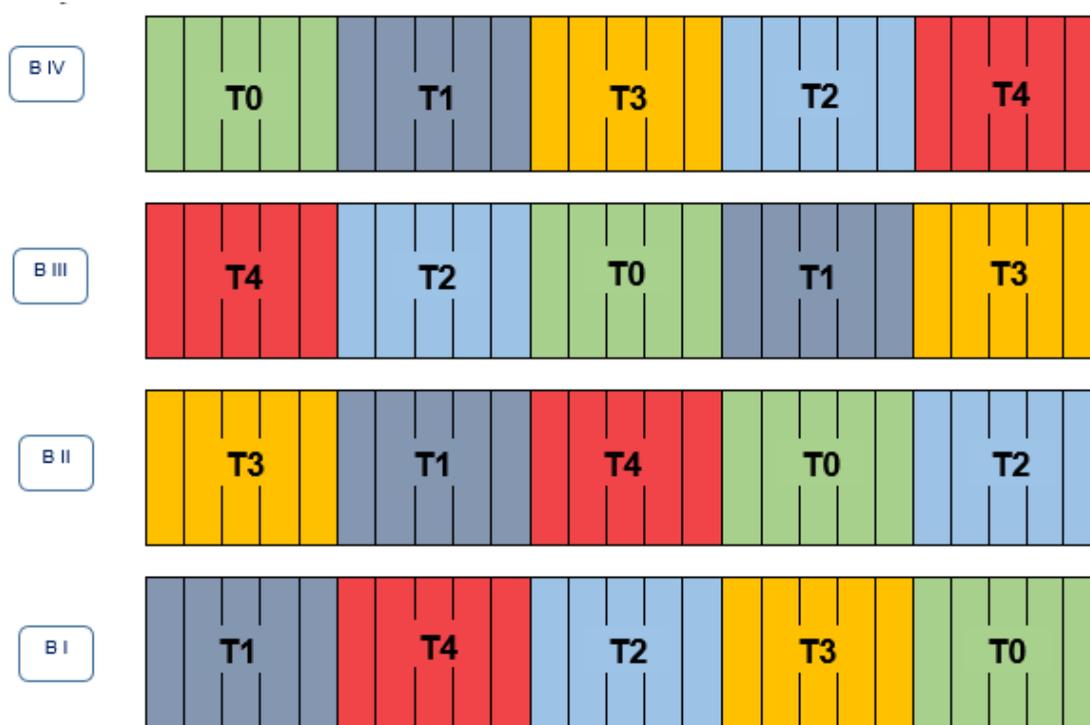


Figura A-1. Diseño espacial de la investigación distribución de tratamientos.



Figura A-2. Polímero retenedor de humedad.



Figura A-3. Pesaje de las diferentes dosis a evaluar.



Figura A-4. Pesado de suelo seco.



Figura A- 5. Mezclado de polímero solido con suelo seco.



Figura A-6. Primer riego e hidratación del polímero retenedor de humedad.



Figura A-7. Aplicación de polímero al fondo del surco.



Figura. A-8. Profundidad de mojado.



Figura A- 9. Captura de agua en polímero retenedor.



Figuras A-10 y A-11. Extracción de muestra de suelo para análisis de humedad.



Figura A-12. Análisis de humedad gravimétrica a muestras de suelo.



Figura A-13. Marcado de plantas para toma de variables fenológicas.



Figura A-14. Rotulado de ensayo.



Figuras A-15 y A-16. Rotulado de Bloques y tratamiento.



Figura A-17. Diferencia fenológica en los tratamientos.



Figuras A-18 y A-19. Corte de cañas identificadas para la toma de variables.



Figura A-20. Conteo de cantidad de hojas.

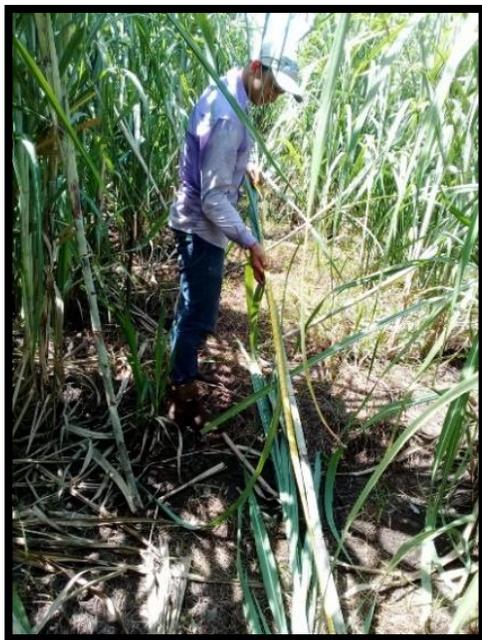


Figura A-21. Medición de altura de la caña.



Figura A-22. Conteo de cantidad de hojas.



Figura A-23. Medición de largo del entrenudo.



Figura A-24. Medición del diámetro de la caña.



Figura A-25. Delimitación de un metro lineal.



Figura A-26. Conteo de cañas.



Figuras A-27 y A-28. Corte y picado de caña.



Figura A-29. Elaboración de manojos de caña semilla.



Figura A-30. Pesado de manojo de caña.



Figura A-31. Cosecha de manojos en caña de tercer tercio.