

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR OCCIDENTE
INGENIERIA EN AGRONOMÍA TROPICAL
EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO**



**Evaluación del poliacrilato de potasio y de materiales genéticos de *Zea mays L.*
en dos épocas climáticas del año en La Máquina, Cuyotenango, Suchitepéquez.**

Trabajo de graduación presentado al Honorable Consejo Directivo del Centro
Universitario de Sur Occidente de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Previo a conferirse el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

En el grado académico de Licenciado

**CARLOS HUMBERTO RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ
CARNE: 200740419**

ASESOR Y REVISOR

Ing. Agr. M.Sc. Milton Leonel Chan Santisteban

MAZATENANGO SUCHITEPÉQUEZ, MARZO DE 2,014

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR OCCIDENTE
INGENIERIA EN AGRONOMIA TROPICAL
EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO**



**Evaluación del poliacrilato de potasio y de materiales genéticos de *Zea mays L.*
en dos épocas climáticas del año en La Máquina, Cuyotenango, Suchitepéquez.**

**CARLOS HUMBERTO RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ
CARNE: 200740419**

MAZATENANGO SUCHITEPÉQUEZ, MARZO DE 2,014

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE**

AUTORIDADES

Dr. Carlos Estuardo Gálvez Barrios	Rector
Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo	Secretario

MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO DEL CUNSUROC

Lic. José Alberto Chuga Escobar	Presidente
---------------------------------	------------

REPRESENTANTES DOCENTES

Dra. Alba Ruth Maldonado de Chávez	Secretaria
Ing. Agr. Luis Alfredo Tobar Piril	Vocal

REPRESENTANTE GRADUADO DEL CUNSUROC

Licda. Mildred Griselda Hidalgo Mazariegos	Vocal
--	-------

REPRESENTANTES ESTUDIANTILES

Br. Cristian Ernesto Castillo Sandoval	Vocal
PEM. Carlos Enrique Jalel de los Santos	Vocal

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUR OCCIDENTE**

Dr. Luis Gregorio San Juan Estrada
COORDINADOR ACADÉMICO

M. Sc. Rafael Armando Fonseca Ralda
COORDINADOR CARRERA ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS

M. Sc. Nery Edgar Saquimux Canastuj
COORDINADOR CARRERAS DE PEDAGOGÍA

Dr. Ralfi Obdulio Pappa Santos
COORDINADOR CARRERA DE TRABAJO SOCIAL

Licda. Q.B. Gladys Floriselda Calderón Castilla
COORDINADORA CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

M. Sc. Erick Alexander España Miranda
COORDINADOR CARRERA DE AGRONOMÍA TROPICAL

Lic. José Felipe Martínez Domínguez
COORDINADOR ÁREA HUMANÍSTICA

Licda. Tania María Cabrera Ovalle
**ENCARGADA DE LA CARRERA CIENCIAS JURÍDICAS Y SOCIALES, ABOGADO Y
NOTARIO**

Licda. Paola Marisol Rabanales
**ENCARGADA DE LA CARRERA PERIODISMO PROFESIONAL Y LICENCIATURA
EN CIENCIAS DE LA COMUNICACIÓN**

Lic. Manuel Antonio Gamboa Gutiérrez
ENCARGADO LAS CARRERAS DE PEDAGOGÍA PLAN FIN DE SEMANA

M. Sc. Celso Gonzáles Morales
ENCARGADO DE LA CARRERA DE GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL



Mazatenango, Marzo de 2014.

Señores:

Honorable Consejo Directivo

Centro Universitario de Sur Occidente

Universidad de San Carlos de Guatemala

Distinguidos integrantes del Consejo Directivo:

De conformidad con las normas establecidas en la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración, el Trabajo de Graduación, titulado **“Evaluación del poliacrilato de potasio y de materiales genéticos de *Zea mays L.* en dos épocas climáticas del año en La Máquina, Cuyotenango, Suchitepéquez”**; investigación presentada previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciado, esperando favorezca su aprobación.

Sin nada más que agregar, me suscribo de ustedes.

Atentamente,

Carlos Humberto Rodríguez Hernández
Carnet: 200740419

ACTO QUE DEDICO A:

- DIOS:** Por ser fuente de sabiduría, amor, fe y esperanza en mi vida.
- MI MADRE:** Por el gran amor que me ha dado, por el apoyo incondicional, por su esfuerzo y sacrificio para que yo alcanzara este triunfo que hoy lleno de alegría le dedico con todo mi amor.
- MI PADRE:** Por el apoyo incondicional que me ha brindado, a pesar de la distancia que nos ha separado por años y que también es parte de este triunfo.
- MI NOVIA:** Por apoyarme y ser la motivación en mi vida para seguir cosechando logros juntos.
- MAESTRAS DE LEÓN S.** Por el apoyo y cariño incondicional que me han tenido a lo largo de estos años en conocerlas.
- MI FAMILIA:** Con cariño, gracias por su apoyo y sabios consejos.
- MIS AMIGOS:** Por su amistad y perseverancia.
- AI ICC:** Por brindarme la oportunidad de realizar mi EPSAT, por el apoyo, colaboración y sabios aprendizajes.
- PABLO YAX Y MILTON CHAN** Por su apoyo, colaboración, sabiduría y sus sabios consejos durante todo este proceso de EPSAT.
- LA CARRERA:** Por haberme brindado las herramientas necesarias para poder desempeñarme como profesional.
- LOS CATEDRÁTICOS:** Por sus enseñanzas.

Y a todos los aquí presentes por acompañarme en este momento tan especial y memorable en mi vida.

TRABAJO QUE DEDICO

Al **Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC)** y sus colaboradores, por su apoyo y ayuda durante la realización de este trabajo de graduación.

AGRADECIMIENTOS

A:

Mis asesores, **M. Sc. Milton Leonel Chan Santisteban** y **M.A. Pablo Yax López** por su valiosa y oportuna colaboración para concluir el presente trabajo de graduación.

Al **ICC** por facilitarme la realización del Ejercicio Profesional Supervisado y apoyarme en el desarrollo del mismo.

AL CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA: Por ser una entidad educativa que me brindo una formación de alto nivel tanto profesional como social.

A LOS DOCENTES DE LA CARRERA AGRONOMÍA TROPICAL: Por compartir sus valiosos conocimientos en el trayecto de mi carrera y formarme como un profesional.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
2.1. Marco conceptual.....	2
2.1.1. Tendencias globales del clima.....	2
2.1.2. Tendencias regionales del clima.....	3
2.1.3. Escenarios climáticos futuros para Centroamérica.....	7
2.1.4. Simulaciones de temperatura proyectadas para Guatemala.....	9
2.1.5. Simulaciones de precipitación proyectados para Guatemala.....	10
2.1.6. Sensibilidad de los rendimientos del maíz a las variables climáticas de temperatura y precipitación.....	11
2.1.7. Evolución de los rendimientos de maíz con cambio climático bajo los escenarios b2 y a2, del 2006 al 2100.....	13
2.1.8. Producción agrícola del municipio de Cuyotenango, Suchitepéquez.....	14
2.1.9. Problemas que afectan la producción agrícola del municipio de Cuyotenango, Suchitepéquez.....	16
2.1.10. Descripción y características del poliacrilato de potasio.....	17
2.1.10.1. Poliacrilato de potasio (silos de agua o lluvia sólida).....	17
2.1.10.2. Como actúa el poliacrilato de potasio.....	17
2.1.10.3. Composición química.....	17
2.1.10.4. Información medio ambiental.....	18
2.1.10.5. Información de seguridad.....	18
2.1.10.6. Dosificación y forma de aplicación.....	20
2.1.11. Descripción general del cultivo de maíz.....	20
2.1.11.1. Origen del maíz.....	20

2.1.11.2. Descripción botánica del maíz.....	21
2.1.11.3. Clasificación botánica del maíz.....	21
2.1.11.4. Crecimiento y fases de desarrollo.....	21
2.1.11.5. Fase vegetativa.....	22
2.1.11.6. Fase reproductiva.....	22
2.1.11.7. Fase de llenado de grano.....	22
2.1.11.8. Requerimientos para el crecimiento del cultivo.....	23
2.1.11.9. Influencia del fotoperiodo en el maíz.....	23
2.1.11.10. Requerimiento de agua.....	23
2.1.11.11. Influencia de la temperatura.....	24
2.1.11.12. Uso del maíz como alimento humano.....	25
2.1.11.13. Variedad de Polinización Libre (VPL).....	25
2.1.11.14. Híbridos de Z. mays.....	26
2.1.11.15. Descripción de los materiales genéticos utilizados en el estudio.....	26
2.2. Marco referencial.....	28
2.2.1. Localización geográfica.....	28
2.2.2. Vías de acceso.....	29
2.2.3. Zona de vida y clima.....	29
2.2.4. Taxonomía de suelos.....	30
2.2.5. Serie de suelos.....	30
2.2.6. Hidrología.....	31
III. OBJETIVO.....	32
3.1. General.....	32
3.2. Específicos.....	32
IV. HIPÓTESIS.....	33
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	34

5.1. Material y equipo.....	34
5.2. Metodología.....	35
5.2.1. Capacidad de absorción de agua del poliacrilato de potasio.....	35
5.2.2. Monitoreo de la humedad disponible en el suelo por medio de un balance hídrico.....	36
5.2.3. Evaluación del efecto del poliacrilato de potasio en materiales genéticos de <i>Z. mays</i>	39
5.2.4. Diseño experimental.....	39
5.2.4.1. Análisis estadístico.....	39
5.2.4.2. Numero de tratamientos.....	41
5.2.4.3. Unidad experimental y aleatorización.....	42
5.2.4.4. Manejo agronómico de la investigación.....	43
5.2.4.5. Análisis de las variables a evaluar.....	48
5.2.4.6. Toma de datos.....	48
5.2.4.7. Análisis de la información.....	49
5.2.4.8. Análisis económico de la investigación.....	51
VI. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	52
6.1. Prueba de absorción de agua del poliacrilato de potasio.....	52
6.2. Monitoreo de la humedad disponible en el suelo por medio de un balance hídrico.....	52
6.2.1. Evapotranspiración diaria en la localidad de La Máquina.....	52
6.2.2. Calculo de la capacidad máxima de retención de agua en el suelo.....	52
6.3. Evaluación del efecto del poliacrilato de potasio en materiales genéticos de <i>Z. mays</i> bajo condiciones de la época lluviosa del año 2013.....	53
6.3.1. Registro de la precipitación.....	53
6.3.2. Comportamiento balance hídrico durante el ciclo del cultivo..	54

6.4. Resultados de la segunda fase de evaluación del efecto del poliacrilato de potasio en materiales genéticos de Z. mays bajo las condiciones de la época seca.....	64
6.4.1. Monitoreo de la humedad disponible en el suelo por medio de un balance hídrico.....	64
6.4.2. Registro de la precipitación.....	64
6.4.3. Comportamiento balance hídrico durante el ciclo del cultivo..	65
6.5. Análisis del rendimiento en el cultivo de Z.mays bajo la aplicación del poliacrilato de potasio en época lluviosa y época seca.....	77
6.6. Análisis económico de la investigación.....	79
VII. CONCLUSIONES.....	82
VIII. RECOMENDACIONES.....	84
IX. BIBLIOGRAFÍA.....	85
X. ANEXOS.....	88

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
1. Variación en la precipitación promedio anual desde 1950 a 2006 para la región centro americana.	7
2. Cambios proyectados para Centro América, en cuanto al aumento de la temperatura reducción precipitación desde el 2020 hasta el 2080.....	8
3. Simulación del cambio de temperaturas con seis modelos climáticos proyectados para Guatemala bajo los escenarios A2, B2, desde al año 2020 a 2100.	9
4. Simulación del acumulado de precipitación con seis modelos climáticos para Guatemala bajo los escenarios A2, B2, desde al año 2020 a 2100.....	10
5. Información toxicológica del Poliacrilato de potasio.....	18
6. Fases fenológicas por las que atraviesa el cultivo de <i>Z. mays</i> y su duración, Valores de Umbral de riego (UR), Coeficiente del cultivo (Kc), Zona radicular del cultivo en metros (Zr).....	38
7. Combinación de niveles y factores a evaluar.	41
8. Valores de densidad aparente (Da), punto de marchitez permanente (PPM) y capacidad de campo (CC) según la textura del suelo, punto crítico (PC), lámina de humedad aprovechable (LHA), lámina de humedad rápidamente aprovechable (LHRA).....	53
9. Comportamiento de la precipitación pluvial durante las fases fenológicas del cultivo de <i>Z. mays</i> en época lluviosa y su requerimiento hídrico.	53
10. Resumen del análisis de varianza para la variable altura de plantas en la época lluviosa.	57
11. Resultado de la prueba múltiple de medias para la variable altura de plantas en la época lluviosa.....	58
12. Medias de altura de mazorcas según la literatura y las reportadas en el experimento.	60
13. Resumen del análisis de varianza para la variable rendimiento	62

14.	Prueba múltiple de medias para la variable rendimiento kg/ha.	63
15.	Comportamiento de la precipitación pluvial durante las fases fenológicas del cultivo de <i>Z. mays</i> y su requerimiento hídrico en la época seca.	64
16.	Resumen del análisis de varianza para la variable altura de plantas y altura de mazorcas en la época seca.	68
17.	Prueba múltiple de medias para la variable altura de plantas y altura de mazorcas en la época seca.	70
18.	Resumen del análisis de varianza para la variable rendimiento.	73
19.	Prueba múltiple de medias para la variable altura de plantas y altura de mazorcas en la época seca.	76
20.	Resumen del análisis de varianza bajo las condiciones de la época lluviosa y época seca.	78
21.	Resumen de los costos fijos, costos variables y rentabilidad de los materiales genéticos evaluados bajo las condiciones de la época lluviosa y época seca.	80
22.	Costos de producción del cultivo de <i>Z. mays</i> con la aplicación de poliacrilato de potasio.	93
23.	Información de campo para el monitoreo de la humedad en el suelo por medio del balance hídrico.	94
24.	Determinación de la Lámina de Humedad Aprovechable (LHA) en milímetros por fase fenológica del cultivo de <i>Z. mays</i>	102
25.	Determinación del Punto Crítico de humedad en el suelo (PC) en milímetros por fase fenológica del cultivo de <i>Z. mays</i>	105

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Aumento de la temperatura en periodos de 25 a 150 años.	2
2. Temperaturas media para los meses de enero, abril, julio y octubre, en Centro América.....	4
3. Temperaturas medias anuales de Guatemala.....	5
4. Patrones de precipitación para los meses de enero, abril, julio y octubre en Centro América.....	6
5. Precipitación media anual para Guatemala durante el período 1950 a 2006.....	7
6. Variación de rendimiento del maíz ante variación en la temperatura.....	12
7. Variación de rendimiento del maíz ante variación en la precipitación.....	13
8. Evolución del rendimiento de maíz con cambio climático (escenarios B2 Y A2), del 2006 AL 2100.....	13
9. Área promedio por cultivo/agricultor en la localidad de centro uno La Máquina, Cuyotenango, Suchitepéquez.....	15
10. Factores que afectan el cultivo de <i>Z. mays</i> en el municipio de Cuyotenango, Suchitepéquez.....	16
11. Estructura química del poliacrilato de potasio.....	17
12. Localización del municipio de Cuyotenango, Suchitepéquez y el sitio experimental.....	29
13. Localización del sitio experimental bajo la taxonomía de suelos en la localidad de La Máquina.....	30
14. Localización del sitio de investigación bajo la serie de suelos de Simmons, Tarano, Pinto.....	31
15. Dimensiones generales de la unidad experimental.....	42
16. Dimensiones de una repetición del área experimental y distribución en campo de los tratamientos.....	43

17. a) Mecanización del área experimental b) elaboración de surcos a 0.75 m.....	44
18. a) Medición y colocación de estacas para delimitar las unidades experimentales b) unidades experimentales delimitadas.	44
19. hidratación del Poliacrilato de potasio en toneles	45
20. a) Medida de un litro para los trabajadores de campo b) aplicación por metro lineal de poliacrilato de potasio hidratado.....	45
21. a) Poliacrilato de potasio hidratado distribuido a lo largo de las unidades experimentales b) tapado del poliacrilato de potasio.	46
22. Siembra tradicional de la semilla de <i>Z. mays</i>	46
23. Fases fenológicas del cultivo de <i>Z.mays</i> durante el ciclo de la investigación.....	47
24. Comportamiento de la precipitación pluvial y evapotranspiración durante las fases fenológicas del cultivo de <i>Z. mays</i> en la época lluviosa.....	54
25. Comportamiento del balance hídrico durante las fases fenológicas del cultivo de <i>Z. mays</i> en la época lluviosa.....	55
26. Altura de plantas por tratamientos y materiales genéticos.....	56
27. Altura de mazorcas por tratamiento con y sin poliacrilato de potasio.....	59
28. Rendimiento de los materiales genéticos bajo los tratamientos de poliacrilato de potasio.	61
29. Comportamiento de la precipitación y evapotranspiración en las diferentes fases fenológicas en el cultivo de <i>Z mays</i> en la época seca.	65
30. Comportamiento del balance hídrico durante las fases fenológicas del cultivo de <i>Z mays</i> en la época seca.	66
31. Altura de plantas por tratamientos y materiales genéticos en la época seca.	67
32. Altura de mazorcas por tratamientos y materiales genéticos en la época seca.	68

33. Rendimiento de los materiales genéticos bajo los tratamientos de poliacrilato de potasio en la época seca.	72
34. Diferencia en el follaje de la planta bajo la influencia de la época lluviosa (a) y la época seca (b)	74
35. Síntomas de clorosis causado por déficit hídrico	75
36. Rendimientos de los genotipos bajo la influencia de la época lluviosa y época seca.....	77
37. a) peso de las unidades experimentales en época lluviosa b) peso de las unidades experimentales en época seca.	78
38. a) Peso de un gramo de poliacrilato de potasio en la balanza semi-analítica b) Medición de los volúmenes de agua para los tratamientos de 700 ml, 500 ml, 300 ml, 100 ml y 50 ml.....	88
39. Hidratación de poliacrilato de potasio durante 30 minutos.....	88
40. a) Papel filtro, embudos y beakers para separar lo sólido y líquido b) filtración del agua que no pudo absorber el poliacrilato de potasio.	89
41. a) Papel filtro con el poliacrilato de potasio hidratado b) agua que no pudo absorber el poliacrilato de potasio.	89
42. a) Peso del poliacrilato de potasio hidratado b) medición del volumen de agua que no pudo ser absorbido c) peso del papel filtro mojado.	90
43. a) Cosecha de las unidades experimentales b) determinación del peso de cada una de las unidades experimentales.	91
44. a) Desgrane de las dos hileras centrales b) determinación del porcentaje de humedad del grano de <i>Z.mays</i> por medio de un medidor de humedad.....	91
45. Escala para determinación de cobertura de mazorca.	92

Summary

In this study two separate identical experiments were performed in time, the first held in the months of May to August (rainy season) of 2013 and the second between October 2013 and January 2014 (dry season).

The experimental site was in the premises of the Institute of Agricultural Science and Technology (ICTA) on the line B-6 center one Machine, Cuyotenango, Suchitepéquez, which is at a height of 34 meters above sea level, with a latitude of 14°15'05" and a length of 91°35'48".

According to (MAGA, 2013) Machine is a locality that is affected by the drought which is attributed to the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) where the main impacts is the decrease in precipitation levels, delay time rainfall, average temperature increased, reduced cloudiness, longer summers and more sunshine, global warming and its impacts on climate.

That is why the use of potassium polyacrylate and practical adaptation to drought threatens crops Poaceae *Zea mays L.* "Corn" hybrid genotypes and varieties that are drought tolerant reported as assessed, potassium polyacrylate has the ability to absorb and release water when a water deficit in the soil is present, another feature of potassium polyacrylate is staying for seven years in the ground to its degradation, becoming a reservoir of water in the soil, with this practice is to reduce the impact of drought in the town center one Machine, Cuyotenango, Suchitepéquez.

In rainy season the water balance showed that during the four phenological stages of the crop of *Z. mays* (germination, vegetative, reproductive and grain filling) at 95% moisture in the soil remained above the critical moisture point and the other 5% suffered from water stress affecting vegetative and reproductive phase, because the potassium polyacrylate not provide enough moisture to meet the need of the crop when it needs them, causing different genotypes could not express their full potential growth and yield, but in this first experiment a prolonged drought is not evidenced.

In the case of the dry period the moisture levels in soil were different because fluid balance showed that during the days that it takes the germination phase moisture in the soil was maintained above the critical point therefore did not affect the process of germination and crop establishment, but in the absence of vegetative presence of rain on day 18 exceeded the critical point until the reproductive and grain filling stage reached in wilting point.

It was determined that in the rainy season and dry season there was a highly significant difference in vegetative variables (plant height and ear height) and varying performance

this difference is due to the variability among genotypes product of genetic improvement each material has undergone, it was also determined that the application of potassium polyacrylate both wet season and dry season did not show any significant difference in performance in the cultivation of *Z. mays* so the same stored not enough water.

Due to water stress during the dry season low in yield was 86% to 91% compared with the yields of the rainy season as a result of water deficit suffered by the crop, where water demand at that time was 471.9 mm and potassium polyacrylate provided 1.33 millimeters.

This means that when an event end this drought, as in this case, potassium polyacrylate not be able to meet the water demand of the dose recommended for the cultivation of *Z. mays* directly affected the formation of reproductive organs and grain filling cob.

After the investigation it was determined that the use of potassium polyacrylate *Z. mays* cultivation is not economically feasible because yields do not justify the ultimate utility and increasing the dose would raise production costs, which makes it less likely implementation.

RESUMEN

En el presente estudio se realizaron dos experimentos idénticos separados en el tiempo, el primero se realizó en los meses de Mayo a Agosto (época lluviosa) del año 2013 y el segundo entre Octubre de 2013 y Enero de 2014 (época seca).

El sitio experimental estuvo en las instalaciones del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA) ubicado en la línea B-6 de centro uno La Máquina, Cuyotenango, Suchitepéquez, el cual se encuentra a una altura de 34 metros sobre el nivel del mar, con una latitud de 14°15'05" y una longitud de 91°35'48".

Según (MAGA, 2013) La Máquina es una localidad que es afectada por la sequía el cual se le atribuye al fenómeno El Niño-Oscilación Sur (ENOS) donde los principales impactos es la disminución de los niveles de precipitación, retraso de la época de lluvias, aumento de la temperatura media, reducción de la nubosidad, veranos más prolongados y mayor insolación, calentamiento global y sus repercusiones en el clima.

Es por ello que se evaluó el uso del poliacrilato de potasio como práctica de adaptación a la amenaza sequía en el cultivo de *Zea mays L.* Poaceae, "Maíz" con genotipos híbridos y variedades que están reportadas como tolerantes a sequía, el poliacrilato de potasio tiene la capacidad de absorber agua y liberarla al momento que se presente un déficit hídrico en el suelo, otra característica del poliacrilato de potasio es que permanece por siete años en el suelo hasta su degradación, convirtiéndose en un reservorio de agua en el suelo, con esta práctica se pretende disminuir el impacto de la sequía en la localidad de centro uno La Máquina, Cuyotenango, Suchitepéquez.

En época lluviosa el balance hídrico demostró que durante las cuatro fases fenológicas del cultivo de *Z. mays* (germinación, vegetativa, reproductiva y llenado de grano) en un 95% la humedad en el suelo se mantuvo por arriba del punto crítico de humedad, y el otro 5% sufrió por estrés hídrico afectando la fase vegetativa y reproductiva, debido a que el poliacrilato de potasio no aportó la suficiente humedad para suplir la necesidad del cultivo cuando este lo necesitara, provocando que los diferentes genotipos no pudieran expresar su máximo potencial de crecimiento y rendimiento, sin embargo en este primer experimento no se evidenció una sequía muy prolongada.

En el caso de la época seca los niveles de humedad en el suelo fueron distintos ya que el balance hídrico reflejó que durante los días que tarda la fase de germinación la humedad en el suelo se mantuvo por arriba del punto crítico por lo tanto no afectó el proceso de germinación y establecimiento del cultivo, pero en la fase vegetativa al no existir presencia de lluvias en el día 18 rebaso el punto crítico hasta que en la fase reproductiva y llenado de grano alcanzara en punto de marchitez permanente.

Se determinó que en época lluviosa como en época seca existió una diferencia altamente significativa en las variables vegetativas (altura de planta y altura de mazorca) y en la variable rendimiento, esta diferencia se debe a la variabilidad que existe entre genotipos producto del mejoramiento genético que cada material ha sufrido, también se determinó que la aplicación de poliacrilato de potasio tanto en época lluviosa como en época seca no mostró alguna diferencia significativa en cuanto al rendimiento en el cultivo de *Z. mays*. por lo que el mismo no almacenó suficiente agua.

Debido al estrés hídrico en la época seca la baja en el rendimiento fue del 86% a 91% en comparación con los rendimientos de la época lluviosa como resultado del déficit hídrico que sufrió el cultivo, donde la demanda hídrica en ese tiempo fue de 471.9 milímetros y el poliacrilato de potasio aportó 1.33 milímetros.

Esto significa que cuando se presente un evento de sequía extremo, como en este caso, el poliacrilato de potasio no será capaz de suplir la demanda hídrica a la dosis que se recomienda para el cultivo de *Z. mays* afectado directamente en la formación de órganos reproductores y en llenado del grano de la mazorca.

Al finalizar la investigación se determinó que el uso de poliacrilato de potasio en el cultivo de *Z. mays* no es factible económicamente ya que los rendimientos obtenidos no justifican la utilidad final y al aumentar la dosis subirían los costos de producción, el cual hace menos factible su aplicación.

I. INTRODUCCIÓN

Los escenarios climáticos proyectados para Centro América estiman cambios de temperatura y precipitación, usando modelos climáticos recomendados por el IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático) los cuales están basados en políticas climáticas, temperaturas y precipitaciones registradas desde el año 1950 al 2006 para Centro América.

Los principales resultados indican que para Guatemala se podría esperar un aumento de la temperatura entre 0.6°C a 3,7 °C para el año 2100, en el caso de la precipitación, la trayectoria esperada en los acumulados es más incierta, ya que cuatro modelos climáticos proyectan que para el año 2100 la precipitación disminuya entre -0.3% a -61.9% y los otros dos modelos indican que la precipitación aumentara en un 0.3% a 11.9% (CEPAL, 2011)

En función de estas proyecciones, sus impactos para Centroamérica en la agricultura, pueden generar efectos negativos en la seguridad alimentaria de miles de familias que subsisten a partir de cultivos como el maíz.

Los pequeños productores de *Z. mays* enfrentan desafíos con el cambio climático por lo que resulta necesario apoyarlos con prácticas de adaptación, considerando que la producción y el rendimiento del cultivo de *Z. mays* dependen de un conjunto amplio de factores como el factor clima que es determinante, en especial la precipitación pluvial como fuente de agua para el cultivo y que se plantea escases en base a los proyecciones del clima (CEPAL, 2011)

En el presente documento se mencionan los resultados de la investigación, donde se evaluó el poliacrilato de potasio como una práctica potencial de adaptación a la amenaza sequía, además de evaluar el uso de materiales genéticos mejorados que toleren las sequías y con esto ayudar a reducir el impacto de dicha amenaza, puesto que estos han sido manipulados para soportar un mayor estrés hídrico, dicha investigación se realizó en las instalaciones de los campos experimentales del ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola) ubicado en la línea B-6 de Centro uno La Máquina, Cuyotenango, Suchitepéquez en los meses de mayo del 2,013 a enero del 2,014.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Tendencias globales del clima

La evidencia disponible indica que entre 1998 y 2005 se reportaron las temperaturas de aire superficial global más altas desde 1850. El período 1995-2006 es considerado el conjunto de 12 años más cálidos desde mediados del siglo XIX. Asimismo se presentó un aumento de la temperatura media mundial, ya que la tasa de calentamiento durante los últimos 50 años ha sido en promedio 0,13 °C a 0,03 °C por década, duplicando la tasa de los últimos 100 años. Los resultados presentados en la figura numero uno indican que en los dos períodos de 25 y 50 años la temperatura ha aumentado entre 0,052 a 0,177 y 0,026 a 0,128 grados centígrados, respectivamente. Esto representa un incremento significativo respecto a aumentos históricos registrados en el último siglo o siglo y medio. (CEPAL, 2011)

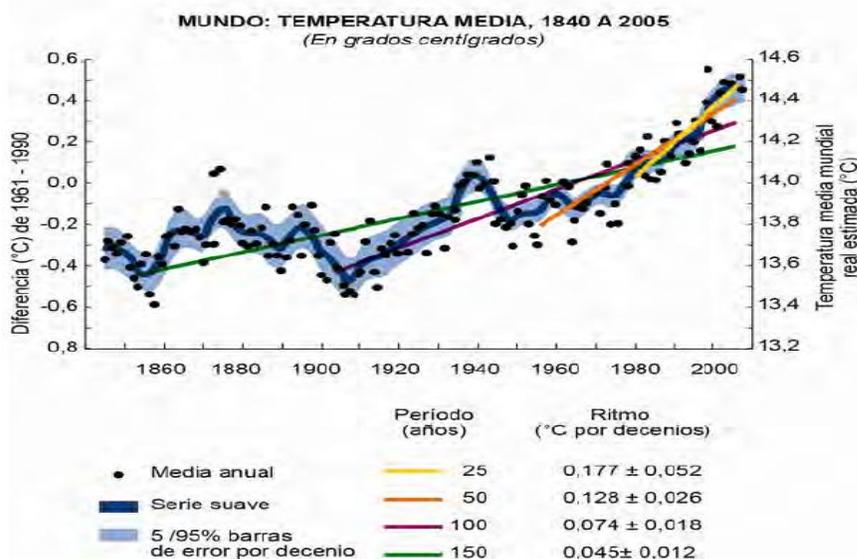


Figura 1: Aumento de la temperatura en periodos de 25 a 150 años.
Fuente: CEPAL, (2011)

En lo que se refiere al cambio del ciclo hidrológico, durante los últimos cien años se ha observado un aumento significativo de las precipitaciones en algunas regiones, como en las zonas orientales de América del Norte y de América del Sur, mientras que en otras zonas se ha registrado una disminución.

En términos generales, durante el período 1900-2005 las lluvias se incrementaron a partir de los 30 grados latitud norte, pero en los trópicos se registran tendencias a la baja desde el decenio de 1970.

Entre los 10 y los 30 grados norte, la precipitación aumentó en forma notable entre 1900 y la década de 1950, pero disminuyó después de 1970. También se registra una tendencia a la baja entre los 10 grados norte y los 10 grados sur, en especial después de 1976 y 1977.

Los cambios en los patrones de precipitación presentan mayores variaciones geográfica y temporales en comparación con los cambios de temperatura, notando una anomalía de la precipitación a nivel centro americano desde el año 1901 al 2005. (CEPAL, 2011)

2.1.2. Tendencias regionales del clima

De acuerdo con el IPCC, 2007 citado por CEPAL, (2011) Centroamérica ha presentado una alta variabilidad climática en años recientes. En las últimas décadas se han observado importantes cambios en precipitación y aumentos de temperatura.

Las tendencias de los niveles de precipitación muestran una disminución, sobre todo en la región oeste del istmo centro americano y un aumento de la temperatura alrededor de 1 °C en Mesoamérica. Estudios específicos Aguilar y otros, 2005 citado por CEPAL, (2011) muestran tendencias contrastantes en la precipitación de la región centroamericana, con fuertes diferencias de distribución espacial entre la región del Pacífico y la región del Caribe.

La gran variabilidad de la precipitación en esta región es causada principalmente por la interacción entre los diferentes sistemas del viento y la topografía. Las señales de incremento de la temperatura mínima son particularmente claras, no así en las tendencias de la temperatura máxima. Sin embargo, en el rango diurno de temperatura (máxima menos mínima) hay un patrón general de disminución en el período de 1901 al 2005 (CEPAL, 2011).

El Niño–Oscilación del Sur (ENOS) es la causa principal de la variabilidad del clima en América Latina y es el fenómeno natural con los mayores impactos socioeconómicos. Durante las últimas tres décadas, la región ha enfrentado impactos climáticos relacionados con la intensificación de ocurrencia del ENOS, con dos eventos extremadamente intensos (en 1982-1983 y en 1997-1998) Trenberth y Stepaniak, 2001 citado por CEPAL, (2011) el ENOS es un fenómeno

climático que provoca calentamiento de las aguas del Pacífico oriental y cambios de patrones de Precipitación en Centroamérica.

En la figura dos se hace una representación espacial de la temperatura media para los meses de enero, abril, julio y octubre. Los mapas muestran las mayores temperaturas en los meses de abril y julio, relativo a octubre y enero, y en las zonas bajas y costeras relativas a las zonas de mayor altitud. Las temperaturas más elevadas se presentan en la región del Pacífico, y se ha identificado cierto patrón entre las anomalías de temperatura y la ocurrencia del ENOS, lo que implica condiciones más cálidas en $+0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. (CEPAL, 2011)

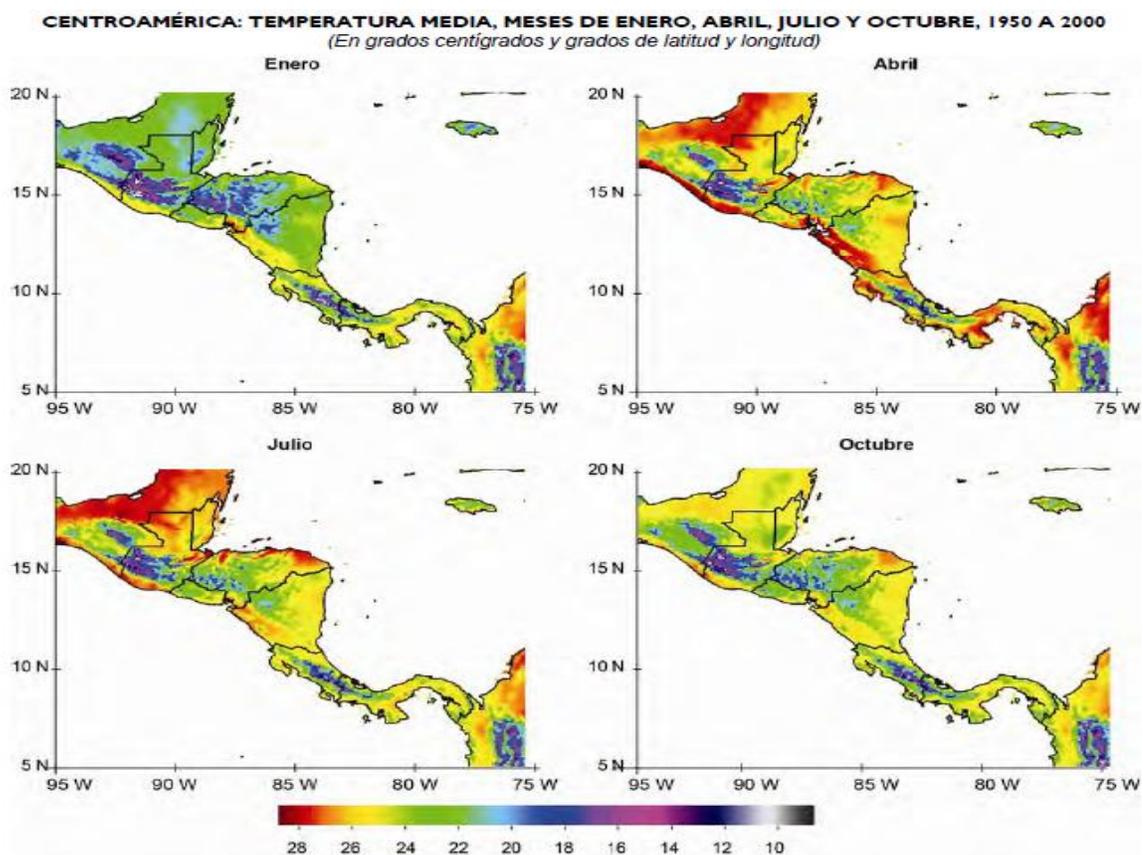


Figura 2: Temperaturas media para los meses de enero, abril, julio y octubre, en Centro América
Fuente: CEPAL, (2011)

En la figura tres se presenta la tendencia histórica de la temperatura media anual utilizando los datos climáticos de los años 1950 al 2000 donde observamos que en Guatemala la serie de temperatura sigue una tendencia ascendente, con un incremento promedio de $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. (CEPAL, 2011)

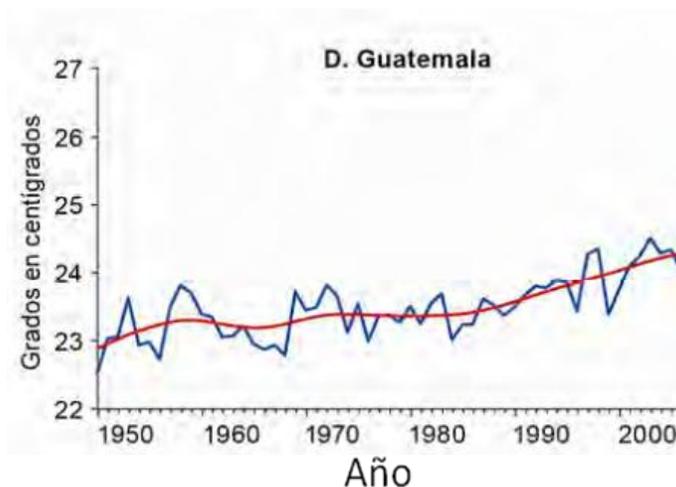


Figura 3: Temperaturas medias anuales de Guatemala.
Fuente: CEPAL, (2011)

En la figura cuatro se presentan los mapas regionales de los patrones de precipitación observados en la segunda mitad del siglo XX, en los meses seleccionados: enero, abril, julio y octubre. Derivados de los datos meteorológicos, se observa que la región del Pacífico se caracteriza por tener una época seca de diciembre a abril, y otra húmeda de mayo a noviembre, con algunas variaciones. (CEPAL, 2011)

La distribución anual de la lluvia es bimodal con máximos en junio y septiembre-octubre y una disminución en julio, la cual se conoce como canícula o veranillo, las variaciones de la temperatura superficial en los océanos Pacífico y Atlántico tropicales juegan un papel importante en el inicio, final y duración de la estación lluviosa. (CEPAL, 2011)

Temporales asociados a la ocurrencia de ciclones tropicales son factores importantes de la precipitación observada, aún cuando los ciclones tropicales tengan trayectorias parecidas, las distribuciones de lluvia asociadas pueden ser diferentes, en la región del Caribe llueve prácticamente todo el año sin estación seca definida. La precipitación de diciembre a marzo se asocia principalmente con los empujes polares Schultz, Bracken y Bosart, 1998 citado por CEPAL, (2011)

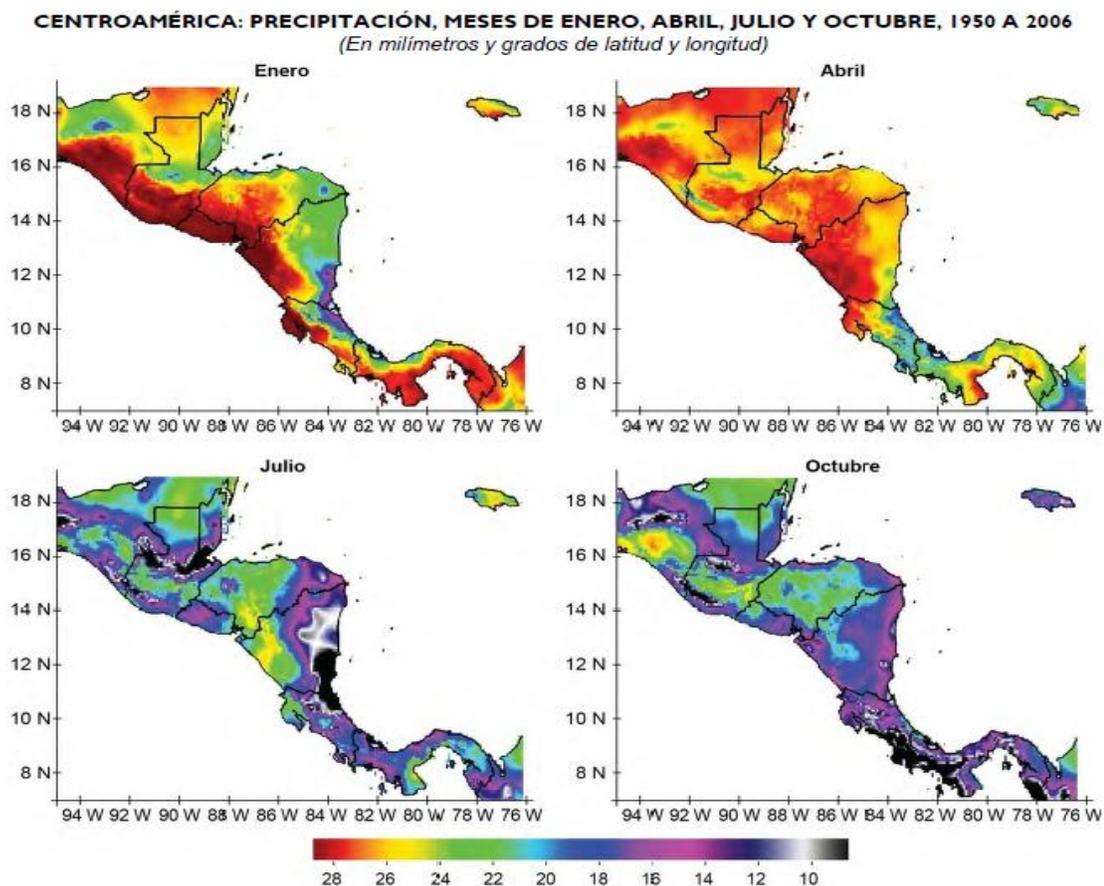


Figura 4: Patrones de precipitación para los meses de enero, abril, julio y octubre en Centro América.

Fuente: CEPAL, (2011)

En la figura número cinco se presenta la trayectoria de la precipitación media anual para Guatemala durante el período 1950-2006. La serie describe un cierto comportamiento cíclico en torno a un valor promedio que en Guatemala es de 2.759 mm donde el gráfico muestra claramente la volatilidad de las series de precipitación. (CEPAL, 2011)

Los temporales del Pacífico ocurren de mayo a noviembre, más frecuentemente en junio y septiembre-octubre. Los temporales del Caribe ocurren con mayor frecuencia durante el invierno del Hemisferio Norte, cuando la región recibe la influencia de empujes de aire frío desde América del Norte. (CEPAL, 2011)

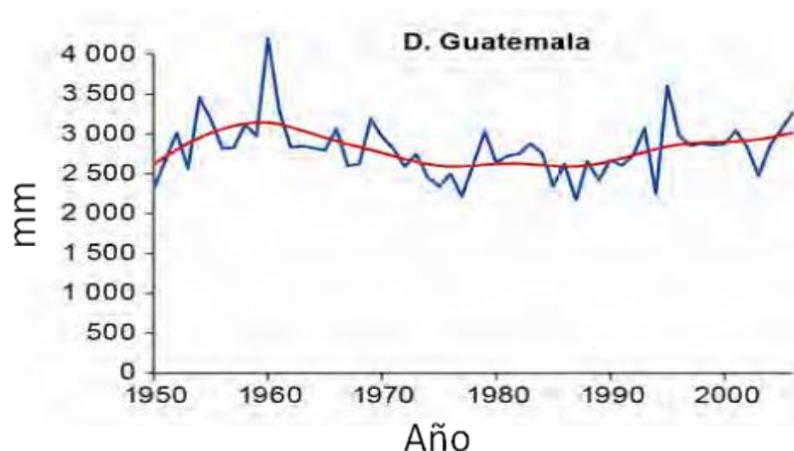


Figura 5: Precipitación media anual para Guatemala durante el período 1950 a 2006.

Fuente: CEPAL, (2011)

En base a la información meteorológica histórica, es posible identificar una ligera disminución de la precipitación media anual. Las desviaciones reportadas en el cuadro número uno indican que en el período de 1980 a 2006 se ha registrado una ligera disminución de los niveles de precipitación en relación al período 1950–1979, siendo Guatemala uno de los más afectados en la región centroamericana observando una tendencia ascendente. (CEPAL, 2011)

Cuadro 1: Variación en la precipitación promedio anual desde 1950 a 2006 para la región centro americana.

Período	Costa Rica	Belice	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá
1950-1079	2,941	2,138	1,799	2,795	2,039	2,444	2,599
1980-2006	2,922	2,196	1,735	2,719	2,016	2,435	2,688
Variación (%)	-0.6	2.7	-3.6	-2.7	-1.2	-0.4	3.4

Fuente: CEPAL, (2011)

2.1.3. Escenarios climáticos futuros para Centroamérica

Los trabajos para generar proyecciones climáticas regionales en Centroamérica se iniciaron en 1997 como parte de las Primeras Comunicaciones Nacionales, utilizando los escenarios de emisiones IS92 del IPCC de 1996. Posteriormente se han usado los escenarios propuestos por el Tercer Reporte de Evaluación del IPCC sobre emisiones y el programa MAGICC/SCENGEN Hulme y otros, 2000; Hulme y Sheard, 1999 citado por CEPAL, (2011).

Las características de desarrollo el cual están basados los escenarios climáticos para generar las proyecciones son:

- **A1:** Mundo futuro con rápido crecimiento económico y rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes. La familia A1 incluye el escenario A1B, que considera una matriz energética más balanceada. (CEPAL,2011)
- **A2:** Mundo muy heterogéneo, autosuficiente y conservación de las entidades locales(CEPAL,2011)
- **B1:** Mundo convergente preponderante en las soluciones de orden mundial encaminadas a la sostenibilidad económica, social y medio ambiental (IPCC, 2000b) citado por (CEPAL,2011)
- **B2:** Mundo en el que predominan las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social, medio ambiental, nivel de desarrollo económico intermedio y cambio de tecnología. (CEPAL,2011)

Mediante el uso de los cuatro escenarios principales del IPCC mencionados anteriormente, el Cuarto Reporte de Evaluación (IPCC, 2007c) estima los rangos correspondientes a los cambios de temperatura y precipitación para Centroamérica en dos “estaciones” del año, que se presentan en el cuadro número dos, el incremento mayor en la estación lluviosa sería de 6,6 °C, mientras que la precipitación variaría entre una reducción de 30% y un incremento de hasta 5%.(CEPAL,2011)

Cuadro 2: Cambios proyectados para Centro América, en cuanto al aumento de la temperatura reducción precipitación desde el 2020 hasta el 2080

Época	Cambios de Temperatura °C		
	2020	2050	2080
Seca	+0.4 a + 1.1	+0.1 a + 3.0	+1.0 a + 5.0
Lluviosa	+0.5 a + 1.7	+1.0 a + 4.0	+1.3 a + 6.6
Época	Cambios en precipitación (%)		
Seca	-7 a +7	-12 a +5	-20 a +8
Lluviosa	-10 a +4	-15 a +3	-30 a +5

Fuente: CEPAL, (2011)

Las investigaciones sobre los escenarios climáticos para Centroamérica muestran en general que se espera un aumento de la temperatura media conforme avance el siglo, en un rango de 3 a 5 °C hacia el año 2100, dependiendo del escenario de emisiones. Sin embargo, en precipitación se observa una variación fuerte en todos los escenarios. En general, la tendencia indica una disminución de la precipitación, aunque en algunas zonas podría aumentar. (CEPAL, 2011)

2.1.4. Simulaciones de temperatura proyectadas para Guatemala

En el marco del proyecto “La economía del cambio climático en Centroamérica” se simularon escenarios climáticos de temperatura y precipitación para el período 2006-2100 en los siete países centroamericanos. (CEPAL, 2011)

Los escenarios climáticos generados a nivel de Guatemala según los escenarios B2 y A2 con los modelos HADCM3, HADGEM1, GFDLR30, GFDL CM2.0 y ECHAM4, ECHAM5. Se tomó como referencia la climatología del período 1980–2000, generada a partir de la base de datos del CRU TS 3.0 (*Climatic Research Unit* CRU, por sus siglas en inglés) de la Universidad de *East Anglia*. Sumándole la anomalía de los tres modelos al año 2100. Para la valorización económica, los equipos sectoriales utilizaron un promedio de los tres modelos a nivel país, con excepción de los estudios de biodiversidad y agricultura.

A continuación en el cuadro tres se presentan los resultados del cambio de temperaturas proyectadas para Guatemala bajo los escenarios A2 y B2, desde al año 2020 a 2100, tomando en cuenta datos climáticos desde 1980 a 2000. (CEPAL, 2011)

Cuadro 3: Simulación del cambio de temperaturas con seis modelos climáticos proyectados para Guatemala bajo los escenarios A2, B2, desde al año 2020 a 2100.

Bajo el escenario A2			
	Modelos climáticos		
Año	HADGEM1 (°C)	GFDL CM2.0 (°C)	ECHAM5 (°C)
2020	+0.6	+0.9	+0.9
2030	+1	+1	+1
2050	+2.2	+1.7	+2.1
2070	+3.4	+2.5	+2.9
2100	+5.2	+3.8	+5.2
Bajo el escenario B2			
	Modelos climáticos		
Año	ECHAM4 (°C)	GFDL R30 (°C)	HADCM3 (°C)
2020	+0.4	+0.7	+0.6
2030	+0.7	+1	+1.3
2050	+1.2	+1.6	+1.5
2070	+1.9	+1.8	+2.6
2100	+2.1	+2.2	+3.7

Fuente: (CEPAL, 2011)

En el escenario A2, los modelos HADGEM1 y ECHAM5 proyectan resultados similares. Las temperaturas más altas se registrarían en El Salvador y Guatemala, con una anomalía superior a 5 °C en 2100. El modelo GFDL CM2.0 registra anomalías de temperatura media más bajas, aunque superiores a los resultados más altos del escenario B2. (CEPAL, 2011)

En el escenario B2, el modelo HADCM3 proyecta niveles de temperatura más altos que los otros dos modelos, señalando que al 2100 Guatemala y El Salvador registrarían el mayor aumento de temperatura media anual con 3,7 °C. Los modelos ECHAM4 y GFDLR30 presentan valores de incremento de la temperatura media más bajos al 2100. (CEPAL, 2011)

En general, los resultados en temperatura son consistentes indicando que la temperatura media tiende a incrementarse hasta un nivel de 5 °C en el escenario A2 y 3.7 °C bajo el escenario B2. (CEPAL, 2011)

2.1.5. Simulaciones de precipitación proyectados para Guatemala

A continuación en el cuadro cuatro se presenta la simulación del acumulado de precipitación para Guatemala bajo los escenarios A2 y B2, desde al año 2020 a 2100, tomando en cuenta datos climáticos desde 1980 a 2000. (CEPAL, 2011)

Cuadro 4: Simulación del acumulado de precipitación con seis modelos climáticos para Guatemala bajo los escenarios A2, B2, desde al año 2020 a 2100.

Bajo el escenario A2			
	Modelos climáticos		
Año	HADGEM1 (%)	GFDL CM2.0 (%)	ECHAM5 (%)
2020	-9.8	+4.9	+0.3
2030	-17.6	+17.4	-3.8
2050	-31.8	+1.2	-7.6
2070	-50.4	+8.2	-0.3
2100	-61.9	-9.2	-9.3
Bajo el escenario B2			
	Modelos climáticos		
Año	ECHAM4 (%)	GFDL R30 (%)	HADCM3 (%)
2020	+5.7	+0.6	+3.6
2030	+6.9	+0.5	-9.2
2050	+9.09	-7.8	-1.6
2070	+7.1	-2.6	-14.5
2100	+11.9	-1.9	-31.7

Fuente: CEPAL, (2011)

Los resultados al año 2100 con el escenario B2 y el modelo HADCM3 registran una mayor reducción en los niveles de precipitación media anual, entre -9.2% a -31.7% para el período entre los años 2030 y 2100, el modelo GFDL R30 en los años del 2020 al 2030 indica un incremento en los acumulados de precipitación de +0.6% a +0.5% y al 2100 la precipitación disminuye en un rango de -1.9% a -7.8% mientras tanto, el modelo ECHAM4 sigue indicando una tendencia ascendente de la precipitación con aumentos entre 5.7% y 11.9%. (CEPAL, 2011)

Al 2100 en el escenario A2, los tres modelos señalan disminuciones de precipitación media anual de diferentes magnitudes, las mayores magnitudes son las de HADGEM1, en tanto que GFDLCM2.0 señala un menor impacto, el modelo HADGEM1 indica una disminución de la precipitación de -9.8% a -61.9%, ECHAM5 señala reducciones del orden de -9.3% a 0.3% finalmente el modelo GFDL CM2.0 indica un rango de cambios, tanto reducciones como aumentos que va desde -9.2% a 17.4%.(CEPAL, 2011)

Los escenarios de precipitación proyectan mayor incertidumbre y variabilidad para Guatemala, ya que en general los resultados de los modelos HADGEM1 y HADCM3 proyectan una reducción mayor en los escenarios A2 y B2. Los modelos GFDLR30/GFDLCM2.0 y ECHAM4/ECHAM5 indican reducciones menores, relativa estabilidad o aumentos menores, ya que la tendencia a reducciones en precipitación es mayor en el escenario A2 que en el B2.

2.1.6. Sensibilidad de los rendimientos del maíz a las variables climáticas de temperatura y precipitación.

En el 2007, los países de Centroamérica destinaron 1,76 millones de hectáreas al cultivo del maíz, representando aproximadamente la mitad del total del área cultivada de la región. Dada la importancia de este cultivo se realizó un análisis sobre la incidencia que tiene el aumento de la temperatura en el rendimiento del cultivo de maíz, donde se especificaron funciones de producción sobre los rendimientos (toneladas por hectárea) para estimar el impacto de las variables climáticas. Los datos empleados comprenden el período 1961-2006. En cada modelo se realizaron diferentes especificaciones para obtener resultados estadísticamente robustos. Las variables explicativas empleadas en las especificaciones incluyen: población, superficie de riego, superficie de tierra arable y como variables climáticas, temperatura promedio, temperatura media en la estación seca (de noviembre a abril), o temperatura media de la estación lluviosa, que comprende los meses restantes, y los respectivos cuadrados. (CEPAL,2011)

A partir de los resultados de los coeficientes estimados, se hacen simulaciones con variaciones de temperatura y precipitación (especificación 1), manteniendo constantes los demás términos con cifras de 2006. En la figura seis se muestran los rendimientos del maíz ante distintos niveles de temperatura, se observa que el nivel de temperatura óptimo para la región centroamericana es alrededor de 26,5 °C, alcanzando prácticamente dos toneladas por hectárea. Considerando los niveles de temperatura promedio actuales en la región centroamericana, existe un margen de entre 1 y 2 grados en el que los rendimientos no se ven afectados de manera importante. No obstante, si la temperatura media se eleva más de 2 °C, como ya se observó en las proyecciones bajo los escenarios A2 y B2 se registrarían pérdidas de productividad del maíz. (CEPAL,2011)

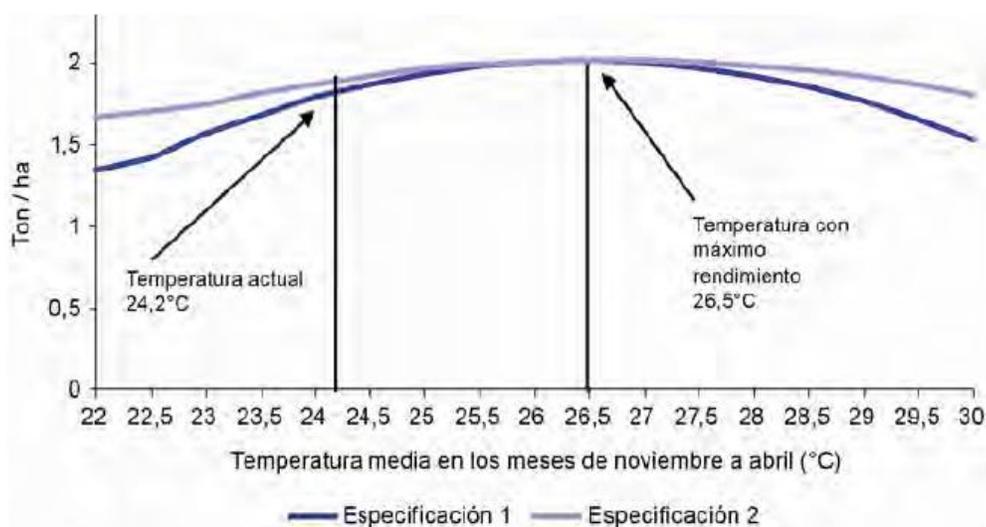


Figura 6: Variación de rendimiento del maíz ante variación en la temperatura.
Fuente: CEPAL, (2011)

Los resultados de precipitación presentados en la figura siete, indica que el nivel promedio actual en la región centroamericana es significativamente menor que el óptimo. Aunque las pérdidas potenciales asociadas a una mayor temperatura media podrían ser compensadas por un uso mayor y más eficiente del agua, esta medida puede volverse no sostenible si la precipitación y disponibilidad de agua se redujera. Considerando una disminución de la precipitación entre 15% y 20% y las condiciones actuales de producción, los rendimientos se reducirían hasta en 1,5 toneladas por hectárea. La especificación 2 incluye la variable población, mientras que la primera no la incluye. (CEPAL,2011)

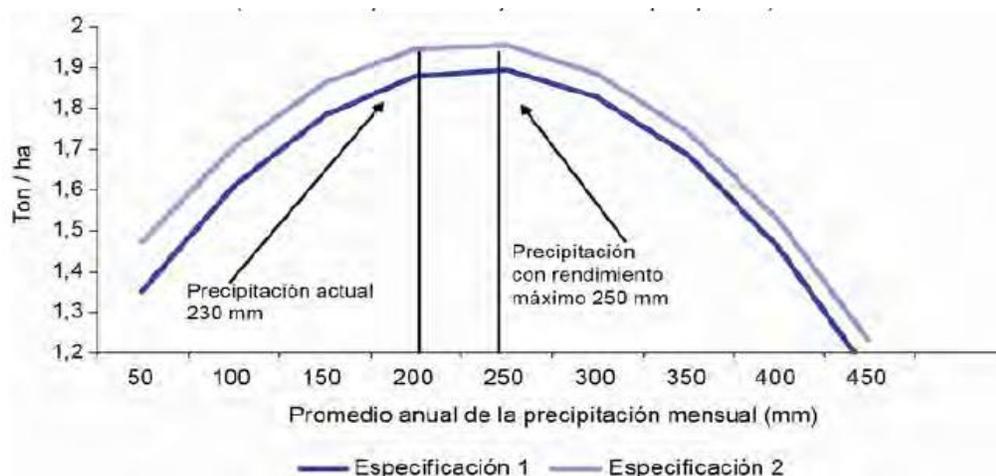


Figura 7: Variación de rendimiento del maíz ante variación en la precipitación.
Fuente: CEPAL, (2011)

2.1.7. Evolución de los rendimientos de maíz con cambio climático bajo los escenarios b2 y a2, del 2006 al 2100

La producción de maíz en el escenario B2 no sufriría mayores impactos hasta finales del siglo. En A2 el rendimiento crecería alrededor del promedio histórico de dos toneladas por hectárea en el corto plazo, pero luego decrecería hasta posiblemente 1,4 toneladas por hectárea cerca del 2100 sin medidas de adaptación como se puede observar en la figura ocho. (CEPAL,2011)

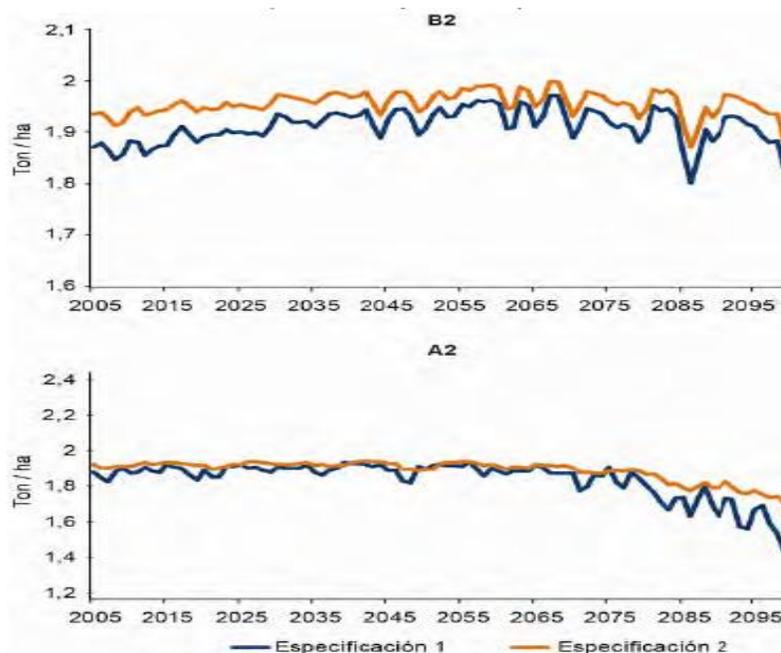


Figura 8: Evolución del rendimiento de maíz con cambio climático (escenarios B2 Y A2), del 2006 AL 2100.
Fuente: CEPAL, (2011)

La especificación 1 incluye temperatura media de noviembre a abril y su cuadrado, el promedio anual de la precipitación mensual y su cuadrado, superficie provista para riego y la especificación 2 incluye población con lo antes mencionado. (CEPAL,2011)

Los análisis para Guatemala identifican amenazas muy serias al rendimiento del maíz en condiciones del escenario A2 hacia finales del siglo. En función de las diferentes especificaciones utilizadas, los rendimientos podrían ser nulos en Guatemala, si no se tomaran medidas de adaptación, esta situación genera una alta vulnerabilidad y sugiere que el manejo del recurso hídrico será prioritario en las respuestas al cambio climático, considerando que la adaptación a los aumentos de temperatura basados en mayor uso del agua estará condicionada por la incertidumbre sobre los patrones futuros de lluvias, (CEPAL,2011)

2.1.8. Producción agrícola del municipio de Cuyotenango, Suchitepéquez.

Según (MAGA, 2,013) la agricultura es la principal actividad económica del municipio de Cuyotenango, considerándose a ésta como una de las fuentes principales del ingreso para el sostenimiento de las familias debido a que genera empleo y contribuye al sustento básico de la población.

Los principales cultivos que integran la agricultura del municipio son: la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), árbol de hule (*Hevea brasiliensis*), maíz (*Z. mays L.*) y ajonjolí (*Sesamun indicum*) así como pequeñas áreas como pepino (*Cucumis sativus*), melón (*Cucumis melo*), sandía (*Citrullus lanatus*) y tabaco (*Nicotina tabacum*) en las comunidades de la parte sur. (MAGA, 2,013)

Los cultivos de *S. officinarum* y *H. brasiliensis*, contribuyen a la economía del municipio, ya que genera oportunidad de empleo para la población por las diferentes labores de campo que se realizan, estos cultivos son administrados por industrias del sector privado. (MAGA, 2,013)

Mientras tanto el cultivo de *Z. mays* y *S. indicum* donde la producción es llevada a cabo en parcelas familiares, esta es realizada por tradición, afectada por la falta de recursos económicos y carencia de conocimiento que impiden que se realice una tecnificación adecuada para los cultivos de *Z. mays* y *S. indicum*. (MAGA, 2,013)

El cultivo de *Z. mays* provee el 7% del valor de la producción total, el cual una parte es destinada para autoconsumo y otra para venta local; *S. indicum* con un 7%, destinado exclusivamente para la venta; y el 2% corresponde al *C. sativus* y

C. lanatus, los cuales contribuyen a la economía del municipio. Los cultivos que representa mayor ingreso económico para el municipio, debido a la generación de empleos es *S. officinarum* con el 85%, *H. brasiliensis* con el 3%, los cuales son cultivados por industrias privadas. (MAGA, 2,013)

El cultivo de *Z. mays* es considerado como el cultivo de subsistencia por las familias del municipio, es sembrado en un área promedio de 1.75 ha por agricultor, seguidamente se encuentra el cultivo de *S. indicum* de forma intercalada con un promedio de área por agricultor de 1.19 ha y el cultivo de *N. tabacum* con un área de 1.12. (MAGA, 2,013)

Cabe destacar que un pequeño número de agricultores se dedican a la siembra de cultivos como frijol (*Phaseolus vulgaris*), sandía (*Citrullus lanatus*), melón (*Cucumis melo*), pepino (*Cucumis sativus*), entre otros, dedicándose una pequeña proporción de área dentro de la parcela para ello que va de 0.14 a 0.35 ha (SNER, Cuyotenango 2012 citado por MAGA, 2,013) en la figura nueve observamos una gráfica con el área promedio cultivada por agricultor en el municipio de Cuyotenango, Suchitepéquez.

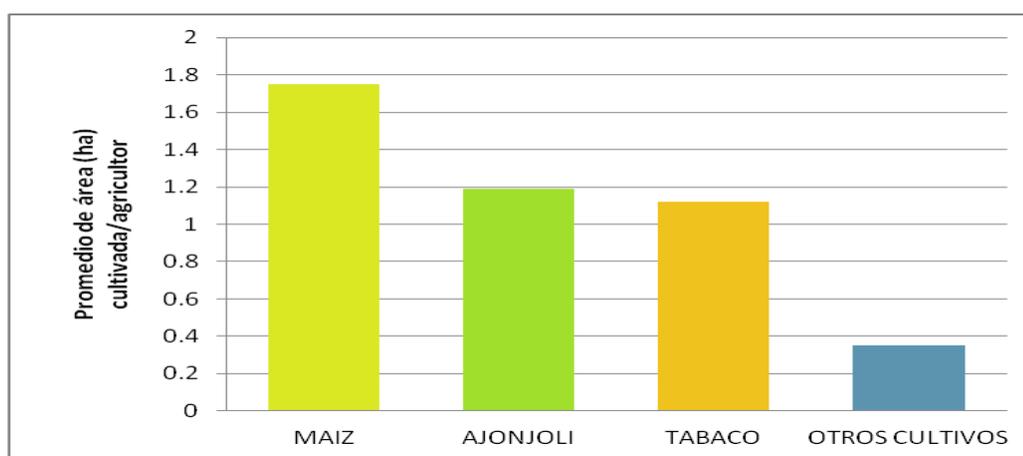


Figura 9: Área promedio por cultivo/agricultor en la localidad de centro uno La Máquina, Cuyotenango, Suchitepéquez.

Fuente: MAGA, (2013)

La figura nueve afirma que el cultivo de *Z. mays* es uno de los cultivos alimenticios más importantes para la población del municipio de Cuyotenango, Suchitepéquez, por lo que todo efecto negativo repercute en la seguridad alimentaria de miles de familias que subsisten a partir de este cultivo, donde los pequeños productores de *Z. mays* enfrentan continuos desafíos.

2.1.9. Problemas que afectan la producción agrícola del municipio de Cuyotenango, Suchitepéquez.

Según (MAGA, 2,013) dentro de los problemas que más afectan al cultivo de *Z. mays*, se pueden mencionar las pérdidas a causa de sequías con un 94% de agricultores afectados, el acame producido por fuertes vientos 62%, así como pérdidas producidas por plagas y enfermedades de un 30% y pérdidas por inundaciones en un 40%.

Las pérdidas causadas por los problemas anteriormente mencionados provocan que los rendimientos de *Z. mays* bajen de 1,948 kg/ha a 1,299 kg/ha, siendo el rendimiento promedio del municipio de 3,312 kg/ha de acuerdo a la encuesta realizada. (MAGA, 2,013).

En la figura diez se presenta una grafica con los principales factores que afectan el cultivo de *Z. mays* en el municipio de Cuyotenango, Suchitepéquez, siendo la más importante el factor sequía con un 94% esto refleja que la agricultura en dicha localidad seria sensible a los cambios de temperatura y precipitaciones asociadas con el cambio climático.

Los agricultores ya están sufriendo los impactos directamente por la disminución en sus rendimientos, que al final se ve reflejada en pérdidas económicas por dichos problemas, por lo tanto es necesario buscar alternativas que reduzcan o minimicen estos impactos, y de esa manera aumentar la resiliencia de estos actores ante estos cambios en el clima, por lo que resulta necesario apoyarlos con prácticas de adaptación al cambio climático y una de estas posibles prácticas de adaptación puede ser el uso del poliacrilato de potasio el cual se describe en el siguiente inciso.

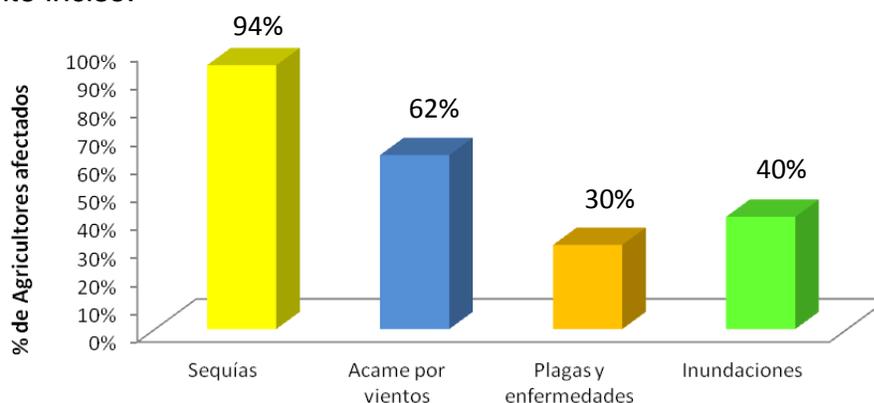


Figura 10: Factores que afectan el cultivo de *Z. mays* en el municipio de Cuyotenango, Suchitepéquez.

Fuente: (MAGA, 2,013)

2.1.10. Descripción y características del poliacrilato de potasio.

2.1.10.1. Poliacrilato de potasio (silos de agua o lluvia sólida)

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. (Aqua warehouse, 2009) El Poliacrilato de potasio tiene una capacidad activa de absorción hasta 7 años y su retención de agua en el suelo, permite 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)

2.1.10.2. Como actúa 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 así una red. Cuando el agua entra en contacto con una de estas cadenas, entra dentro de la molécula por ósmosis. 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. (Aqua warehouse, 2009)

2.1.10.3. Composición química:

90% Poliacrilaminas

10% Aditivos (acrilatos de potasio y silicatos de aluminio)

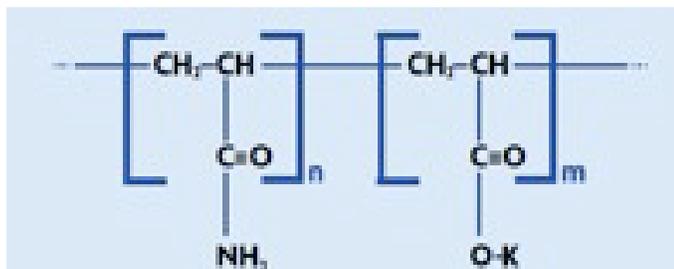


Figura 11: Estructura química del poliacrilato de potasio

Fuente: (Aqua warehouse, 2009)

2.1.10.4. Información medio ambiental

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 microbiológica. Poliacrilato de potasio, por lo tanto, se degrada naturalmente en el suelo (hasta un 10% - 15% por año) en agua, dióxido de carbono y compuestos de nitrógeno. (Aqua warehouse, 2009)

Bioacumulación

El polímero es muy voluminoso para ser absorbido por los tejidos y las células de las plantas. Su capacidad de bioacumulación, por tanto, es nula. (Estudios n° 97-78 de la SCPA). El periodo de efectividad de silos de agua en el campo varía de 1 a 7 años, dependiendo del tamaño de las partículas y las condiciones agroclimáticas. (Aqua warehouse, 2009)

Premios obtenidos

IX Premio Anual de Ecología y Medio Ambiente 2002. Fundación Miguel Alemán. 2002 (Aqua warehouse, 2009)

2.1.10.5. Información de seguridad:

Cuadro 5: Información toxicológica del Poliacrilato de potasio

Toxicidad: Poliacrilato de potasio demuestra no toxicidad (tasas de 5000/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: Aqua warehouse, (2009)

Según Aqua warehouse (2009), el Ministerio Francés de Agricultura: (APV) 8410030, afirmó que el poliacrilato de potasio no produce daños o síntomas

perjudiciales por la ingestión del poliacrilato de potasio que puedan poner en riesgo la vida de las personas. (Aqua warehouse, 2009)

Descripción de la Acrilamida por la OMS (Organización Mundial de la Salud)

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 de 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 µg/l, si bien, en la práctica, las concentraciones podrían ser de 2 a 3 veces menores. Estos valores corresponden a las poliacrilamidas aniónicas y no iónicas, pero las concentraciones residuales derivadas de las poliacrilamidas catiónicas pueden ser mayores. (OMS, 2,003)

Las poliacrilamidas 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 procesado de alimentos y la posible formación de acrilamida en alimentos cocinados a temperaturas altas. (OMS, 2,003)

Reseña toxicológica

Tras su ingestión, la acrilamida es absorbida rápidamente por el aparato digestivo y distribuida extensamente en los fluidos corporales. La acrilamida puede atravesar la placenta. Es neurotóxica, afecta a las células germinales y altera la función reproductora. En estudios sobre su mutagenia, la acrilamida dio un resultado negativo en la prueba de Ames, pero indujo mutaciones genéticas en células de mamíferos y alteraciones cromosómicas in vitro. En un estudio de carcinogenia a largo plazo en ratas expuestas a la acrilamida por medio del agua de bebida, esta sustancia indujo tumores de escroto, de tiroides y suprarrenales en machos, y tumores de mama, de tiroides y de útero en hembras. (OMS, 2,003)

Datos recientes han mostrado que la exposición a la acrilamida por el consumo de alimentos cocinados es mucho mayor que lo que se pensaba anteriormente, pero aún no se ha determinado la importancia de esta información nueva en lo que respecta a la evaluación de riesgos. (OMS, 2,003)

Antecedentes de la determinación del valor de referencia

Las Normas internacionales para el agua potable de la OMS de 1958, 1963 y 1971 y la primera edición de las Guías para la calidad del agua potable, publicada en 1984, no hicieron referencia a la acrilamida. (OMS, 2,003)

Las Guías de 1993 establecieron un valor de referencia de 0,0005 mg/l asociado a un valor máximo del riesgo adicional vitalicio de cáncer de 10⁻⁵, y señalaron que, aunque el límite práctico de cuantificación de la acrilamida es generalmente del orden de 0,001 mg/l, las concentraciones en el agua de consumo pueden controlarse estableciendo especificaciones relativas a los productos y a sus dosis. (OMS, 2,003)

Fecha de evaluación

La evaluación de riesgos se realizó en 2003. (OMS, 2,003)

2.1.10.6. 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 (Aqua warehouse, 2009) al tenerlo hidratado, se procede a aplicar la dosis recomendada para el cultivo específico, en el caso del cultivo de *Z. mays* la dosis recomendada es de 10 grs/metro lineal (133.33 kg/ha a un distanciamiento de 0.75 mts. Entre surcos) la aplicación debe realizarse antes de sembrar la semilla, a una profundidad entre 7 cm. a 12 cm. y tapar con tierra dicha aplicación, posteriormente se realiza la siembra tradicional de la semilla. (Aqua warehouse, 2009)

2.1.11. Descripción general del cultivo de maíz

2.1.11.1. Origen del maíz

El maíz está clasificado dentro de la especie botánica *Zea mays*. Tiene dos parientes cercanos, que son el *Tripsacum* y el Teosinte, ambos crecen en forma silvestre en Guatemala. (Segura 2,008)

Se han mencionado dos lugares como el posible origen del maíz. Estos son: a) los valles altos de Perú, Ecuador y Bolivia, y b) la región del sur de México y la América Central. En ambas áreas se han encontrado muchos tipos de maíz. Se ha expuesto varias teorías para explicar el origen del maíz. La primera era que el maíz se originó del Teosinte o de los ancestros del mismo.

La otra teoría sugiere que el maíz se originó de un maíz primitivo tunicado pero todavía se ignora el origen de éste maíz. (Bolaños & Edmeadea, citado por Segura 2,008)

2.1.11.2. Descripción botánica del maíz

El maíz es una gramínea anual, erecta, robusta de 0.6 a 3.0 m o más de altura en su madurez. Los tallos son ligeramente comprimidos, gruesos. Las hojas son de 30 a 100 cm. de largo y de 3 a 12 cm. de ancho, la base es redondeada, el ápice más angosto y agudo y los márgenes frecuentemente ásperos o irregulares. Son de color verde en la parte superior, finamente pilosos o glabros en ambas superficies. Las espigas son unisexuales-monoicas, las masculinas terminales solitarias en grupos de 2 a 26, las femeninas en las axilas de una o más hojas generalmente solitarias. La inflorescencia femenina se encuentra envuelta entre 8 o 13 brácteas largas, duras y finamente pubescentes, los estilos son largos, morados o blanco negruzco y penduloso, con un estigma morado bífido que sobresale considerablemente de las brácteas. Las semillas (frutos), son ovoides con un ápice agudo obtuso redondeado y comprimido. (Collado, citado por Segura 2,008)

2.1.11.3. Clasificación botánica del maíz

Reino	Plantae
División	Tracheophyta
Sub división	Pteropsidae
Clase	Angiospermae
Subclase	Monocotyledoneae
Grupo	Glumiflora
Orden	Graminales
Familia	Gramineae
Tribu	Maydeae
Género	Zea
Especie	Zea mays

(Kiesselbach, 1949; Purseglove, 1972; Fisher y Palmer, 1984, citado por ICTA, 2002)

2.1.11.4. Crecimiento y fases de desarrollo

La planta de maíz presenta diferente comportamiento a las condiciones agroclimáticas. El conocer las características fenológicas establece el marco

temporal que forma el rendimiento y sus componentes. (Bolaños y Eumades, citado por Segura G. 2,008) indican que en los puntos cardinales de germinación, iniciación floral y madurez fisiológica se delimitan respectivamente las fases vegetativa, reproductiva y de llenado de grano. La duración de cada una de estas fases depende del genotipo, del foto periodo y de la temperatura. (Lafitte, citado por Segura 2,008)

2.1.11.5. Fase vegetativa

Esta fase se inicia al momento de comenzar el proceso de germinación de la semilla, luego se establecen las plántulas; se expande el follaje y se forma la capacidad fotosintética del cultivo, la cual controla la producción de biomasa. La biomasa total producida por el cultivo está altamente correlacionada con el tamaño final de la mazorca y en promedio se estima que ésta ocupa el 40% del peso total (Lafitte, citado por Segura 2,008)

2.1.11.6. Fase reproductiva

En esta fase se elabora el órgano de interés desde el punto de vista de la cosecha: la mazorca y el número de granos por mazorca que constituye la fracción cosechable de la biomasa. En el caso del maíz las flores masculinas se producen en la inflorescencia terminal y las flores femeninas en las axilas laterales (mazorcas), por lo que existe una distancia entre ambas y el polen debe viajar una corta distancia para fecundar a los estigmas. (Segura G. 2,008)

Dependiendo de la zona en donde se esté desarrollando el cultivo, existe un período que va de uno a dos días, entre la emisión del polen y la salida de los estigmas en la floración. Este período se puede alargar entre 5 y 8 días para las condiciones del altiplano. La polinización es una fase extremadamente sensitiva al efecto que puedan causar los estreses ambientales tales como la sequía, que puede afectar negativamente el rendimiento. (Jugenheimer, citado por Segura 2,008)

2.1.11.7. Fase de llenado de grano.

Esta fase se inicia inmediatamente después de la polinización y determina el peso final del grano y de la mazorca. El peso del grano está correlacionado con la duración y la cantidad de radiación interceptada durante esta fase, y es afectada por estreses hídricos y nutricionales. (Mangelsdorf & Reeves, citado por Segura 2,008)

La fase de llenado está marcada por tres sub-fases: 1) Fase de arresto que puede durar de 10 a 20 días; 2) Fase lineal que es la fase de acumulación de materia seca y tiene una duración de 7 a 14 días que concluye con la aparición de la capa negra y madurez fisiológica. Se denomina que el grano está en la etapa de capa negra, cuando éste cesa de alimentarse de la planta, formándose una capa de color negro que evita la entrada de nutrientes al grano, aspecto que da nombre a esta fase. La madurez fisiológica se alcanza cuando el grano está cerca de los 32-35 % de humedad. (Mangelsdorf & Reeves, citado por Segura 2,008)

2.1.11.8. Requerimientos para el crecimiento del cultivo

Según Heysey & Eamadea, citado por Segura 2,008 el cultivo del maíz requiere de condiciones mínimas que favorezcan su rendimiento. El conocimiento de los diferentes eventos fenológicos de la planta posibilita entender el marco temporal de la formación, del rendimiento y sus componentes. El maíz es una planta anual determinada por puntos cardinales de la germinación, iniciación floral, la floración y la madurez fisiológica, delineando receptivamente las fases vegetativa, reproductiva y de llenado de grano. La duración de cada una de estas fases depende del genotipo, del foto periodo y de la temperatura.

2.1.11.9. Influencia del fotoperiodo en el maíz

El maíz es una planta determinada cuantitativa de días cortos. Esto significa que el proceso hacia floración se retrasa progresivamente a medida que el foto período excede el valor mínimo. En general, para la mayoría de germoplasma de maíz tropical el foto período crítico oscila entre 11 y 14 horas y en promedio 13.5 horas. La mayoría de los materiales tropicales tienen mucha sensibilidad al foto período que puede influir en el retraso en la iniciación de la espiga (Jugenheimer, citado por Segura 2,008)

2.1.11.10. Requerimiento de agua

La disponibilidad de agua en cantidades adecuadas al requerimiento de la planta, posibilita que el cultivo pueda desarrollarse adecuadamente y que posibilite potenciar redimiendo. La utilización de agua está en función del desarrollo fenológico de la planta y se correlaciona con otras variables muy importantes como lo son la capacidad de campo, evapotranspiración y temperatura. La cantidad de agua accesible al cultivo en un momento dado depende de la profundidad explorada por las raíces, de la cantidad de agua

disponible hasta dicha profundidad y de la efectividad con que las raíces puedan extraer la humedad del suelo. El efecto particularmente de la sequía afecta la habilidad de la planta de maíz a producir grano en tres fases críticas de crecimiento vegetativo: a) Al inicio del ciclo del cultivo, en estado de plántula puede matar a estas plantas y reducir la densidad de población; b) En fase de floración y c) en fase de llenado de grano. Se han realizado diferentes estudios en maíces tropicales para simular y cuantificar potencialmente el efecto de la reducción del grano por efecto de sequía. La reducción de agua en el cultivo del maíz durante el período de prefloración, floración y post floración provoca pérdidas de 25%, 50 % y 21%, respectivamente. (Segura G. 2,008)

El momento crítico del maíz se ubica entre los 7 días previos al inicio de la floración y 15 días posterior a esta. En esta etapa, la reducción de rendimiento es mayor y puede ser 2 o 3 veces mayor que en otra fase de crecimiento. Se indica también que en esta fase el número de granos puede reducirse hasta en 45 %. (Lafitte, citado por Segura 2,008)

El umbral mínimo de precipitación desde el cual puede esperarse cosecha de granos es de 150 mm. El maíz necesita por lo menos 500 a 700 mm de precipitación bien distribuida durante el ciclo del cultivo. Sin embargo, aun esa cantidad de lluvia no es suficiente si la humedad no puede ser almacenada en el suelo debido a la poca profundidad de esta o del escurrimiento, o si la demanda evaporativa es muy grande por las temperaturas elevadas y la escasa humedad relativa. (Poehlman, citado por Segura 2,008)

2.1.11.11. Influencia de la temperatura

El desarrollo vegetativo y reproductivo de la planta de maíz en la zona Tropical está muy relacionado con la altitud (msnm) en donde se encuentra la plantación. Dependiendo de la ubicación de la zona, esta manifestará diferente comportamiento relacionado a la temperatura ambiental. En Guatemala, la zona del Trópico Bajo presenta temperaturas promedio de 25 °C y que pueden manifestar extremos de 35-40 °C en ciertos períodos del año. Para las condiciones de altiplanicie, la temperatura promedio es de 18°C y pueden presentarse temperaturas mínimas cercanas a 0°C en ciertas épocas del año. (Segura G. 2,008)

Localidades con menor temperatura posibilitan que el desarrollo vegetativo sea más largo y viceversa en condiciones de mayor temperatura. (Mangelsdorf & Reeves, citado por Segura 2,008)

Cuando la condición de temperatura es mayor a 35°C durante el desarrollo vegetativo y especialmente en la fase de reproducción, posibilita que la planta entre en un proceso de defensa debido al estrés que provoca este efecto y ocurra disminución de la tasa de fotosíntesis, posibilita la reducción del número de óvulos y viabilidad del polen, efecto negativo en la fase de llenado de grano y puede repercutir en pérdida de rendimiento. Lo contrario puede ocurrir al observarse bajas temperaturas que pueden causar daños a la parte vegetativa y reproductiva, por consiguiente también afectar el rendimiento. (Paliwall, citado por Segura 2,008)

2.1.11.12. Uso del maíz como alimento humano

La humanidad ha fracasado seriamente en su esfuerzo por alimentar en forma adecuada a los millones de gentes que viven actualmente en la tierra. De éstos, al menos mil millones están desnutridos y la dieta de otros 800 millones es deficiente ya que carece de un o varios nutrientes básicos. (Collado, citado por Segura 2,008) reporta que se necesitan cerca de 1,600 libras de grano por persona por año para proveer la dieta común rica en proteínas en los Estados Unidos. Esto contrasta con las 400 libras anuales por persona, de que se dispone en los países menos desarrollados. La diferencia es el cuádruple, donde la cantidad anual disponible de grano es de sólo 400 libras por persona, casi toda debe consumirse directamente para mantener la vida al nivel de subsistencia. De esta cantidad, casi 10% debe usarse como semilla, quedando aproximadamente 360 libras o sea, una libra para consumo diario.

Las proteínas son una parte esencial de la dieta y su abastecimiento está limitado en muchos países. Esto es particularmente cierto en muchos países tropicales donde la densidad de población es elevada y los niveles económicos son reducidos. Las proteínas tienden a ser costosas. (Collado, citado por Segura 2,008)

2.1.11.13. Variedad de Polinización Libre (VPL)

Representa la fracción superior de líneas o familias (6-10) que provienen de una población en mejoramiento y que al recombinarse proporcionan plantas

con características definidas en relación a sus características agronómicas, tipo de grano, textura de grano, adaptación agroecológica. (ICTA, 2002)

2.1.11.14. Híbridos de *Z. mays*

Se define como el cruzamiento de dos progenitores genéticamente distintos. La F1 producto de este cruzamiento posibilita producir el efecto de “vigor híbrido o heterosis” que equivale al incremento cuantitativo o cualitativo de alguna característica agronómica respecto a sus progenitores. (ICTA, 2002)

Las variedades e híbridos de *Z. mays* a utilizar para evaluar el efecto del acrilato de potasio son los que se recomiendan para la zona de 0-100 msnm, a continuación se presentan las características de las variedades e híbridos a establecer. (ICTA, 2002)

2.1.11.15. Descripción de los materiales genéticos utilizados en el estudio

VARIEDAD ICTA LA MAQUINA 7422 (ICTA-LM7422)

Variedad de grano blanco, cuya altura de planta y la posición de la mazorca es de aproximadamente 2.20 y 1.20 metros, respectivamente. El grano es de textura semi-cristalina. Por la buena posición de la mazorca y desarrollo radicular posibilita ser menos afectada por fuertes vientos que causan el acame de plantas. Las plantas se pueden doblar a los 90 días y cosechar a los 120 días. El rendimiento comercial promedio es de 60 quintales por manzana, dependiendo de las condiciones ambientales y manejo agronómico. Esta variedad presenta buen comportamiento en zonas de alta precipitación pluvial (ICTA, 2002)

VARIEDAD ICTA B-7

Es una variedad de maíz de polinización libre (VPL) de grano blanco, desarrollada por el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) conjuntamente con el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y El Programa Regional de Maíz (PRM). Esta nueva variedad es un logro obtenido mediante el mejoramiento genético que incluye la utilización de germoplasma de maíz adaptado a condiciones marginales que favorece a su amplia adaptación agroecológica, especialmente recomendada para las condiciones de la zona del Nor-Oriente y algunas regiones de la Costa Sur- Occidental de Guatemala que presenta este tipo de problemática. Esta variedad su grano es de color blanco, tipo de grano semi-dentado, días

a floración 53, días a cosecha 110, densidad de siembra 35-39,000 pl/mz, siembra primera Mayo-Junio, siembra segunda Septiembre, la altura promedio de planta es de 2.17 metros y 1.18 metros altura de mazorca, su rendimiento promedio es de 59 qq/mz. (ICTA, 2002)

HIBRIDO HR-245

Es un híbrido para producción de grano con adaptación tropical de 0 a 1,600 msnm, su ciclo de producción es de 110 a 120 días, híbrido tropical de tres líneas, mazorca de grano duro de 16-18 hileras, altura de mazorca intermedia de 1.15 a 1.30 metros, altura de planta de 2.20 a 2.35 mts, resistente al viento, rústico de gran adaptación, presenta mayor grado de resistencia a la mancha de asfalto, puede alcanzar rendimientos entre 90 a 135 quintales por manzana (Prosemilla, 2013a)

HIBRIDO HRQ-596

Es un híbrido que se adapta de 0-1600 msnm, su ciclo es de 130 días, resistente a mancha de asfalto, resistente al acame por vientos, la altura promedio de la planta es de 2.25 a 2.35 mts, la altura de la mazorca es de 1.30 a 1.40 mts, el tipo de la mazorca es cilíndrica, el grano es semicristalino, muy pesado con un rendimiento de 105-150 qq/Mz. (Prosemilla, 2013b)

HIBRIDO PIONNER-4082W

Híbrido de grano blanco, cuya altura de planta en promedio es de 2.40 a 2.60 metros y la posición de la mazorca en promedio es de 1.25 y 1.30 metros, respectivamente. Con adaptación de 0 a 1200 msnm. El grano es semicristalino. Por la buena posición de la mazorca y desarrollo radicular posibilita ser menos afectada por fuertes vientos que causan el acame de plantas. Las plantas se pueden doblar a los 90 días y cosechar a los 118 a 128 días. El número de hileras puede ser de 16 a 18 por mazorca con un largo promedio de 20 cm por 5 de diámetro. El rendimiento comercial promedio es de 80 quintales por manzana, dependiendo de las condiciones ambientales y manejo agronómico. Bajo condiciones de riego y buen manejo agronómico, este híbrido puede tener potencial de producción hasta de 100 quintales por manzana. (Duwest, 2013)

HIBRIDO DK-390

Híbrido doble de grano blanco, cuya altura de planta oscila entre 2.15 y 2.25 metros, la altura de mazorca es 1.30 a 1.50 metros respectivamente. El grano es de textura semiduros. Por la buena posición de la mazorca y desarrollo radicular posibilita ser menos afectada por fuertes vientos que causan el acame de plantas. Las plantas se pueden doblar a los 90 días y cosechar a los 120 días. El rendimiento comercial promedio obtenido a través de parcelas de validaciones de 110 quintales por manzana, dependiendo de las condiciones ambientales y manejo agronómico. (Monsanto, 2012)

2.2. Marco referencial

Las características generales del área donde se desarrollara el estudio se describen a continuación:

2.2.1. Localización geográfica.

El municipio de Cuyotenango se encuentra situado en la parte este, en la Región VI ó Región sur occidental del departamento de Suchitepéquez, a ocho kilómetros de la Cabecera Departamental, a una altura de 334 metros sobre el nivel del mar, con una latitud de 14°32'18" y una longitud de 91°34'19", además cuenta con una extensión territorial de 238 Km². (MAGA, 2,013).

Debido a la alianza entre instituciones el área de investigación se encuentra ubicada en las instalaciones de los campos experimentales del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA) ubicado en la Línea B-6 de Centro uno La Máquina, Cuyotenango, Suchitepéquez el cual se encuentran a una altura de 34 metros sobre el nivel del mar, con una latitud de 14°15'05" y una longitud de 91°35'48" (ICC, 2,013). En la figura doce se presenta la ubicación geográfica del municipio de Cuyotenango, Suchitepéquez y la ubicación del sitio experimental.

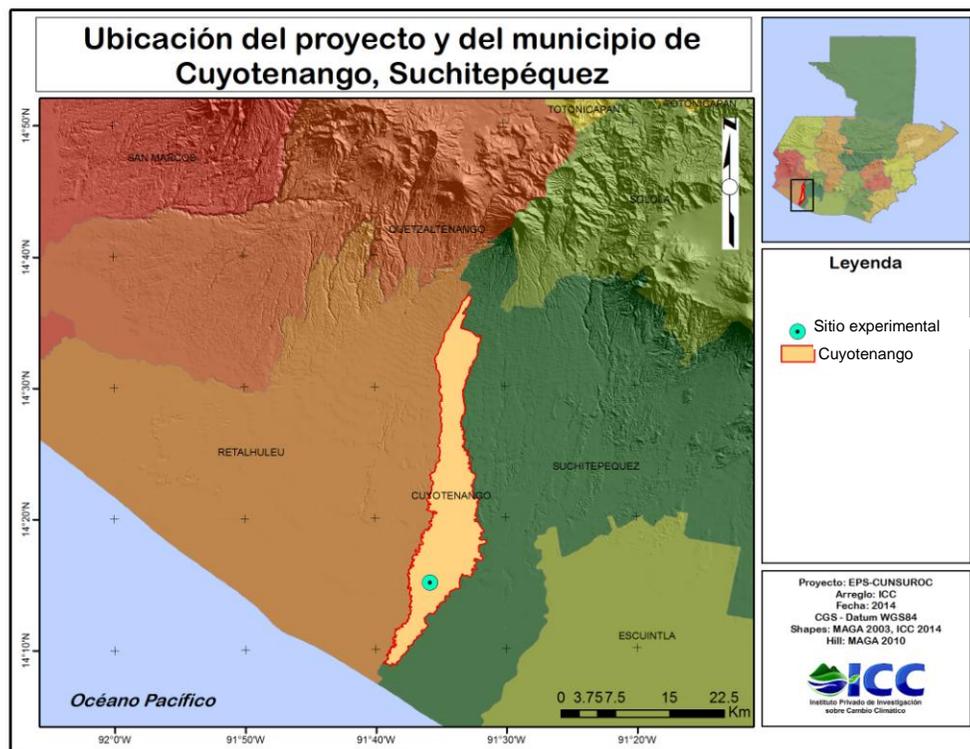


Figura 12: Localización del municipio de Cuyotenango, Suchitepéquez y el sitio experimental.

Fuente: ICC, (2013)

2.2.2. Vías de acceso.

Para llegar al sitio experimental desde la ciudad de Guatemala se toma la ruta CA-2 con dirección al sur occidente, hasta llegar al kilómetro 168 donde se encuentra el municipio de Cuyotenango, Suchitepéquez, se recorre en un tiempo aproximado de tres horas. Al llegar al centro del municipio de recorren otros 34 kilómetros al sur, llegando al kilómetro 202 existe un desvío con dirección a playa Tahuexco el cual se recorren otros 3 kilómetros en terracería hasta encontrar en la línea B-6 donde se encuentran las instalaciones de los campos experimentales del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICC, 2013).

2.2.3. Zona de vida y clima.

El clima donde se encuentra establecido el sitio experimental es de clima cálido, cuenta con una época seca y otra lluviosa, se clasifica como bosque húmedo subtropical (cálido), la época de lluvia se distribuye de mayo a octubre.(MAGA, 2013).

2.2.4. Taxonomía de suelos:

De acuerdo al mapa de taxonomía de suelos (ICC, 2013) el sitio experimental se encuentra ubicada en suelos Vertisoles (ver figura trece), los Vertisoles son suelos de arcillas pesadas revueltas con una alta proporción de arcillas expandibles 2:1. En estos suelos forman profundas y anchas grietas (las cuales se abren y cierran periódicamente) desde la superficie del suelo cuando se seca, lo cual sucede la mayoría de los años (Ibáñez y Manríquez, citado por ICC, 2013)

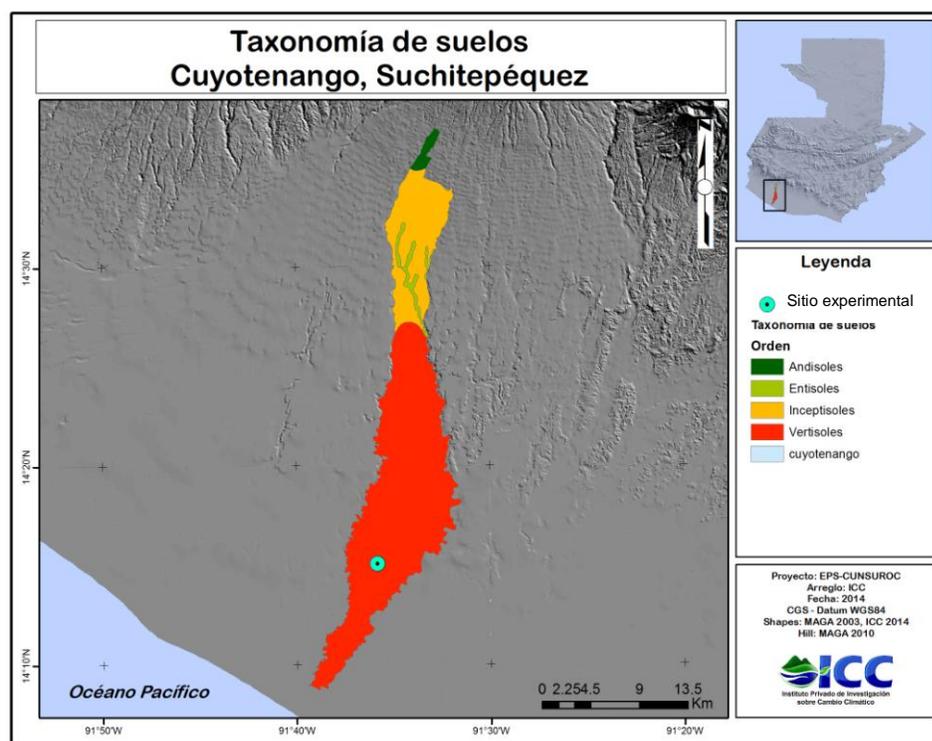


Figura 13: Localización del sitio experimental bajo la taxonomía de suelos en la localidad de La Máquina.

Fuente: ICC, basado en datos del MAGA, 2003.

2.2.5. Serie de suelos:

Según la clasificación de serie de suelos el sitio experimental se encuentra en la serie Ixtán, siendo la más representativa del municipio. (ICC, 2013) esta serie se caracteriza por: suelos bien drenados con pendientes de menos del 10% el cual agrupa bajo un uso intensivo, adaptables a cosechas anuales y permanentes.

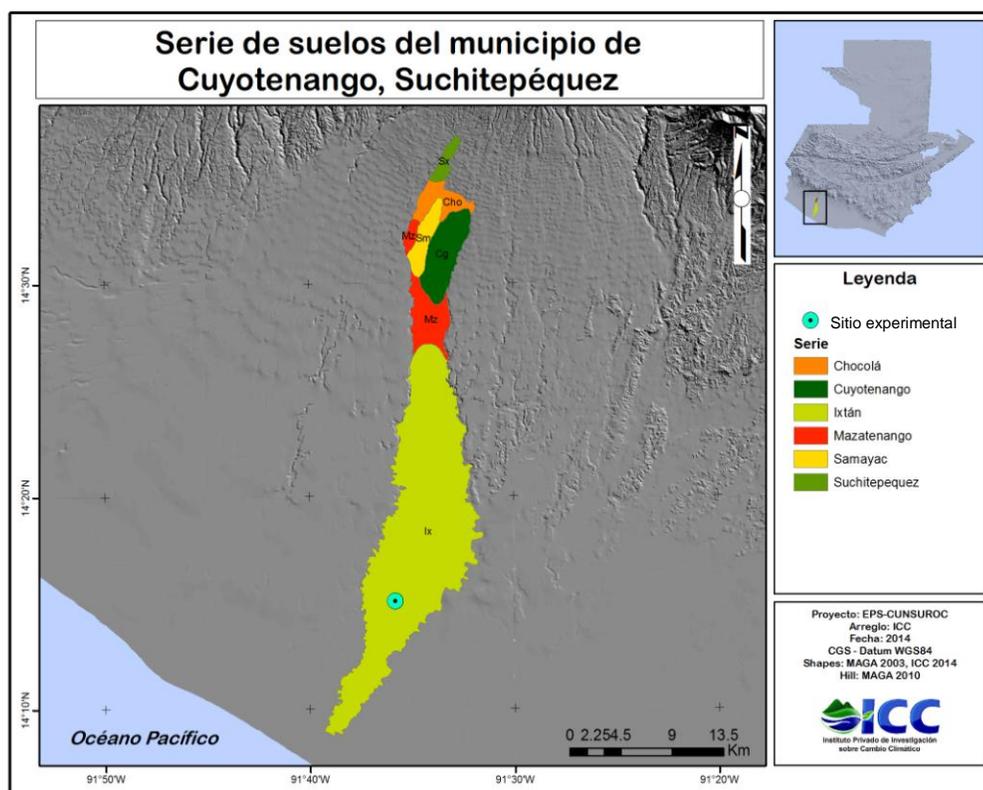


Figura 14: Localización del sitio de investigación bajo la serie de suelos de Simmons, Tarano, Pinto, 1959.
Fuente: ICC, basado en datos del MAGA, 2003.

2.2.6. Hidrología.

La frecuencia de lluvias comprende los meses de Mayo a Noviembre, con una precipitación pluvial de aproximadamente 2,500 a 3,000 mm anuales. (MAGA, 2,013). En cuanto a ríos cerca del área de investigación no existe alguno cercano.

III. OBJETIVO

3.1. General

Evaluar el efecto del poliacrilato de potasio como reservorio de agua en materiales genéticos de *Z. mays* en dos épocas del año en La Máquina, Cuyotenango Suchitepéquez.

3.2. Específicos

- Evaluar el efecto de la época lluviosa y seca en el funcionamiento del poliacrilato de potasio y materiales genéticos de *Z. mays*.
- Determinar si existe interacción entre el uso del poliacrilato de potasio y las dos variedades y cuatro híbridos de *Z. mays* evaluados.
- Evaluar la rentabilidad del cultivo con la aplicación de poliacrilato de potasio en dos épocas climáticas en La Máquina, Cuyotenango, Suchitepéquez.

IV. HIPÓTESIS

- Los tratamientos con y sin poliacrilato de potasio producen el mismo efecto en cuanto al rendimiento en Kg/ha de *Z. mays*.
- Todos los materiales genéticos evaluados de *Z. mays* producirán el mismo efecto en cuanto al rendimiento en Kg/ha.
- Existe interacción en el uso del poliacrilato de potasio y los materiales genéticos de *Z. mays* en cuanto al rendimiento en Kg/ha.
- Las épocas del año producirán el mismo efecto en cuanto al rendimiento en Kg/ha de los materiales genéticos de *Z. mays* evaluados.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Material y equipo

Para la ejecución de la investigación se utilizaron los siguientes materiales y herramientas:

- Terreno de 1,620 metros cuadrados
- Cinta métrica
- Rafia plástica
- Productos químicos (Basta®15 SL, Curyom®55 EC, Engeo®24,7 SC)
- Fertilizantes (46-00-00, 18-12-12, 27-0-24) granulados
- Balanza de reloj
- Balanza semi analítica
- Machetes
- Azadones
- Palas
- Chuzos
- Lima de afilar
- Bolsas plásticas
- Cámara Fotográfica
- Una computadora
- Lápiz, lapiceros y libreta de apuntes
- Semillas de maíz ICTA-B7, ICTA LM-7422, HR-245, HRQ-596, PIONNER 4082W, DK-390
- Poliacrilato de potasio
- Beakers de 1000 ml y 500 ml
- Recipientes plásticos
- Probeta
- Papel filtro
- Embudos

Dentro de los recursos humanos que participaron en la ejecución de la investigación tenemos los siguientes:

- Estudiante E.P.S.A.T.
- Coordinador del programa de desarrollo de capacidades y divulgación
- Asesor supervisor del programa E.P.S.A.T. (USAC)
- Trabajador de campo

5.2. Metodología:

Se establecieron dos experimentos idénticos separados en el tiempo, el primero se realizó en los meses de Mayo a Agosto (época lluviosa) del año 2,013 y el segundo entre Octubre de 2013 y Enero de 2014 (época seca).

Es importante mencionar que el manejo agronómico del cultivo (control de plagas, control de enfermedades, control de malezas y la fertilización) para las dos épocas fue el mismo, variando únicamente en la mecanización del terreno ya que solo en el primer experimento se mecanizó y se aplicó el poliacrilato de potasio mientras que en el segundo experimento se hizo labranza cero.

A continuación se presentan las metodologías utilizadas para llevar a cabo la prueba de capacidad de absorción de agua del poliacrilato de potasio así como la metodología para evaluar el efecto que tiene el poliacrilato de potasio en materiales genéticos de *Z. mays*, y por último la metodología para el análisis económico del uso del poliacrilato de potasio en el cultivo de *Z. mays* bajo las condiciones de Centro Uno La Máquina, Cuyotenango, Suchitepéquez.

5.2.1. Capacidad de absorción de agua del poliacrilato de potasio.

Según (Aqua warehouse 2009) quienes son los fabricantes del poliacrilato de potasio, la capacidad máxima de absorción de agua es de 500 veces su peso, entonces por cada gramo de producto puede absorber hasta 500 ml de agua en un tiempo aproximado de 10 a 15 minutos. A continuación se presenta la metodología empleada para comprobar si dicha capacidad de absorción es la correcta.

- Para tener un menor margen de error en la presente prueba de absorción de agua, los tratamientos evaluados fueron los siguientes: 1 gr. de poliacrilato de potasio con los volúmenes de agua que a continuación se mencionan: 700 ml, 500 ml, 300 ml, 100 ml, 50 ml, cada volumen de agua con el producto tuvieron 3 repeticiones, esto para ser más precisos en el resultado el cual queríamos determinar.
- Sabiendo los diferentes tratamientos a evaluar se procedió a pesar el gramo de poliacrilato de potasio en una balanza semi-analítica, además se midió con una probeta de 100 ml. los volúmenes de agua a utilizar por tratamiento. (ver 38 figura en anexos)

- Al tener pesado el gramo de poliacrilato de potasio y medidos los diferentes volúmenes de agua, se trasladaron a unos recipientes plásticos dónde se dejó absorber por un tiempo de 30 minutos, cabe mencionar que el fabricante (Aqua warehouse 2009) establece que el producto se deja hidratando por un tiempo de 10 a 15 minutos y en esta prueba se dejó por un tiempo de 30 minutos. (ver 39 figura en anexos)
- Transcurridos los 30 minutos de absorción se procedió a separar el producto hidratado y el agua que no pudo absorber, dicho procedimiento se realizó utilizando beakers de 1000 ml y papel filtro, con el fin de separar lo sólido con lo líquido y contabilizar cada uno de los mismos. (ver 40 figura en anexos)
- Al tener separado lo sólido con lo líquido (ver figura 41 en anexos) se procedió a medir con la misma probeta de 100 ml el volumen de agua que no pudo absorber el poliacrilato de potasio, también se pesó en la balanza semi-analítica el poliacrilato de potasio hidratado y por último se pesó el papel filtro utilizado (ver figura 42 en anexos) ya que durante el proceso de separación estos quedaron mojados y estas diferencias de peso fueron importantes para calcular la capacidad máxima de absorción del poliacrilato de potasio.

5.2.2. Monitoreo de la humedad disponible en el suelo por medio de un balance hídrico.

Conocer la humedad disponible en el suelo fue un factor determinante para nuestro estudio ya que como se describió anteriormente el poliacrilato de potasio funciona como un reservorio de agua el cual las plantas pueden aprovechar cuando el suelo está a punto de marchitez permanente, por lo tanto es importante llevar el control del momento en que el suelo podría llegar a punto de marchitez permanente o si el suelo se mantiene a capacidad de campo durante su ciclo de vida y de esta forma poder sacar las conclusiones pertinentes.

Para realizar dicho monitoreo fue necesario conocer la evapotranspiración diaria, la precipitación diaria cuando esta se presentara, así mismo la precipitación efectiva y por último calcular la capacidad máxima de retención de humedad del suelo, con esta información se creó una hoja de cálculo en el programa Microsoft Excel donde se ordenó la información y por diferencias de valores se calculó la humedad diaria disponible en el suelo (ver cuadro 23 en anexos). A continuación se presenta la metodología para determinar evapotranspiración, precipitación, precipitación efectiva y por último calcular la capacidad máxima de retención de humedad del suelo dónde se realizó la investigación.

- **Calculo de la evapotranspiración diaria (Evo):** Se recopiló información meteorológica de la estación automática San Nicolás (que es una de la red de estaciones automáticas de ASAZGUA). Dicha estación es la más cercana al área experimental, las variables meteorológicas recopiladas fueron las siguientes:
 - Temperaturas mínimas y máximas
 - Humedad relativa
 - Velocidad del viento

Es importante resaltar que la base de datos consultada se encuentra en línea y en tiempo real, además la información puede ser expresada en datos diarios, mensuales, anuales. Para nuestro fin la información se descargó diariamente el cual fue ingresada al programa CROPWAT8.0® donde dicho programa calcula la evapotranspiración diaria por el método Penman-Monteith.

- **Medición de la precipitación pluvial:** Para monitorear la cantidad de precipitación durante 24 horas en el área experimental, fue necesario instalar un pluviómetro llevando el registro en una boleta y tomando diariamente las lecturas a las 7:00 a.m.
- **Calculo de la precipitación efectiva:** El método utilizado para calcular la precipitación efectiva fue por la fórmula $P_{ef} = (P * (125 - 0.2 * 3 * P)) / 125$ de USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) donde P_{ef} = se refiere a la precipitación efectiva en milímetros y P = es la precipitación pluvial en milímetros, para precipitaciones menores a 250 milímetros también calculada por el programa CROPWAT8.0®
- **Calculo de la capacidad máxima de retención de agua en el suelo:** Para poder determinar la capacidad máxima de retención de humedad fue necesario realizar un análisis de suelo ya que no se contaban con los datos físicos del suelo, por lo tanto el primer paso fue sacar un muestreo de suelo de acuerdo a la característica del sistema radicular del cultivo de *Z. mays*, el estrato muestreado fue de 30-60 cm. Se recolectaron cuatro submuestras de suelo tomadas a cada 20 metros con trayectoria en zig-zag, para ello se usó un barreno, pala y machete, las porciones de suelo que se tomaron fueron delgadas para no formar muestras muy grandes, colectándose en una cubeta para formar una mezcla compuesta, de esta mezcla se tomó una libra de suelo y se almacenó en una bolsa de plástico debidamente identificada y etiquetada las características del suelo determinadas fueron:

- Capacidad de campo (%CC)
- Punto de marchitez permanente (%PMP)
- Densidad aparente (D_p)
- Análisis de textura (arena, limo y arcilla)

La muestra fue analizada en el laboratorio de suelos del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA).

Posteriormente se buscó información en tablas de diseño para sistemas de riegos, generadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2006), para obtener los valores que son necesarios para el diseño óptimo de riego, siendo los siguientes:

Cuadro 6: Fases fenológicas por las que atraviesa el cultivo de *Z. mays* y su duración, Valores de Umbral de riego (UR), Coeficiente del cultivo (Kc), Zona radicular del cultivo en metros (Zr)

Fase fenológica del cultivo (1)	Días que dura cada fase fenológica (1)	UR (2)	Kc (2)	Zr (2)
Vegetativa	20	0.55	0.30	0.3
Reproductiva	35	0.55	0.33 - 1.17	0.32 - 0.98
Llenado de grano	40	0.80	1.20	1.0

Fuente: 1 (ICTA, 2002), 2 (FAO, 2006)

Al determinar las características físicas del suelo y los valores de diseño se procedió a aplicar las formulas según (Sandoval, 1994) con el fin de calcular la capacidad máxima de retención de agua del suelo siendo las siguientes:

$$\text{LHA: } \frac{(\% \text{ CC} - \% \text{ PMP})}{100} \times \text{Da} \times \text{Zr} =$$

$$\text{LRHA: } \frac{(\% \text{ CC} - \% \text{ PMP})}{100} \times \text{Da} \times \text{Zr} \times \text{UR} =$$

Donde:

- LHA: = Lámina de Humedad Aprovechable
 LRHA: = Lámina de Humedad Rápidamente Aprovechable
 % CC = Capacidad de Campo
 % PMP = Punto de Marchitez Permanente

Da	= Densidad Aparente
Zr	= Zona radicular del cultivo
UR	= Umbral de riego

El cálculo de la Lámina de Humedad Aprovechable fue por etapa fenológica del cultivo ya que la demanda hídrica varía de acuerdo a su etapa fenológica (ver cuadro 24 en anexos)

- **Calculo del punto crítico (PC)**

Para el determinar el punto crítico fue necesario aplicar la formula según Sandoval, (1994) siendo la siguiente:

$$PC = \%CC - (\%CC - \% PMP) \times UR$$

Donde:

% CC	= Capacidad de Campo
% PMP	= Punto de Marchitez Permanente
UR	= Umbral de riego

Es importante resaltar que el punto crítico se cálculo por etapa fenológica (ver cuadro 25 en anexos) ya que la demanda hídrica del cultivo varia en base a la etapa fenológica que pasa el cultivo.

5.2.3. Evaluación del efecto del poliacrilato de potasio en materiales genéticos de *Z. mays*.

A continuación se describen los tratamientos, factores y el método de evaluación utilizado para determinar el efecto del poliacrilato de potasio en seis materiales genéticos de *Z.mays* bajo las condiciones de La Máquina, Cuyotenango, Suchitepéquez.

5.2.4. Diseño experimental

5.2.4.1. Análisis estadístico

El diseño experimental que se utilizó, se basó en las condiciones del terreno ya que son muy parecidas en cuanto a las características físicas del suelo, los tratamientos evaluados fueron los siguientes: Factor A; 1) con poliacrilato de potasio 2) sin poliacrilato de potasio y el factor B seis materiales genéticos de

maíz (DK-390, PIONNER 4082W, HR-245, ICTA-B7, HRQ-596, ICTA- LM7422) debido a estos factores y hacer más fácil el manejo agronómico del experimento, se realizó un experimento bifactorial con diseño en bloques completamente al azar, con arreglo en franjas, con doce tratamientos y seis repeticiones (bloques), dichos tratamientos corresponden a la combinación de los factores que se evaluarán en la presente investigación, que serán:

Factor A: Aplicación del Poliacrilato de Potasio.

A1 = Sin acrilato de potasio

A2 = Con acrilato de potasio

Factor B: Materiales genéticos de Maíz.

B 1 = ICTA-B7

B 2 = ICTA LM-7422

B 3 = HR-245

B 4 = HRQ-596

B 5 = PIONNER-4082 (testigo absoluto)

B 6 = DK-390

Los tratamientos del factor A se determinaron en base a las características de retención de agua del poliacrilato de potasio ya que de acuerdo a sus especificaciones funciona como reservorio de agua en el suelo, aportando agua a la planta cuando esta lo demanda durante el ciclo del cultivo, mientras que los materiales genéticos del factor B se escogieron ya que en la localidad de La Máquina, son los más comerciales, a excepción de las dos variedades ICTA-B7 e ICTA LM-7422 que pueden ser potencialmente explotadas en dicha localidad, otra característica importante es que son materiales reportados como tolerantes a sequía.

5.2.4.2. Número de tratamientos

Cuadro 7: Combinación de niveles y factores a evaluar.

Tratamiento	Aplicación del poliacrilato de potasio (Factor A)	Materiales de Maíz (Factor B)
T1	Sin Poliacrilato de Potasio	ICTA-B7
T2	Sin Poliacrilato de Potasio	ICTA LM-7422
T3	Sin Poliacrilato de Potasio	HR-245
T4	Sin Poliacrilato de Potasio	HRQ-596
T5	Sin Poliacrilato de Potasio	PIONNER 4082W
T6	Sin Poliacrilato de Potasio	DK-390
T7	Con Poliacrilato de Potasio	ICTA-B7
T8	Con Poliacrilato de Potasio	ICTA LM-7422
T9	Con Poliacrilato de Potasio	HR-245
T10	Con Poliacrilato de Potasio	HRQ-596
T11	Con Poliacrilato de Potasio	PIONNER 4082W
T12	Con Poliacrilato de Potasio	DK-390

Fuente: Autor, (2,013)

El número de tratamientos se determinó tomando en cuenta los niveles de cada uno de los factores a evaluar, de la siguiente manera:

Número de tratamientos = Aplicación de acrilato de potasio x Materiales de Maíz.

Número de tratamientos = 2 x 6 = 12 tratamientos

En el cuadro número siete se observa cada uno de los tratamientos evaluados. El número de repeticiones (bloques) se determinó, tomando en cuenta que los grados de libertad del error de la parcela pequeña deben ser mayores o iguales a doce (12), que de acuerdo al diseño experimental se calcula con la fórmula (Ezequiel, 2,008).

$$GLp = (a-1) (b-1) (r-1)$$

Donde:

GLp = Grados de libertad de la parcela pequeña
a = Aplicación de Acrilato de potasio (2 factores)
b = Materiales de Maíz (6 factores)
n = Número de repeticiones (bloques)
 $GLp = (2 - 1) (6 - 1) (6 - 1)$
 $GLp = 25$

5.2.4.3. Unidad experimental y aleatorización

El número total de unidades experimentales se determinó de la forma siguiente:

Unidades experimentales (UE) = No. tratamientos x No. bloques

Unidades experimentales (UE) = 12 tratamientos x 6 bloques

Unidades experimentales (UE) = 72

Tomando en cuenta la disponibilidad de área para llevar a cabo el experimento, así como los distanciamientos recomendados para investigación en maíz (CIMMYT, 1,985) se determinaron las siguientes dimensiones generales de la unidad experimental.

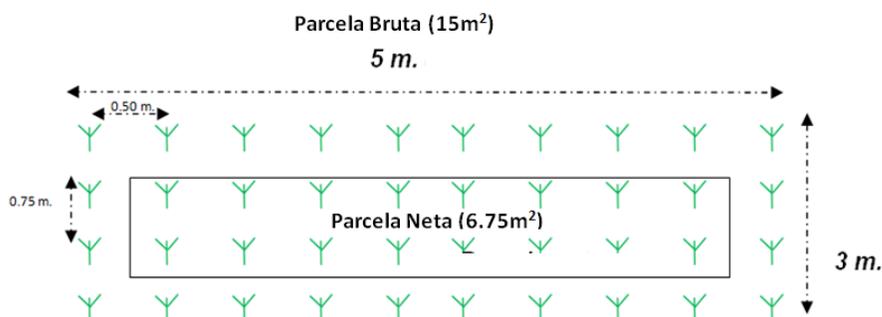


Figura 15: Dimensiones generales de la unidad experimental
Fuente: Autor, (2,013)

Según (CIMMYT, 1,985) los ensayos de maíz se deben sembrar en parcelas de cuatro surcos, donde los surcos deben ser de 5 metros de largo con un espaciado entre surcos de 0.75 metros y 0.50 metros entre plantas, dando un total de 10 plantas por surco, deben sembrarse 3 granos por postura y luego se ralea para que queden dos plantas por postura.

La unidad experimental tuvo una densidad de 20 plantas por surco, 80 plantas por unidad experimental. Como se observa en la figura número quince el área de la parcela bruta fue de 15 m² mientras que el área de la parcela neta fue de 6.75 m² para eliminar el efecto de borde entre cada unidad experimental, los surcos de la orilla de cada unidad experimental no fueron tomados en cuenta al momento de tomar datos, únicamente los surcos centrales de cada unidad experimental, los cuales construyeron la parcela neta.

Las unidades experimentales fueron distribuidas dentro de cada bloque en forma aleatoria, por lo que las dimensiones del área experimental fueron de

1,620 metros cuadrados con las seis repeticiones, en la figura número 16 se presentan las dimensiones de una sola repetición.

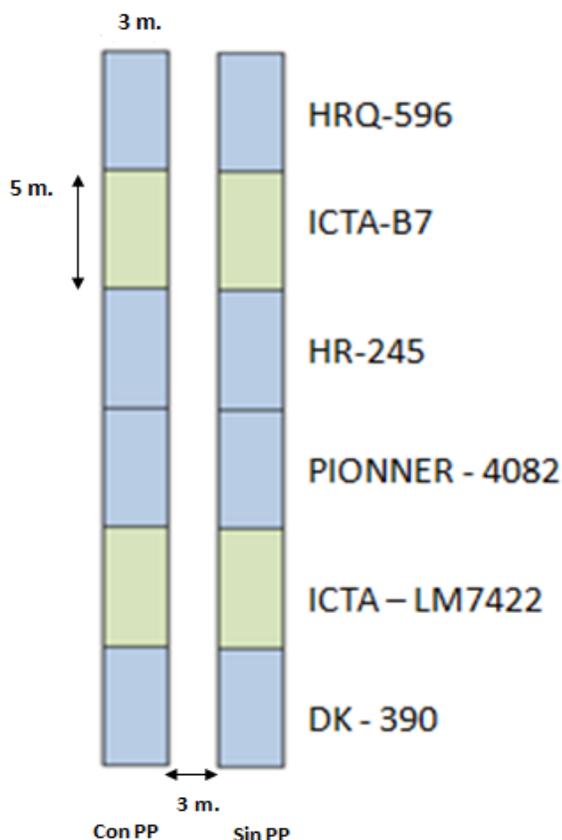


Figura 16: Dimensiones de una repetición del área experimental y distribución en campo de los tratamientos

Fuente: Autor, (2,013)

En la figura 16 se puede observar que cada bloque tuvo una longitud de 30 metros y un ancho de 3 metros, así también entre cada uno de los bloques se dejó un calle con distanciamiento de 3 m. por lo que el área experimental por repetición tuvo un largo de 30 m. y un ancho de 9 m. (270 m^2) por las seis repeticiones es un total de 1,620 metros cuadrados, además tomando en cuenta la distribución utilizada (arregló en franjas), se observó que en cada bloque la parcela grande está constituida por aquellos tratamientos (unidades experimentales) con la aplicación del Poliacrilato de potasio, mientras que la parcela pequeña lo constituyo los materiales de *Z. mays*.

5.2.4.4. Manejo agronómico de la investigación

Preparación del suelo y surqueo: La preparación del terreno consistió en realizar un paso de rastroarado con el fin de des compactar y mullir bien los terrones, seguidamente se surqueó a un distanciamiento de 0.75 m. (CIMMYT, 1,985).



Figura 17: a) Mecanización del área experimental b) elaboración de surcos a 0.75 m.
Fuente: Autor, (2013)

Trazo de las parcelas experimentales: El trazado consistió en delimitar las diferentes unidades experimentales con la ayuda de una cinta métrica, pita plástica y estacas, donde cada repetición quedó con dimensiones de 9 m. de ancho por 30 m. de largo, dentro de los cuales se ubicaron los tratamientos, entre cada tratamiento se dejó una calle de 3 metros esto para que se pudiera ingresar sin ningún problema al experimento.



Figura 18: a) Medición y colocación de estacas para delimitar las unidades experimentales b) unidades experimentales delimitadas.

Fuente: Autor, (2013)

Dosificación, hidratación y aplicación de poliacrilato de potasio

- De acuerdo a las especificaciones de (Aqua warehouse, 2009) la dosis recomendada para el cultivo de *Z. mays* es de 10 gr/metro lineal/litro de agua (133.33 kg/ha a un distanciamiento de 0.75 mts. entre surcos) por lo tanto se realizó la conversión y se hidrato en un tonel de 200 lt. dejándolo absorber por un periodo de 30 minutos como se puede observar en la figura veintiséis.
- Al tener hidratado el producto, se les diseño a los trabajadores de campo una medida especial que contenía un litro de poliacrilato de potasio hidratado, con el fin de que la aplicación fuera uniforme en todo el experimento, es importante resaltar que la aplicación se realizó antes de sembrar la semilla, a una profundidad entre 7 cm. a 12 cm. posteriormente se tapo con una capa de tierra para ejecutar la siembra.



Figura 19: hidratación del Poliacrilato de potasio en toneles
Fuente: Autor, (2013)



Figura 20: a) Medida de un litro para los trabajadores de campo b) aplicación por metro lineal de poliacrilato de potasio hidratado.

Fuente: Autor, (2013)



Figura 21: a) Poliacrilato de potasio hidratado distribuido a lo largo de las unidades experimentales b) tapado del poliacrilato de potasio.

Fuente: Autor, (2013)

Siembra: La siembra de la semilla fue la tradicional el cual consistió en colocar dos semillas por postura, para el ahoyado, se utilizó una macana o chuzo fabricada a base de madera, la densidad poblacional se realizó tomando en cuenta las recomendaciones de CIMMYT para el manejo de ensayos de *Z. mays* el cual es el siguiente: 0.75 m. entre surcos y 0.50 m. entre plantas para hacer un total de 26,667 posturas/ha.



Figura 22: Siembra tradicional de la semilla de *Z. mays*

Fuente: Autor, (2013)

Control de malezas: El control de malezas se llevó a cabo de forma manual y química, con la ayuda de machetes y azadones se realizaron cinco controles manuales con intervalos de 20 días entre cada control, mientras que para el control químico se realizaron dos aplicaciones utilizo Glufosinato de amonio (Basta® 15 SL) con dosis de 0.30 lts/ha. con intervalo de aplicación de 40 días.

Control de plagas y enfermedades: Para el control de plagas y enfermedades en el cultivo de *Z. mays* se aplicaron productos químicos contra el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y chinche de encaje (*Leptodyctia* sp.) especialmente, realizando una mezcla con los dos productos que a continuación se mencionan: Benzoilurea Profenofos, Lufenuron (CURYOM® 55 EC) con dosis de 0.30 l/ha y Tiametoxam Lambda-cihalotrina Coformulantes (ENGEOR® 24,7 SC) con dosis de 0.50 l/ha la primera aplicación de insecticida se aplicó a los 9 días después de la siembra y la segunda aplicación fue a los 30 días después de la siembra.

Fertilización: La fertilización del área experimental, se ejecutó en base a los requerimientos nutricionales del cultivo de *Z. mays*: 100 kg de N/ha, 40 kg de P₂O₅/ha y 0 kg de K₂O/ha (ICTA, 2002). La aplicación del fertilizante fue dirigida al suelo realizando un agujero alrededor de la planta, posteriormente estos fueron cubiertos con tierra para su mejor aprovechamiento.

Riego: No se aplicó ningún tipo de riego a las plantas, ya que se evaluó el poliacrilato de potasio como reservorio de agua en el suelo en condiciones de sequía.

Fases fenológicas del cultivo: Durante el manejo agronómico el cultivo atravesó por tres fases fenológicas las cuales fueron las siguientes: fase vegetativa, fase reproductiva y fase de llenado del grano. A continuación en la figura 23 se observa el crecimiento del cultivo a lo largo del ciclo de investigación.



Figura 23: Fases fenológicas del cultivo de *Z.mays* durante el ciclo de la investigación.

Fuente: Autor, (2013)

5.2.4.5. Análisis de las variables a evaluar

Algunas variables que a continuación se mencionan, las observaciones se realizaron sobre los dos surcos centrales incluyendo las plantas de los cabecales, mientras que otras variables la toma de datos fue en toda la parcela experimental, para tener mejor detalle, en el inciso de toma de datos se mencionan como se tomaron las lecturas de las variables que a continuación se mencionan:

- Altura de planta
- Altura de mazorca
- Acame de la raíz
- Acame del tallo
- Peso de campo
- % de humedad del grano

5.2.4.6. Toma de datos

La toma de datos se realizó antes y al momento de cosecha de maíz, dónde se tomaron los datos a la parcela neta, los datos a registrar por variable fueron los siguientes: (CIMMYT, 1,985)

Altura de planta: seleccionamos al azar de 5-10 plantas y midiendo la distancia desde su base al punto donde la espiga comienza a dividirse, la medición se tomó en centímetros. Cabe mencionar que dicha variable se tomó a cada semana para determinar la curva de crecimiento. (CIMMYT, 1,985)

Altura de mazorca: Para las mismas 5-10 plantas, cuya altura ya se medio, determinamos la distancia en centímetros desde la base de la planta al nudo con la mazorca más alta. La altura de la planta y la altura de la mazorca se medio a las dos semanas después de la floración. (CIMMYT, 1,985)

Acame de la raíz: Los datos sobre acame de raíz se tomaron al final del ciclo, antes de la cosecha, dónde registramos los números de plantas con una inclinación de 30° o más a partir de la perpendicular en la base de la planta donde comienza la zona radicular. (CIMMYT, 1,985)

Acame del tallo: registramos el número de plantas con tallos rotos debajo de las mazorcas, pero no más arriba, pueden haber algunas plantas débiles con tallos de poca calidad, pero que todavía no se han acamado, para identificarlas

se empujaron sus tallos suavemente y las plantas que se cayeron se contaron como plantas con acame del tallo. (CIMMYT, 1,985)

Peso de campo: Después de cosechar todas las mazorcas con olote de las unidades experimentales, se registro en kilogramos (ver figura 43 en anexos) el peso de cada una de las mismas, posteriormente los datos se ingresaron a la fórmula para determinación de rendimiento recomendada por (CIMMYT, 1,985)

Peso de sub-muestras, 0% de humedad: Tomamos 10 mazorcas de cada parcela, desgranando 2 hileras centrales de cada mazorca, mezclando el grano obtenido y con esta muestra a granel determinamos el porcentaje de humedad en el grano en el momento de la cosecha con un medidor de humedad portátil (ver figura 44 en anexos) ya que fue un dato importante para determinar el rendimiento de la unidad experimental. (CIMMYT, 1,985)

5.2.4.7. Análisis de la información

El análisis estadístico del factor A (Aplicación del acrilato de potasio) con el factor B (materiales genéticos de maíz) se llevó a cabo mediante un análisis de varianza (ANDEVA), para un diseño bifactorial con bloques completamente al azar y un arreglo en franjas, con el propósito de determinar la interacción entre el efecto del poliacrilato de potasio en los materiales genéticos de *Z. mays*.

El ANDEVA de las variables se realizó por medio del programa estadístico InfoStat, con un nivel de confianza del 95%. Para lo cual, se tabularon los datos de la variable respuesta en hojas electrónicas del Programa Microsoft Excel. Luego de la tabulación y ordenamiento de datos, en el programa Microsoft Excel, éstos fueron copiados al programa estadístico InfoStat por medio del cual se realizó el análisis estadístico de los datos.

Según Kempthorne (1952), citado por Ezequiel, (2,008) el modelo adecuado con dos factores y un diseño bloques completos al azar es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \rho_k + (\rho\beta)_{jk} + (\alpha\rho)_{ik} + (\alpha\beta\rho)_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Rendimiento en Kg/ha medido en la ijk – ésima de la unidad Experimental.

μ = Media general del rendimiento en Kg/ha

β_j = Efecto del j – ésimo bloque

α_i = Efecto del i – ésimo aplicación del poliacrilato de potasio.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción entre el i-ésimo aplicación del poliacrilato de potasio con el j - ésimo bloque, o sea, es el error experimental asociado a la aplicación del poliacrilato de potasio, tal que $(\alpha\beta)_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$ e independientes, es utilizado como error(a).

ρ_k = Efecto del k - ésimo material genético

$(\rho\beta)_{jk}$ = Efecto de la interacción entre el k-ésimo material genético con el j - ésimo bloque, o sea, es el error experimental asociado al material genético, tal que $(\rho\beta)_{jk} \sim N(0, \sigma^2)$ e independientes, es utilizado como error(b).

$(\alpha\rho)_{ik}$ = Efecto debido a la interacción del i-ésimo aplicación del poliacrilato de potasio con el k - ésimo material genético.

$(\alpha\beta\rho)_{ijk}$ = Error experimental asociado al rendimiento en Kg/ha Y_{ijk} , tal que $(\alpha\beta\rho)_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$ e independientes, es utilizado como término de error o residuo.

Debido a que el experimento se evaluó en dos épocas distintas (época lluviosa y época seca) con la misma estructura del diseño experimental, fue necesario analizar por separado el efecto que tiene el poliacrilato de potasio bajo la influencia de las dos épocas y luego realizar un análisis que las integre, por lo que se analizó por medio de un modelo de experimentos en serie y poder concluir para todo el año.

Según (CENGICANA, 2009) el modelo adecuado con dos factores y un diseño bloques completos al azar para experimentos en serie es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j / k + l_k + (\tau l)_{ik} + \epsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Rendimiento de maíz kg/ha referentes al i-ésimo material genético en el j-ésimo bloque o repetición de la k-ésima época

μ = media general

τ_i = efecto del i-ésimo material genético

β_j / k = efecto del j-ésimo bloque en la k-ésima época

l_k = efecto de la k-ésima época

$(\tau l)_{ik}$ = efecto de la interacción entre el i-ésimo material genético y la k-ésima época

ϵ_{ijk} = error experimental asociado a la observación Y_{ijk} .

5.2.4.8. Comparación múltiple de medias

De acuerdo al ANDEVA, en las variables donde se determinó diferencias significativas, se llevó a cabo una comparación múltiple de medias, para lo cual se realizó la prueba de Tukey, al 5% de significancia.

5.2.4.9. Análisis económico de la investigación

El horizonte de la investigación fue de aproximadamente 3 meses y medio por ciclo, durante este tiempo se contabilizaran los costos de preparación del suelo, siembra, mantenimiento del cultivo, cosecha, esto incluyen número de jornales por labor, materiales e insumos utilizados, con el fin de calcular el costo por hectárea de los tratamientos que tienen poliacrilato de potasio y el que no tiene poliacrilato de potasio, con esto se pretende determinar el costo de los tratamientos en función del rendimiento en kg/ha de cada uno de los materiales genéticos evaluados, además de comparar la rentabilidad (García, 2010) de la aplicación del poliacrilato de potasio, bajo las condiciones de La Máquina, Cuyotenango, Suchitepéquez. Utilizando la siguiente ecuación.

Rentabilidad: $((\text{Utilidades} - \text{Inversión}) / \text{Inversión}) \times 100$

VI. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Prueba de absorción de agua del poliacrilato de potasio.

Según (Aqua warehouse 2009) por cada gramo de producto debería absorber 500 veces su peso, esto significa que cada gramo puede absorber un volumen de 500 ml.

De acuerdo a los resultados de la prueba de absorción del poliacrilato de potasio y los límites de confianza al 95% se determinó que la capacidad máxima de absorción media del poliacrilato es de 122.16 ± 6.39 mililitros de agua por cada gramo. Esto nos indica que no absorbe 500 ml como lo describe el fabricante.

Además con la información que se determinó y de acuerdo a la dosis de aplicación del poliacrilato de potasio para el cultivo de *Z. mays* recomendada por Aqua warehouse (2009) podemos decir que el producto se encuentra sub-utilizado ya que 1 gramo de producto se está hidratando con 100 ml mientras que su potencial es absorber 122.16 ± 6.39 mililitros, lo que representaría mayor de agua por metro lineal en campo.

6.2. Monitoreo de la humedad disponible en el suelo por medio de un balance hídrico.

6.2.1. Evapotranspiración diaria en la localidad de La Máquina.

De acuerdo a las variables meteorológicas ingresadas al programa CROPWAT 8.0®, la evapotranspiración diaria se encuentra entre ± 4.01 a ± 6.04 mm/día desde marzo de 2013 a enero de 2014. Por ser los meses en que se llevaron los registros de evapotranspiración.

6.2.2. Cálculo de la capacidad máxima de retención de agua en el suelo.

En base a la información recopilada sobre análisis físico del suelo y valores óptimos de diseño se determinó que la Lámina de Humedad Aprovechable (LHA) por etapa fenológica del cultivo oscila entre 23.74 y 79.14 milímetros debido a que la demanda hídrica del cultivo se encuentra en función de la etapa fenológica, en el cuadro 24 en anexos se presenta el cálculo de la Lámina de Humedad Aprovechable (LHA), mientras que el Punto Crítico (PC) de humedad en el suelo oscila entre 10.68 a 35.61 milímetros de acuerdo a la etapa fenológica, presentando el cálculo del punto crítico en el cuadro 25 en anexos, sin embargo a continuación en el cuadro ocho se presenta el resumen del

análisis físico del suelo y los valores de diseño para monitorear la humedad en el suelo por medio del balance hídrico.

Cuadro 8: Valores de densidad aparente (Da), punto de marchitez permanente (PPM) y capacidad de campo (CC) según la textura del suelo, punto crítico (PC), lámina de humedad aprovechable (LHA), lámina de humedad rápidamente aprovechable (LHRA).

Lugar	Estrato	Textura (1)	Da (1)	% CC (1)	%PMP (1)	LHA (mm) (2)	LHRA (mm) (2)	PC (mm) (2)
Línea B-6 La Máquina	0-100	Arcilloso	1.04	31.09	23.48	23.74 - 79.14	47.74	10.68 - 35.61

Fuente: 1 (CENGICAÑA, 2013) 2 (Autor, 2013)

6.3. Evaluación del efecto del poliacrilato de potasio en materiales genéticos de *Z. mays* bajo condiciones de la época lluviosa del año 2013.

6.3.1. Registro de la precipitación

Al registrar las precipitaciones durante el ciclo del cultivo y determinar la precipitación efectiva, estas fueron sumadas de acuerdo a la fase fenológica del cultivo, presentándose a continuación en el cuadro nueve.

Cuadro 9: Comportamiento de la precipitación pluvial durante las fases fenológicas del cultivo de *Z. mays* en época lluviosa y su requerimiento hídrico.

	Vegetativa	Reproductiva	Llenado de grano	Total
Días que dura cada fase (3)	20	35	40	95
Requerimiento hídrico (1)	300	200	200	700
Precipitación registrada en cada fase (2)	198	475	262	935

Fuente: 1 (ICTA, 2002), 2 (Datos de campo, 2013) 3 (FAO,2006)

La precipitación registrada durante el tiempo de investigación en la época lluviosa fue la siguiente: fase vegetativa 198 milímetros, fase reproductiva 475 milímetros y la fase de llenado de grano 262 milímetros, esto nos indica que en la fase vegetativa existió un déficit hídrico del -34% con respecto a lo que demanda el cultivo de *Z. mays*, en la segunda fase hubo exceso de 137.5% y en la última fase también existió un exceso del 31%.

Al sumar las tres fases fenológicas se identificó que la época lluviosa aportó 935 milímetros de 700 milímetros que demanda el cultivo de *Z. mays* durante su ciclo de vida, es importante resaltar que a pesar que el acumulado de las lluvias durante las tres fases fenológicas nos demuestra que sobrepasó la demanda hídrica del cultivo, en el balance hídrico donde se integran factores como evapotranspiración diaria, precipitación efectiva y la capacidad máxima de retención de humedad del suelo observaremos el comportamiento de la humedad en el suelo para determinar si existió un exceso o déficit hídrico durante las cuatro fases fenológicas que atraviesa el cultivo de *Z. mays*, en la figura 24 se presenta el comportamiento gráfico de la precipitación y la evapotranspiración diaria durante la época lluviosa.

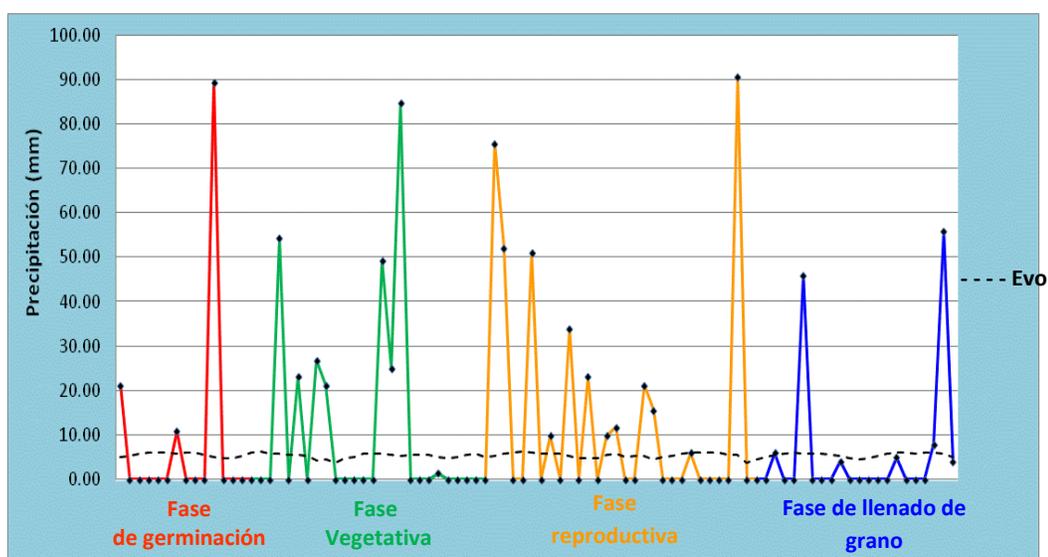


Figura 24: Comportamiento de la precipitación pluvial y evapotranspiración durante las fases fenológicas del cultivo de *Z. mays* en la época lluviosa.

Fuente: Autor, (2013)

6.3.2. Comportamiento balance hídrico durante el ciclo del cultivo.

Después de calcular la evapotranspiración diaria, precipitación efectiva y la capacidad máxima de retención de humedad del suelo, se integro la información y como resultado se obtuvo el comportamiento de la humedad en el suelo durante las tres fases fenológicas del cultivo. (figura 25)

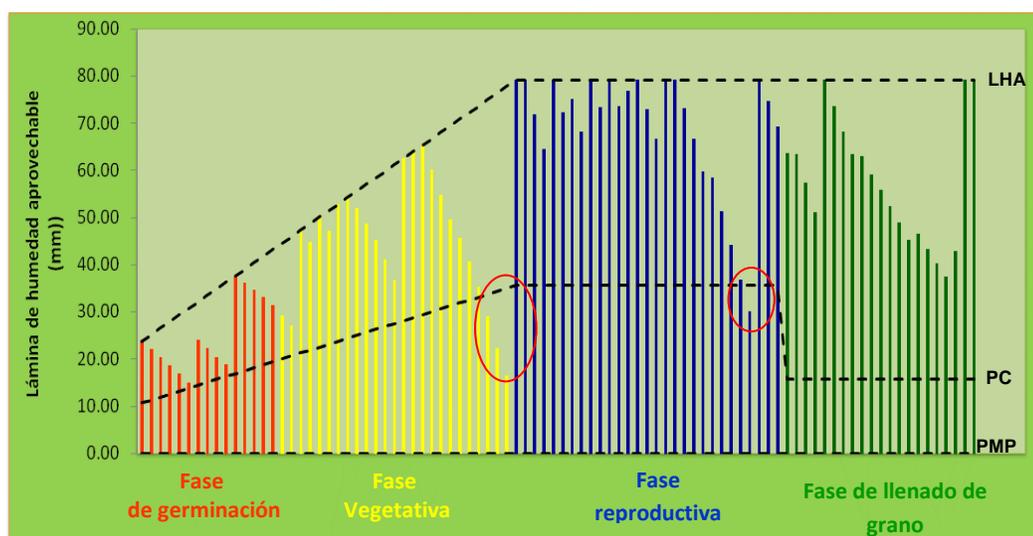


Figura 25: Comportamiento del balance hídrico durante las fases fenológicas del cultivo de *Z. mays* en la época lluviosa.

Fuente: Autor, (2013)

Para la época lluviosa del año 2013 en la fase de germinación y gran parte de la fase vegetativa del cultivo de *Z. mays*, no se observó déficit hídrico, sin embargo al finalizar la fase vegetativa se observa un déficit de tres días equivalentes a 22.5 milímetros, sabiendo que el poliacrilato de potasio únicamente puede aportar 1.33 milímetros el déficit hídrico en los tratamientos con poliacrilato de potasio fue de -21.17 milímetros y los tratamientos sin poliacrilato de potasio el déficit fue de -22.5 milímetros, estos valores nos demuestran que la humedad en el suelo que tuvo el cultivo durante la primera fase fue aprovechada sin afectar el proceso de germinación y establecimiento del cultivo, pero en la fase vegetativa el déficit hídrico que se observó pudo ver afectado la expansión del follaje, la producción de biomasa el cual está altamente correlacionada con el tamaño final de la mazorca, ICTA (2002) por lo que en esta segunda fase de crecimiento el cultivo no se desarrolló a su máximo potencial.

Al inicio de la fase reproductiva se observó que se registraron lluvias lo que provocó que la humedad en el suelo estuviera por arriba del punto crítico de humedad, así fueron disminuyendo las lluvias hasta que al final de la fase reproductiva rebasó el punto crítico de humedad, donde la demanda hídrica fue de 6.89 milímetros y el poliacrilato de potasio aportó solamente 1.33 milímetros por lo que el déficit en los tratamientos con poliacrilato de potasio fue de -5.56 milímetros y los tratamientos sin poliacrilato de potasio el déficit fue de -6.89 milímetros.

El déficit hídrico que sufrió la fase reproductiva posiblemente afectó en el proceso de la emisión de polen y la salida de los estigmas ya que según ICTA

(2002) la polinización es una fase extremadamente sensitiva al efecto que puedan causar los estreses ambientales tales como la sequía, que puede afectar negativamente al rendimiento, por lo tanto en el experimento realizado en época lluviosa no se pueden esperar los máximos rendimientos de los genotipos ya que se vio afectada la fase vegetativa y reproductiva por un estrés hídrico.

El comportamiento del balance hídrico en la fase de llenado de grano se puede ver que la presencia regular de las lluvias, ocasiono que la humedad en el suelo estuviera por arriba del punto crítico de humedad en el suelo, por lo que el peso del grano y de la mazorca estará en función de los efectos del déficit de humedad que se tuvo durante las fases vegetativa y reproductiva, siendo estas las más sensibles para la determinación del rendimiento.

Al final nos demuestra que durante el tiempo de este experimento realizado en época lluviosa se evidenciaron dos puntos de déficit hídrico donde la demanda del cultivo fue mayor a la que aportó el poliacrilato de potasio cuyos efectos inciden directamente en el rendimiento de los genotipos evaluados.

Análisis de variables vegetativas.

Al finalizar el ciclo del cultivo se analizaron variables vegetativas como: altura de planta, altura de la mazorca, acame del tallo, acame de la raíz, cobertura de mazorca, con la finalidad de determinar si causa algún tipo de efecto el poliacrilato de potasio en el cultivo de *Z. mays*, a continuación en la figura 26 se presentan las alturas de plantas promedio de los tratamientos bajo el efecto del poliacrilato de potasio el cual fueron; con poliacrilato de potasio y sin poliacrilato de potasio).

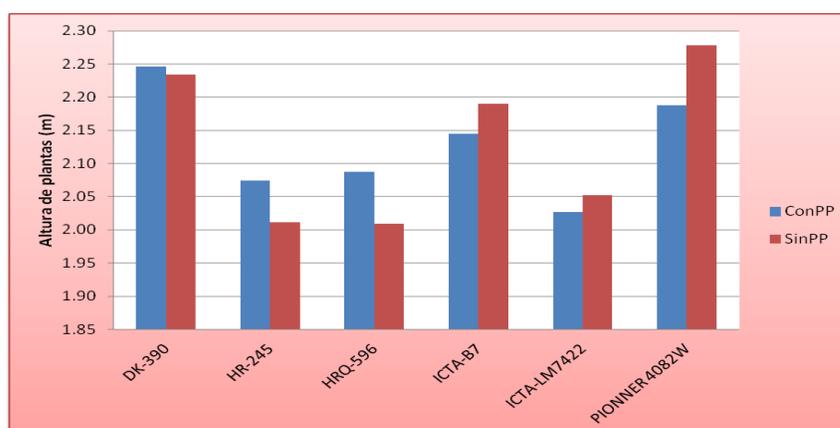


Figura 26: Altura de plantas por tratamientos y materiales genéticos.

Fuente: Autor, 2013

Para analizar estadísticamente las medias de cada tratamiento presentadas en la figura 26 se realizó un análisis de varianza ANDEVA con un nivel de confianza del 95% y con un nivel de error del 5%, presentándose a continuación en el cuadro diez el resumen del análisis de varianza.

Cuadro 10: Resumen del análisis de varianza para la variable altura de plantas en la época lluviosa.

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor	
Modelo.	1	47	0.02	2.12	0.0245	
Factor A (aplicación del poliacrilato de potasio)	3.30E-04	1	3.30E-04	0.07	0.8083	N.S.
Factor B (materiales genéticos de maíz)	0.28	5	0.06	4.99	0.0026	**
Factor A*Factor B (aplicación del poliacrilato de potasio) X (materiales genéticos de maíz)	0.06	5	0.01	1.28	0.3032	N.S.
CV	4.69%					

NS: Diferencia no significativa

****:** Diferencia altamente significativa

Fuente: Autor, (2013)

Según el análisis de varianza ANDEVA se determinó que para la variable altura de plantas en los niveles del factor A: (aplicación del poliacrilato de potasio) y la interacción de AxB, no mostró diferencia significativa y el factor B (materiales genéticos de *Z. mays*) mostró una diferencia altamente significativa.

Esto nos demuestra que estadísticamente la altura de plantas bajo la aplicación del poliacrilato de potasio no sufre algún efecto o variación en cuanto a las características fenotípicas expresadas por cada material de *Z.mays* como resultado de su mejoramiento genético, ya que las alturas de los materiales sin la aplicación del poliacrilato de potasio fueron muy parecidas que estadísticamente es no significativo.

Al identificar significancia entre los niveles del factor B (materiales genéticos de *Z. mays*) se realizó una prueba múltiple de medias tukey al 95% de confianza, para determinar los materiales con mayor altura, presentando los resultados en el cuadro once.

Cuadro 11: Resultado de la prueba múltiple de medias para la variable altura de plantas en la época lluviosa.

Factor B (materiales genéticos)	Medias según la literatura (m.)	Medias de acuerdo al experimento (m.)	Grupos	
PIONNER 4082W	2.40 - 2.60	2.23	A	
DK-390	2.15 - 2.25	2.22	A	
ICTA-B7	2.17	2.17	A	
HRQ-596	2.25 - 2.35	2.05±0.9		B
HR-245	2.20 - 2.35	2.05±0.7		B
LM-7422	2.20	2.05		B

Fuente: Autor, (2013)

Según la prueba de tukey para la variable respuesta altura de plantas, los materiales genéticos que sobresalieron de manera significativa con respecto a su altura se encuentra el grupo A conformado por los híbridos PIONNER 4082W, DK-390 y la variedad ICTA-B7, con medias de 2.23 m, 2.22 m y 2.17 m, siguieron a estos el grupo B formado por los híbridos HRQ-596, HR-245 y la variedad ICTA-LM7422, con medias de 2.05 metros y decimales.

En el cuadro once se presenta una columna con las alturas de plantas promedio reportadas por las casas comerciales para cada material y en otra columna se presenta la altura de plantas promedio registradas bajo la evaluación, identificando que los materiales DK-390 e ICTA-B7 se encuentran dentro del rango con respecto a la altura reportada por el distribuidor, el resto de materiales se encuentra fuera del rango con una diferencia entre -6.82% a -7.08% para alcanzar las alturas reportadas.

La diferencia entre las alturas de plantas reportadas según la literatura y las alturas de plantas de acuerdo al experimento posiblemente se asocian a diferentes factores como: adaptabilidad y desarrollo de los materiales genéticos bajo los ambientes en los que fueron evaluados para determinar la altura de plantas, la metodología para medir las alturas por las diferentes casas comerciales y el principal factor se asocia al déficit hídrico que atravesó el cultivo en la fase vegetativa (ver figura 25) que pudo ocasionar que los diferentes genotipos no expresaran su mayor crecimiento al verse afectada dicha fase de crecimiento.

Lo que también nos demuestran los resultados de la prueba de medias, es que los materiales de porte alto como el DK-390, PIONNER-4082W pueden ser

susceptibles a problemas de acame causado por los fuertes vientos. En la localidad de la Máquina el segundo problema que afrontan los agricultores (62%) es el problema de fuertes vientos, (MAGA, 2012). Por lo que esos materiales deben tomarse en cuenta antes de decidir su explotación comercial.

Para la variable respuesta altura de mazorca también se realizó un análisis de varianza ANDEVA con el 95% de confianza, dando como resultado que los niveles del factor A: (aplicación del poliacrilato de potasio) el factor B (materiales genéticos de *Z. mays*) y la interacción entre factores AxB estadísticamente no hubo diferencia significativa, lo cual nos demuestra que la altura de las mazorcas en los diferentes materiales genéticos no se ve afectado bajo la influencia del poliacrilato de potasio ni por el material genético ya que las medias de las alturas son muy similares como se puede observar en la figura 27.

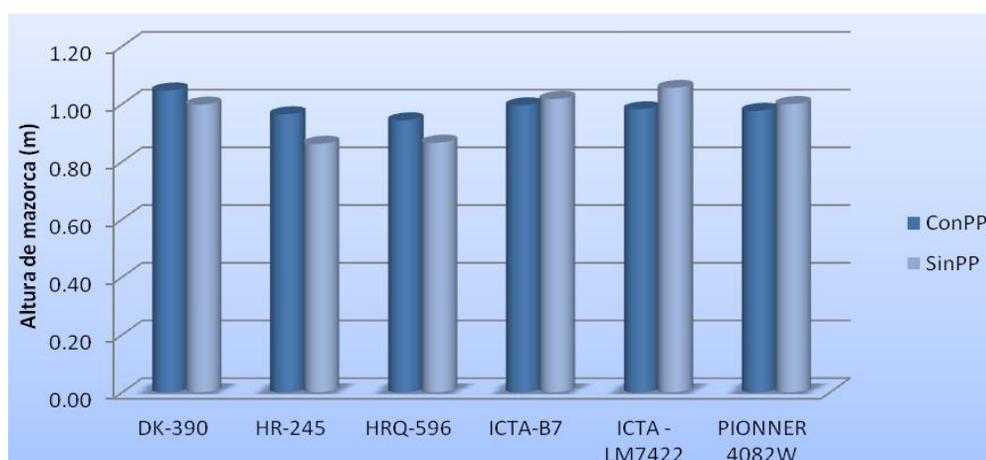


Figura 27: Altura de mazorcas por tratamiento con y sin poliacrilato de potasio.
Fuente: Autor, 2013

Aunque no existió diferencia significativa entre tratamientos con y sin la aplicación del poliacrilato de potasio con respecto a la altura de mazorcas, en el cuadro doce se presentan los promedios de las alturas de mazorcas reportadas para cada material según los distribuidores y las medias obtenidas en la evaluación.

Cuadro 12: Medias de altura de mazorcas según la literatura y las reportadas en el experimento.

Material genético	Medias según la literatura (m.)	Medias de acuerdo al experimento (m.)
DK-390	1.30	1.02
ICTA-LM7422	1.20	1.02
ICTA-B7	1.18	1.01
PIONNER 4082W	1.30	0.99
HR-245	1.15	0.91
HRQ-596	1.30	0.9

Fuente: Autor, (2013)

De acuerdo al cuadro doce se puede observar que ningún material genético coincide con las medias de altura de mazorca reportada para cada material genético, la diferencia entre alturas se encuentra entre -15% a -30.77% lo que también nos indica que las diferencias entre alturas de mazorcas, se deba a diferentes factores como: el clima y suelos en los que fueron evaluados los materiales para determinar la altura de mazorca, la metodología para la medición de la altura de mazorcas y el déficit hídrico que atravesó el cultivo en la fase vegetativa que pudo ocasionar que los diferentes genotipos no expresaran su mayor crecimiento.

Mientras tanto para las variables cobertura de mazorca, acame del tallo y acame de la raíz no se realizó el análisis de varianza ya que al momento de su medición se observó que en ninguna unidad experimental se presentaba una inclinación de 30° o más a partir de la perpendicular en la base de la planta, donde comienza la zona radical para tomarlo como acame de raíz y en el acame de tallo tampoco se observaron tallos rotos por debajo de las mazorcas.

En el caso de la cobertura de mazorca se observó que las unidades experimentales mostraban una cobertura de mazorca excelente, según la escala de CIMMYT, 1995 el cual se presenta en la figura 45 en anexos.

Llegada la madurez fisiológica del cultivo se procedió a determinar el rendimiento de las unidades experimentales bajo la aplicación del poliacrilato de potasio y sin su aplicación, dando como resultado los rendimientos (kg/ha) que se presentan a continuación en la figura 28 por medio una gráfica de barras donde podemos ver las diferencias entre tratamientos y la comparación con el rendimiento local.

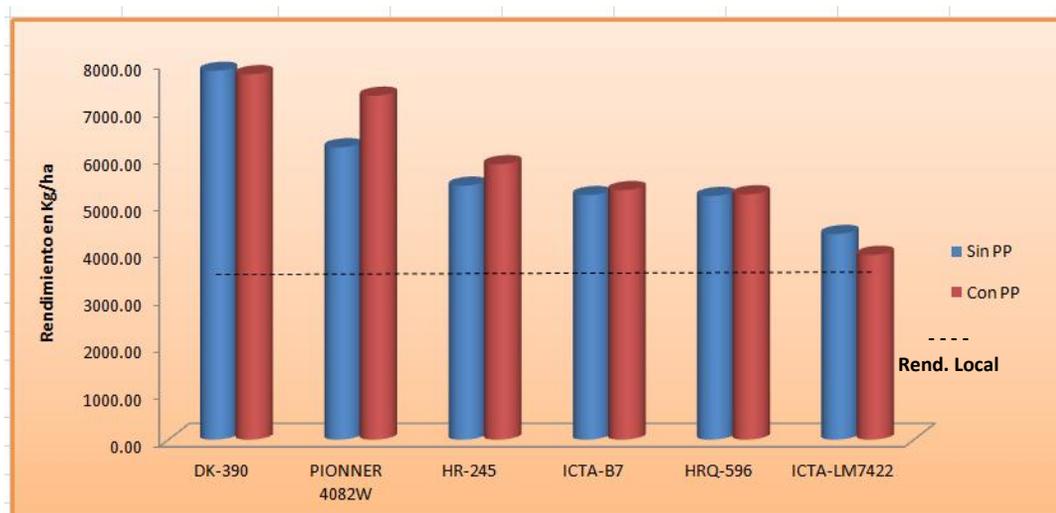


Figura 28: Rendimiento de los materiales genéticos bajo los tratamientos de poliacrilato de potasio.

Fuente: Autor, (2013)

Como se puede observar en la figura 28 los materiales genéticos DK-390 e ICTA LM-7422 su mejor rendimiento expresado fue bajo el efecto del tratamiento que no lleva poliacrilato de potasio, superando en un 0.94% y un 10.18% al tratamiento que se le fue aplicado el poliacrilato de potasio.

Mientras que los materiales genéticos PIONNER 4082W, HR-245, ICTA-B7, HRQ-596 su mejor rendimiento expresado fue bajo el efecto del tratamiento que si lleva poliacrilato de potasio, superando en un 15%, 7.29%, 2% y 0.71% al tratamiento que no se le fue aplicado el poliacrilato de potasio.

De acuerdo a las diferencias entre tratamientos en época lluviosa para el año 2013 en la localidad de La Máquina se puede observar que las diferencias fueron muy parecidas ya que con la aplicación del poliacrilato de potasio no aumento hasta en un 110% su rendimiento como lo indica (Aqua warehouse 2009).

Sin embargo el rendimiento local según (MAGA, 2013) es de 3,311.69 kg/ha, esto demuestra que el rendimiento obtenido supera en un 20% a 57% el rendimiento local, bajo los requerimientos agronómicos óptimos para el cultivo de *Z. mays* con y sin el efecto del poliacrilato de potasio.

Al conocer los rendimientos de los tratamientos en evaluación se procedió a realizar el análisis estadístico por medio del análisis de varianza (ANDEVA) con un nivel de error del 5% y un nivel de confianza del 95% dándonos como resultado la siguiente información.

Cuadro 13: Resumen del análisis de varianza para la variable rendimiento

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Factor A (aplicación del poliacrilato de potasio)	122198.54	1	122198.54	0.17	0.6974	NS
Factor B (materiales genéticos de maíz)	14044399.4	5	2808879.89	19.89	<0.0001	**
Factor A*Factor B (aplicación del poliacrilato de potasio) X (materiales genéticos de maíz)	1228726.61	5	245745.32	1.64	0.1877	NS
CV	6.7					

Fuente: Autor, (2013)

NS: Diferencia no significativa

****:** Diferencia altamente significativa

Según el análisis de varianza con un nivel de confianza del 95% y un coeficiente de variación del 6.7% entre la aplicación de con y sin poliacrilato de potasio estadísticamente no mostró diferencia significativa para la variable rendimiento, por lo tanto para la época lluviosa del año 2013 en Centro Uno La Máquina con y sin poliacrilato de potasio incorporado al suelo el rendimiento del cultivo de *Z. mays* es igual estadísticamente.

Este resultado no significativo entre los tratamientos con y sin poliacrilato de potasio, se debe a las condiciones bajo las que estuvo expuesto el poliacrilato de potasio y la dosis que se utilizó ya que según Aqua warehouse, (2009) el agua que se encuentra almacenada en la red de polímeros es liberada hasta un 95% cuando se presenta déficit hídrico, sin embargo en la figura 25 se observó que durante el ciclo del cultivo la mayor parte la humedad en el suelo estuvo por arriba del punto crítico, provocando que el poliacrilato de potasio no liberó el agua almacenada en su red de polímeros en la mayor parte del cultivo.

Pero a lo largo del ciclo del cultivo se presentaron dos puntos de déficit hídrico, uno en la fase vegetativa y otro en la fase reproductiva donde la demanda del cultivo fue mayor de lo que puede aportar el poliacrilato de potasio, provocando que los genotipos no pudieran expresar su máximo desarrollo y rendimiento, ya que la dosis recomendada para el cultivo de *Z. mays* según Aqua warehouse, (2009) bajo las condiciones de la localidad de La Máquina, no fue suficiente para suplir la demanda hídrica del cultivo al momento de presentarse un déficit, debido a que el total de lámina de agua que demanda el cultivo por los cuatro días fue de 29.39 milímetros y el poliacrilato de potasio únicamente tiene la capacidad de aportar 1.33 milímetros lo que se traduce a un déficit de -28.06 milímetros.

Con esta información nos permite identificar que para condiciones de época lluviosa donde normalmente los suelos se encuentran saturados de humedad el

poliacrilato de potasio es un material inerte que no causa algún efecto o variación en el rendimiento del cultivo de *Z. mays* o en la salud del cultivo.

De acuerdo al análisis de varianza entre los diferentes materiales genéticos evaluados estadísticamente existió una diferencia altamente significativa para la variable rendimiento, esta diferencia entre los rendimientos se debe a la variabilidad genética que existe en entre cada material, ya que cada genotipo tiene sus propias características, tanto fenológicas y de rendimiento principalmente que influyen en factores que determinan rendimiento de un material como lo es; el tamaño de la mazorca, número de mazorcas cosechadas, número de hileras, peso del grano, siendo diferentes para cada uno.

Al identificar significancia entre los rendimientos de los materiales genéticos de *Z. mays* se realizó una prueba múltiple de medias tukey al 95% de confianza, para determinar los materiales que presentaron mayor rendimiento, presentando los resultados en el cuadro catorce.

Cuadro 14: Prueba múltiple de medias para la variable rendimiento kg/ha.

Factor B	Medias según la literatura (kg/ha)	Medias de acuerdo al experimento (kg/ha)	Familias		
DK-390	7143	6976.76	A		
PIONNER 4082W	6493	6523.1	A		
HR-245	5844	5676.05		B	
ICTA-B7	5384	5410.37		B	
HRQ-596	6819	5405.53		B	
LM-7422	3897	4679.85			C

Fuente: Autor, (2013)

De acuerdo a la prueba de medias para los materiales genéticos evaluados, se determinó que en cuanto al rendimiento sobresalieron de manera significativa el grupo A conformado por los híbridos DK-390, PIONNER 4082W con medias de 6976.76 kg/ha y 6523.1 kg/ha siguieron a estos el grupo B formado por el híbrido HR-245 la variedad ICTA-B7 y el híbrido HRQ-596 con medias de 5676.05 kg/ha 5410.37 kg/ha y 5405.53 kg/ha, por último el grupo C formado por la variedad ICTA-LM7422 con una media de 4679.85 kg/ha.

Al comparar los rendimientos obtenidos en el experimento con los rendimientos que reportan las casas comerciales, se determinó que el híbrido PIONNER-4082W y las variedades ICTA-B7 e ICTA-LM7422 superaron en un 0.46%,

0.49% y un 20.09% a los rendimientos que indican las casa comerciales, mientras que los híbridos DK-390, HR-245 y HRQ-596 se tuvo una diferencia de -2.33%, -2.87% y -20.73% para alcanzar los rendimientos que se reportan. Los valores antes mencionados nos demuestran que el rendimiento obtenido en el experimento bajo la influencia de la época lluviosa no se encuentran tan lejos de los rendimientos reportados, lo que indica que pueden ser potencialmente explotados comercialmente en base a los requerimientos óptimos del cultivo y en donde las reducciones se puede asociar al déficit de agua en la etapa reproductiva pero que no afectó al híbrido PIONNER-4082W y las variedades ICTA-B7 e ICTA-LM7422.

En cuanto a la interacción entre la aplicación del poliacrilato de potasio y los materiales genéticos de *Z. mays* estadísticamente no hubo diferencia significativa, por lo que indica que en época lluviosa la aplicación del poliacrilato de potasio no influye en el rendimiento de los materiales genéticos evaluados, debido a que no existió periodos largos de déficit de agua por lo que no fue posible evaluar los efectos del poliacrilato de potasio ante tal situación

6.4. Resultados de la segunda fase de evaluación del efecto del poliacrilato de potasio en materiales genéticos de *Z. mays* bajo las condiciones de la época seca.

6.4.1. Monitoreo de la humedad disponible en el suelo por medio de un balance hídrico.

6.4.1.1. Registro de la precipitación

Al registrar las precipitaciones durante el ciclo del cultivo y determinar la precipitación efectiva, estas fueron sumadas de acuerdo a la fase fenológica del cultivo, presentándose a continuación en el cuadro quince.

Cuadro 15: Comportamiento de la precipitación pluvial durante las fases fenológicas del cultivo de *Z. mays* y su requerimiento hídrico en la época seca.

	Vegetativa	Reproductiva	Llenado de grano	Total
Días que dura cada fase (1)	28	38	60	
Requerimiento hídrico (1)	300	200	200	700
Precipitación registrada en cada fase (2)	248.30	69.46	0	317.76

Fuente: 1 (ICTA, 2002), 2 (Datos de campo, 2013)

En este segundo experimento se determinó que el acumulado de las precipitaciones fue menor, contabilizando que en la fase vegetativa se tuvo un acumulado de 248.30 milímetros faltando un 17% para llegar al requerimiento hídrico de la fase vegetativa, en la fase reproductiva se tuvo un acumulado de 69.46 milímetros y por último la fase del llenado de grano se tuvo un acumulado de 0 milímetros, faltando un -65% y -100 % para llegar a los requerimientos hídricos de cada fase.

En la figura 29 se presenta el comportamiento de la precipitación y evapotranspiración durante las cuatro fases fenológicas que atraviesa el cultivo de *Z. mays* en esta segunda etapa de investigación realizada en época seca.

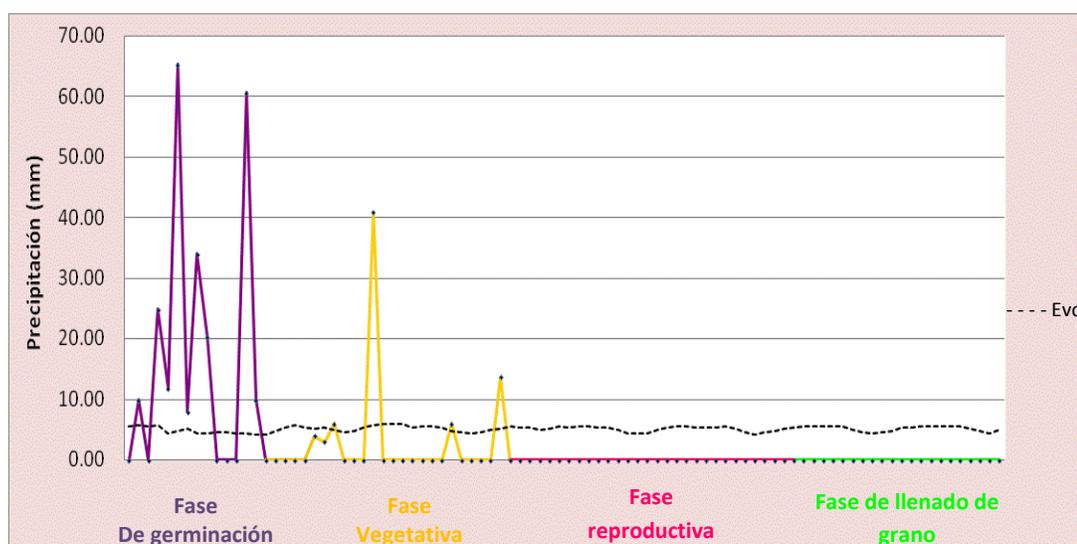


Figura 29: Comportamiento de la precipitación y evapotranspiración en las diferentes fases fenológicas en el cultivo de *Z mays* en la época seca.

Fuente: Autor, (2013)

6.4.1.2. Comportamiento balance hídrico durante el ciclo del cultivo.

En la figura 30 se presenta el comportamiento de la humedad en el suelo según el balance hídrico realizado a lo largo de las fases fenológicas que atravesó el cultivo de *Z. mays*

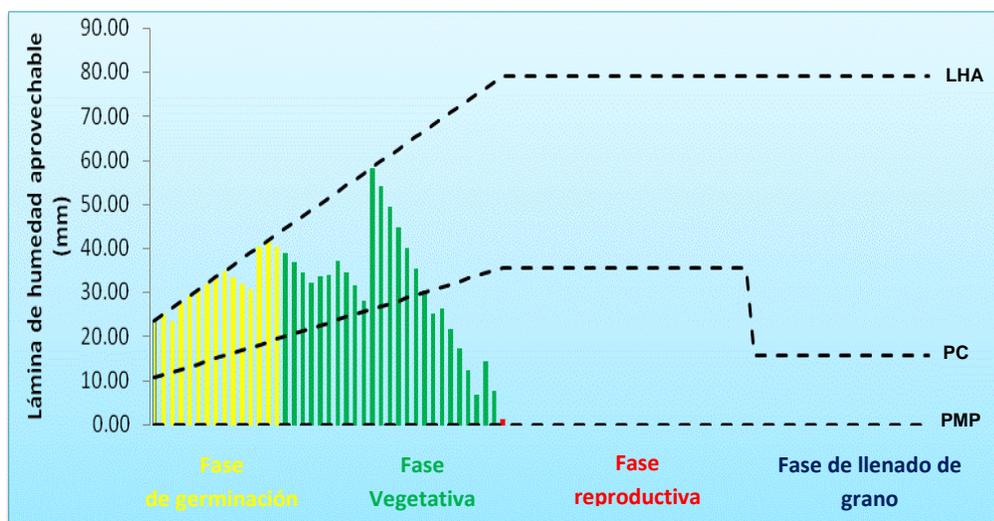


Figura 30: Comportamiento del balance hídrico durante las fases fenológicas del cultivo de *Z mays* en la época seca.

Fuente: Autor, (2013)

El balance hídrico refleja que durante los días que tarda la fase de germinación la humedad en el suelo estuvo por arriba del punto crítico de humedad, existiendo agua disponible para que no se viera afectado el proceso de germinación y establecimiento del cultivo.

A un inicio de la fase vegetativa la humedad en el suelo se encontraba por arriba del punto crítico, pero las lluvias fueron disminuyendo hasta que en el día 18 se alcanzó el punto crítico hasta terminar dicha fase por abajo del punto crítico de humedad.

Al iniciar la fase reproductiva y no existir presencia de lluvias, la humedad en el suelo llegó a punto de marchitez permanente hasta alcanzar la fase de llenado de grano con las mismas condiciones, según Sandoval, (1994) cuando se rebasan los límites de punto de marchitez permanente es el contenido de humedad del suelo al que las plantas no pueden obtener suficiente humedad para satisfacer sus requerimientos de transpiración ocasionando que las plantas se marchiten y que no sean capaces de recuperarse, además ICTA, (2002) dice que el momento crítico de estrés por sequía en el cultivo de *Z. mays* se inicia en la fase reproductiva ya que es en esta etapa donde depende el desarrollo, la polinización y el llenado de granos que influye directamente en los rendimientos de un material genético

Al darse las condiciones de sequía en esta segunda fase del experimento a partir de día 18 en la fase vegetativa hasta llegar a la fase reproductiva y fase de llenado de grano la demanda hídrica del cultivo fue de 471.9 milímetros durante el tiempo antes mencionado, sin embargo la dosis aplicada nos aporta una lámina de 1.33 milímetros, lo cual indica que los tratamientos con poliacrilato de potasio tuvieron un déficit de -470.57 milímetros y los tratamientos sin poliacrilato de potasio el déficit fue de -471.9 milímetros, estas cifras reflejan que la dosis que se recomienda para el cultivo de *Z. mays* no es suficiente para suplir la necesidad hídrica del cultivo cuando se presenta un evento de sequía prolongada.

A continuación se presentan los resultados de la segunda fase de evaluación del efecto del poliacrilato de potasio en materiales genéticos de *Z. mays* bajo las condiciones de época seca.

Análisis de variables vegetativas.

Para esta segunda fase de investigación, también se analizaron variables vegetativas como: altura de planta, altura de la mazorca, acame del tallo, acame de la raíz, cobertura de mazorca con la finalidad de determinar si bajo condiciones de sequía existe alguna diferencia entre aplicar o no aplicar poliacrilato de potasio en el cultivo de *Z.mays*.

A continuación en las figuras 31 y 32 se presentan las alturas de plantas y altura de mazorcas promedio de los tratamientos bajo el efecto del poliacrilato de potasio el cual fueron; con poliacrilato de potasio y sin poliacrilato de potasio.

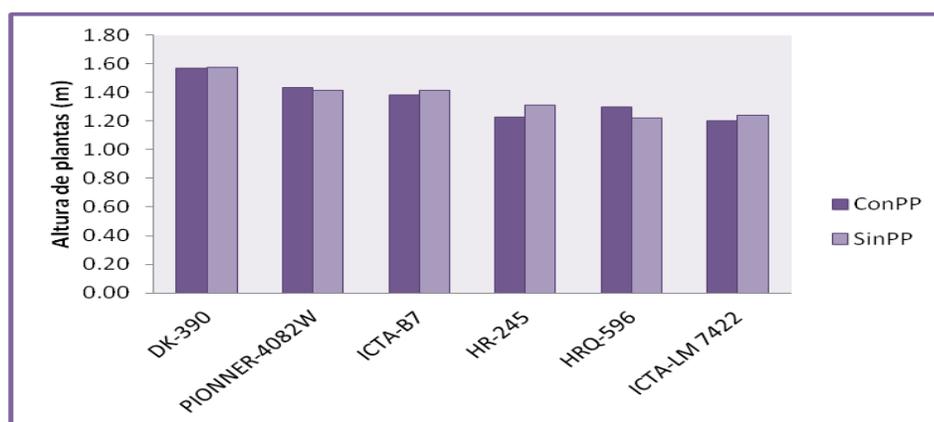


Figura 31: Altura de plantas por tratamientos y materiales genéticos en la época seca.

Fuente: Autor, 2013

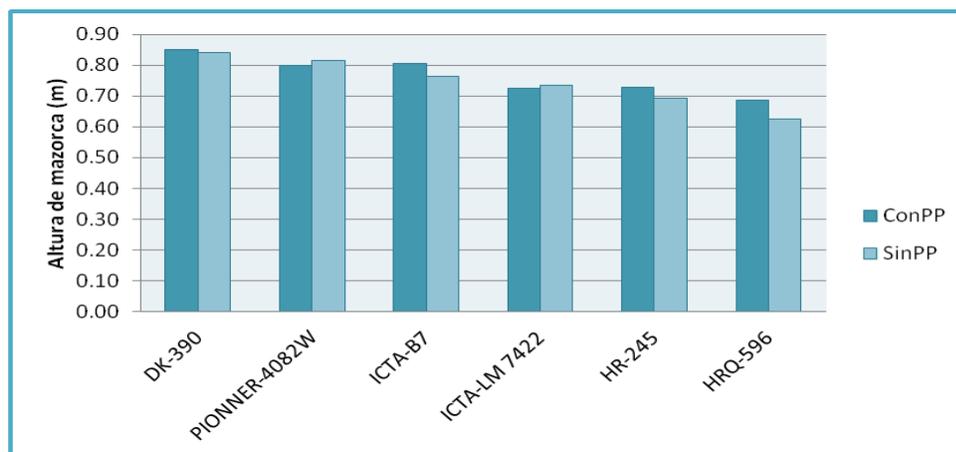


Figura 32: Altura de mazorcas por tratamientos y materiales genéticos en la época seca.

Fuente: Autor, 2013

Para analizar estadísticamente las medias de cada tratamiento presentadas en las figuras 31 y 32 se realizó un análisis de varianza ANDEVA con un nivel de confianza del 95% y con un nivel de error del 5%, presentándose a continuación en el cuadro 16 el resumen del análisis de varianza para las dos variables repuesta.

Cuadro 16: Resumen del análisis de varianza para la variable altura de plantas y altura de mazorcas en la época seca.

Altura de Plantas			
F.V.	CM	p-valor	Significancia
Factor A (aplicación del poliacrilato de potasio)	3.10E-03	0.5685	N.S.
Factor B (materiales genéticos de maíz)	0.18	<0.0001	**
Factor A*Factor B (aplicación del poliacrilato de potasio) X (materiales genéticos de maíz)	0.01	0.6993	N.S.
Cv.	7.76%		
Altura de Mazorcas			
F.V.	CM	p-valor	Significancia
Factor A (aplicación del poliacrilato de potasio)	0.01	0.373	N.S.
Factor B (materiales genéticos de maíz)	0.03	0.0012	*
Factor A*Factor B (aplicación del poliacrilato de potasio) X (materiales genéticos de maíz)	2.30E-03	0.6601	N.S.
Cv.	7.82%		

NS: Diferencia no significativa

* Diferencia significativa

** Diferencia altamente significativa

Fuente: Autor, (2013)

Según el análisis de varianza ANDEVA se determinó que para las variables altura de plantas y altura de mazorcas en los niveles del factor A: (aplicación del poliacrilato de potasio) y la interacción de AxB no mostró diferencia significativa mientras que para el factor B (materiales genéticos de *Z. mays*) la variable altura de plantas mostro una diferencia altamente significativa y la variable altura de mazorcas mostró una diferencia significativa.

Esto nos demuestra estadísticamente que aplicar o no aplicar poliacrilato de potasio en época seca no se marcan diferencias en cuanto a la altura de plantas y altura de mazorcas ya que los promedios son muy parecidos (ver figuras 31 y 32) siendo no significativos.

Mientras que la diferencia altamente significativa en la altura de plantas y la diferencia significativa en la altura de mazorcas se debe a la variabilidad entre genotipos y también podría atribuirse al ambiente ya que el experimento se realizó en otra época del año (época seca).

Sin embargo para el experimento realizado en la época seca se observó una diferencia en cuanto a las alturas de plantas y alturas de mazorcas con respecto al experimento realizado en la época lluviosa, ya que en la época lluviosa la altura de plantas promedio fue de 2.12 metros y para la época seca el promedio fue de 1.35 metros existiendo una diferencia de -0.77 metros entre las dos fases de evaluación.

En el caso de la altura de mazorcas el promedio en el experimento en época lluviosa fue de 0.98 metros y en época seca el promedio fue de 0.76 metros existiendo una diferencia de -0.22 metros entre cada fase de evaluación.

Estas diferencias de alturas entre épocas se encuentra relacionada al efecto del déficit de humedad que sufrió el cultivo en la época seca a partir de la fase vegetativa del cultivo, ya que al no existir diferencia significativa en los tratamientos con y sin la aplicación del poliacrilato de potasio se identifica que el tratamiento con poliacrilato de potasio no aportó suficiente humedad al final de la fase vegetativa, ya que el poliacrilato de potasio con la dosis recomendada según Aqua warehouse, (2009) aporta una lámina de 1.33 milímetros y el requerimiento del cultivo a partir del día 18 de la fase vegetativa hasta llegar a la fase de llenado de grano fue de 471.9 milímetros, lo cual indica que los tratamientos con poliacrilato de potasio tuvieron un déficit de -470.57 milímetros y los tratamientos sin poliacrilato de potasio el déficit fue de -471.9 milímetros.

Con estos resultados se justifica que la falta de humedad en las plantas, ocasionó que las mismas detuvieran su crecimiento y a su vez la acumulación de biomasa ya que entran en un estado patológico general donde según Rojas, (2003) provoca que la fotosíntesis baje al cerrarse los estomas y faltar CO_2 , también disminuye por disfunción de los cloroplastos que se desintegran causando clorosis, la respiración asciende temporalmente y luego se deprime, las enzimas se desnaturalizan, fallan las nitrato reductasas y luego cesa la síntesis de proteínas, el contenido de ácido abscísico (ABA) se eleva y el de citocininas baja, la falta de turgencia hace cesar el crecimiento de las plantas. Sin embargo estos efectos pueden variar en base al genotipo ya que como se reportan como resistentes a sequias los genes pueden mostrar alguna diferencia entre si.

Al identificar significancia entre los niveles del factor B (materiales genéticos de *Z. mays*) se realizó una prueba múltiple de medias tukey al 95% de confianza, para determinar los materiales con mayor altura de planta y de mazorca, presentando los resultados en el cuadro 17.

Cuadro 17: Prueba múltiple de medias para la variable altura de plantas y altura de mazorcas en la época seca.

Altura de plantas						
Materiales Genéticos	Medias según la literatura (m)	Medias de acuerdo al experimento (m)	Familias			
DK-390	2.15 - 2.25	1.58	A			
PIONNER-4082W	2.40 - 2.60	1.43		B		
ICTA-B7	2.17	1.40		B		
HR-245	2.20 - 2.35	1.27				C
HRQ-596	2.25 - 2.35	1.24				C
ICTA-LM 7422	2.2	1.22				C
Altura de mazorcas						
Materiales Genéticos	Medias según la literatura (m)	Medias de acuerdo al experimento (m)	Familias			
DK-390	1.30 – 1.50	0.84	A			
PIONNER-4082W	1.30	0.80		B		
ICTA-B7	1.18	0.78		B		
ICTA-LM 7422	1.20	0.73				C
HR-245	1.15 – 1.30	0.71				C
HRQ-596	1.3 – 1.40	0.67				D

Fuente: Autor, (2013)

De acuerdo a la prueba de medias para los diferentes materiales genéticos evaluados, se determinó que en cuanto a la altura de plantas sobresalió de

manera significativa el grupo A conformado por el híbrido DK-390, con media de 1.58 metros, siguió a este el grupo B conformado por el híbrido PIONNER 4082W y la variedad ICTA-B7 con medias de 1.43m y 1.40 metros, por último el grupo C conformado por los híbridos HR-245, HRQ-596 y la variedad ICTA-LM7422 con medias de 1.27m, 1.24m, 1.22 metros.

En el caso de la altura de mazorcas la prueba de medias identificó que sobresalió de forma significativa el grupo A conformado por el híbrido DK-390, con media de 0.84 metros, siguió a este el grupo B conformado por el híbrido PIONNER 4082W y la variedad ICTA-B7 con medias de 0.80 y 0.87 metros, el grupo C conformado por los híbridos HR-245 y la variedad ICTA-LM7422 con medias de 0.73, 0.71 metros y por último el grupo D formado por el híbrido HRQ-596 con media de 0.67 metros.

En cuadro 16 se puede diferenciar que ningún material genético coincide con las medias de altura de planta y mazorca reportada para cada material, la diferencia entre alturas de plantas se encuentra entre -34% a -44% para llegar a la altura esperada y la altura de mazorcas la diferencia es de -34% a -48% para llegar a la altura esperada, las diferencias entre las alturas ya mencionadas está relacionada al déficit hídrico que sufrieron las plantas a partir del día 18 de la etapa vegetativa, afectando en la formación de biomasa donde las plantas detuvieron su crecimiento y no se desarrollaron a su máximo potencial.

Cabe resaltar que tanto en la época lluviosa como en la época seca, según la prueba de medias, los materiales que han registrado una mayor altura de planta fueron DK-390, PIONNER 4082W e ICTA-B7 seguidos de los materiales HR-245, HRQ-596 e ICTA-LM7422, lo cual identifica que los genes de los primeros tres materiales tienden hacer de porte alto.

Mientras tanto para las variables cobertura de mazorca, acame del tallo y acame de la raíz no se realizó el análisis de varianza ya que al momento de su medición se observó que en ninguna unidad experimental se presentaba una inclinación de 30° o más a partir de la perpendicular en la base de la planta, donde comienza la zona radical para tomarlo como acame de raíz y en el acame de tallo tampoco se observaron tallos rotos por debajo de las mazorcas.

En el caso de la cobertura de mazorca se observó que las unidades experimentales mostraban una cobertura de mazorca excelente según la escala de CIMMYT presenta en la figura 45 en anexos.

Análisis del rendimiento

Llegada la madurez fisiológica del cultivo se procedió a determinar el rendimiento de las unidades experimentales bajo la aplicación del poliacrilato de potasio y sin su aplicación, dando como resultado los rendimientos que se presentan a continuación en la figura 33.

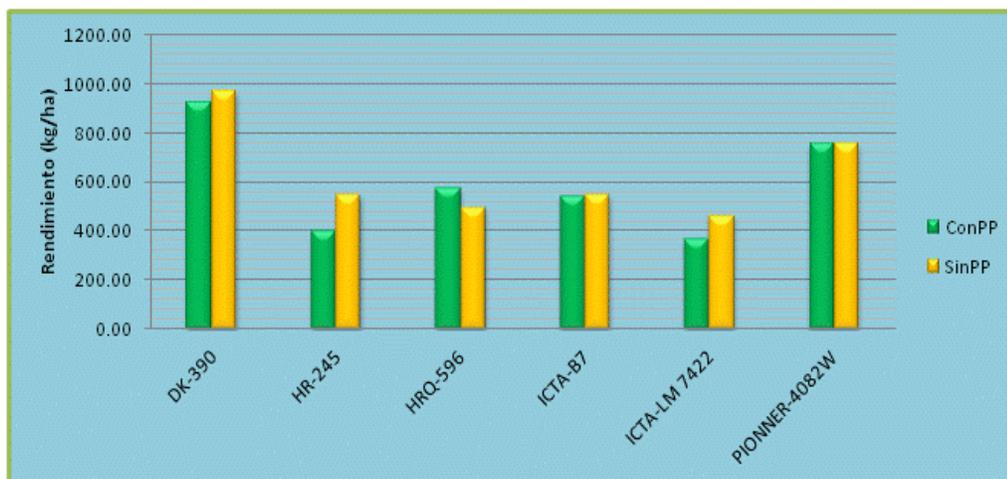


Figura 33: Rendimiento de los materiales genéticos bajo los tratamientos de poliacrilato de potasio en la época seca.

Fuente: Autor, 2013

En la figura 33 se puede observar que los materiales DK-390, HR-245, ICTA-B7, ICTA-LM7422, PIONNER-4082W mostraron un mayor rendimiento bajo el tratamiento que no se le aplicó poliacrilato de potasio superando en un 4.95%, 26.94%, 1.17%, 20.93% y 1.6% al tratamiento que se le fue aplicado poliacrilato de potasio, sin embargo el material HRQ-596 su mejor rendimiento expresado fue bajo el tratamiento al que se le aplicó poliacrilato de potasio superando en un 13.63% al tratamiento que no se le aplicó poliacrilato de potasio.

Según (MAGA, 2013) el rendimiento promedio de La Máquina es de 3,311.69 kg/ha, y el rendimiento promedio obtenido en esta segunda etapa de investigación (época seca) fue de 612.58 kg/ha lo que nos demuestra que en época seca el rendimiento bajo considerablemente un -80% a -82% en comparación con el rendimiento local.

Al conocer los rendimientos de los tratamientos en evaluación se procedió a realizar el análisis estadístico por medio del análisis de varianza (ANDEVA) con un nivel de error del 5% y un nivel de confianza del 95% presentado los resultados a continuación en el cuadro 18.

Cuadro 18: Resumen del análisis de varianza para la variable rendimiento.

Rendimiento (kg/ha)			
F.V.	CM	p-valor	Significancia
Factor A (aplicación del poliacrilato de potasio)	23575.82	0.1196	N.S.
Factor B (materiales genéticos de maíz)	435215.63	0.0001	**
Factor A*Factor B (aplicación del poliacrilato de potasio) X (materiales genéticos de maíz)	14039.95	0.764	N.S.
Cv.	27.02%		

NS: Diferencia no significativa

* * Diferencia altamente significativa

Fuente: Autor, 2013

Según el análisis de varianza andeva se determinó que para variable rendimiento los niveles del factor A: (aplicación del poliacrilato de potasio) y la interacción de AxB, no mostró diferencia significativa mientras que para el factor B (materiales genéticos de *Z. mays*) los rendimientos mostraron una diferencia altamente significativa.

Como se observó en el balance hídrico a partir del día 18 de la fase vegetativa el cultivo se vio afectado por un déficit hídrico, hasta llegar a la fase reproductiva y llenado de grano en niveles de punto de marchitez permanente ya que el déficit hídrico inhibe la fotosíntesis y disminuye el flujo de fotosintatos a los órganos en desarrollo, al no existir humedad durante estas fases de crecimiento hizo que las plantas de maíz y su mecanismo de sobrevivencia concentraran sus carbohidratos, sacarosa y nitrógeno en los pocos granos que se formaron en las mazorcas, por ende se tuvieron los rendimientos antes mencionados.

Con estos resultados se demuestra que el experimento en época seca donde la humedad del suelo a partir de la etapa reproductiva paso los límites del punto crítico (ver figura 30) el poliacrilato de potasio tuvo que aportar el agua que se encuentra almacenada en su red de polímeros para que la planta lo pudiera aprovechar y esta no sufriera por déficit hídrico ya que según ICTA, (2002) la etapa reproductiva es el momento crítico de estrés por sequía en el cultivo de *Z. mays* por que es en esta etapa donde depende el desarrollo, la polinización y el llenado de granos que influye directamente en los rendimientos de un material genético. Sin embargo se determinó estadísticamente que para las condiciones de la época seca el poliacrilato de potasio no funcionó como reservorio de agua al momento de presentarse un déficit hídrico o sequía prolongada, ya que las

diferencias entre tratamientos con y sin la aplicación de poliacrilato de potasio es no significativa.

Lo que demuestra que los 1,000 mililitros de agua por metro lineal (1,333 ml / 0.75m²) que equivale a una lámina de 1.33 mililitros que se encuentra almacenada en la red de polímeros no fue suficiente para suplir la demanda hídrica del cultivo de *Z. mays* a partir del día 18 de la fase vegetativa, pasando por la fase reproductiva hasta llegar a la fase de llenado de grano, siendo de 471.9 milímetros y el poliacrilato de potasio únicamente aportó 1.33 milímetros, lo cual indica que los tratamientos con poliacrilato de potasio tuvieron un déficit de -470.57 milímetros y los tratamientos sin poliacrilato de potasio el déficit fue de -471.9 milímetros.

Pese a que en la fase reproductiva y fase de llenado de grano el nivel de humedad en el suelo permaneció en punto de marchitez permanente se logró un rendimiento del 11% y una baja del -89% comparada con el rendimiento del experimento en época lluviosa, esta baja en el rendimiento fue ocasionada por el estrés hídrico que sufrieron las plantas durante el experimento en época seca. En la figura 34 se presentan las diferencias en el follaje durante la etapa de evaluación en época lluviosa y en época seca, notando el amarillamiento en las plantas en la época seca causada por el déficit hídrico.



Figura 34: Diferencia en el follaje de la planta bajo la influencia de la época lluviosa (a) y la época seca (b)

Fuente: Autor, 2013

El déficit hídrico según Rojas, (2003) en el cultivo de *Z. mays* tiene un impacto final en los componentes del rendimiento, ya que la pérdida en rendimiento de grano es particularmente severa si la sequía ocurre durante la floración o el llenado de grano como ocurrió en este segundo experimento, ya que durante la formación de los gametos la planta es altamente sensible al déficit de agua; siendo el gametofito masculino la estructura más sensible, induciendo principalmente esterilidad, también establece que el estado patológico que entra la planta de *Z. mays* bajo estrés hídrico provoca que la fotosíntesis baje al cerrarse los estomas y al faltar CO_2 , también disminuye por disfunción de los cloroplastos que se desintegran causando clorosis en la planta, en la figura cuarenta se presentan los síntomas de clorosis que se observaron en las plantas por el déficit hídrico a partir de la fase reproductiva.



Figura 35: Síntomas de clorosis causado por déficit hídrico
Fuente: Autor, 2013

Pese a la baja del -89% en el rendimiento para el segundo experimento, el análisis de varianza mostró una diferencia altamente significativa entre genotipos para la variable rendimiento, probablemente la diferencia entre genotipos se deba a la tolerancia de cierto nivel de sequía producto del mejoramiento genético, ya que los materiales seleccionados son reportados como tolerantes a sequías a excepción de la variedad ICTA-LM7422. Para conocer la diferencia entre rendimientos fue necesario realizar una prueba múltiple de medias tukey al 95% de confianza, presentándose los resultados a continuación en el cuadro 19.

Cuadro 19: Prueba múltiple de medias para la variable altura de plantas y altura de mazorcas en la época seca.

Materiales Genéticos	Medias según la literatura (kg/ha)	Medias según el experimento (Kg/ha)	Familias		
DK-390	7143	947.9	A		
PIONNER-4082W	6493	760.7	A		
ICTA-B7	5384	547.7		B	
HRQ-596	6819	529.3		B	
HR-245	5844	474.1			C
ICTA-LM 7422	3897	415.9			C

Fuente: Autor, 2013

De acuerdo a la prueba de medias se determinó que para la época seca los materiales que sobresaliendo de forma significativa en su rendimiento se encuentran en el grupo A conformado por los híbridos DK-390 y PIONNER-4082W con medias de 947.9 y 760.7 kg/ha le siguen a estos el grupo B conformado por la variedad ICTA-B7 y el híbrido HRQ-596 con medias de 547.7 y 529.3 kg/ha y por último el grupo C conformado por el híbrido HR-245 y la variedad ICTA-LM7422 con medias de 474.1 y 415.9 kg/ha.

Pese a la diferencia entre genotipos se calculó que la baja en el rendimiento para el segundo experimento realizado en época seca fue de -86% a -91% en comparación al experimento realizado en época lluviosa esta diferencia se debe a que en este segundo experimento el cultivo se vio afectado por estrés hídrico.

Al comparar los rendimientos promedios que reportan las casas comerciales y los obtenidos en este segundo experimento, se evidencia que existe una diferencia del -87% al -92% para llegar a los rendimientos esperados.

Los efectos de la sequía en *Z. mays*, cuando ocurre en etapas tempranas del desarrollo reproductivo se manifiestan, en una reducción del número de granos, debido principalmente a la absorción del ovario o esterilidad del polen; esto debido a que el déficit hídrico inhibe la fotosíntesis y disminuye el flujo de fotosintatos a los órganos en desarrollo. (Avendaño, 2008)

También el déficit hídrico en maíz, contribuyen a detener el crecimiento del embrión, disminuyen el flujo de sacarosa y generan alteración en el metabolismo de los carbohidratos en los ovarios, también el déficit de agua disminuye la distribución de materia seca, carbohidratos y reduce el nitrógeno en los granos de maíz; sin embargo, la acumulación de carbohidratos en hojas

y tallos continúa inmediatamente después de la polinización; por lo que concluyen que la pérdida de grano (ver figura 36) por sequía es debido en gran parte, a una reducción en el suministro de carbohidratos a la mazorca, ya que el flujo de carbohidratos y el ácido abscísico actúan como componentes de un sistema regulatorio por medio del cual la sequía tiene menos efecto en el grano después de la polinización. (Avendaño, 2008)

La pérdida de grano y esterilidad del polen causado por la sequía según Avendaño, (2008) fue notorio al final del ciclo del cultivo por que al momento de cosechar se observó una reducción en el número de mazorcas cosechadas y el tamaño de las mazorcas, factores determinantes en el rendimiento.

6.5. Análisis del rendimiento en el cultivo de *Z.mays* bajo la aplicación del poliacrilato de potasio en época lluviosa y época seca.

En la figura 37 se presentan los rendimientos obtenidos por los materiales genéticos bajo la influencia de la época lluviosa y época seca, observando que en la época lluviosa los seis materiales expresaron un mayor rendimiento en comparación de la época seca, la baja en el rendimiento fue del 86% a 91% como resultado del déficit hídrico que sufrió el cultivo a partir de la fase vegetativa hasta llegar a la fase reproductiva y llenado de grano donde el tratamiento, con poliacrilato de potasio no aportó la suficiente humedad para que el cultivo no atravesara por un estrés hídrico.

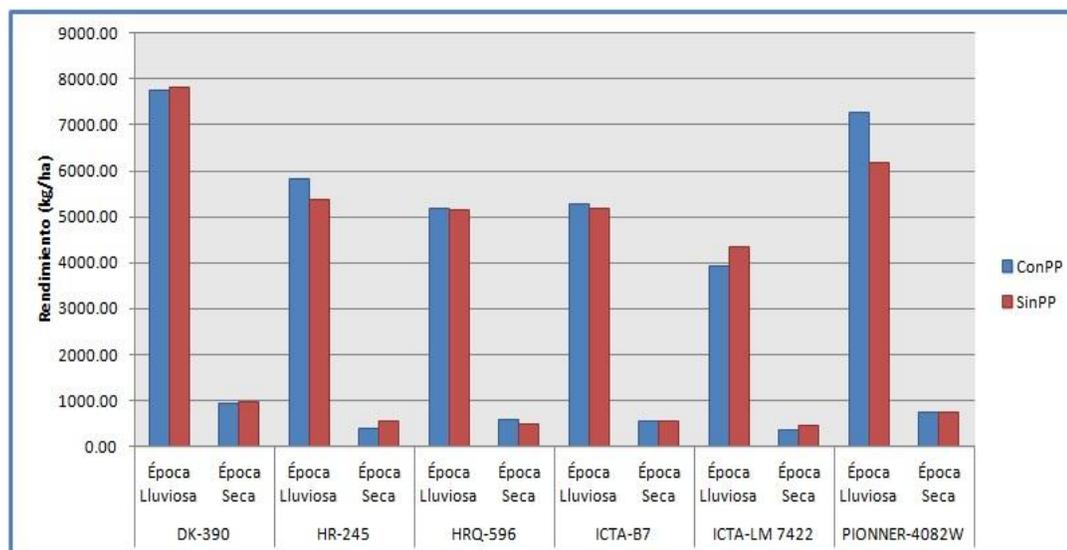


Figura 36: Rendimientos de los genotipos bajo la influencia de la época lluviosa y época seca.

Fuente: Autor, 2013

Según Reyes C. (1990) cuando un experimento se repite por más de una vez, usando el mismo diseño, se tiene una serie de experimentos, los cuales se deben analizar como experimentos factoriales. Por lo que se realizó un análisis de varianza ANDEVA al 95% de confianza para determinar si el poliacrilato de potasio tiene alguna influencia en el rendimiento de los materiales genéticos de *Z. mays* bajo condiciones de la época lluviosa y la época seca, presentado los resultados a continuación en el cuadro 20.

Cuadro 20: Resumen del análisis de varianza bajo las condiciones de la época lluviosa y época seca.

	DK-390	HR-245	HRQ-596	ICTA-B7	ICTA-LM7422	PIONNER-4082W
F.V.	Significancia	Significancia	Significancia	Significancia	Significancia	Significancia
Época	**	**	**	**	**	**
Aplicación del poliacrilato de potasio	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Época* Aplicación del poliacrilato de potasio	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

Fuente: Autor, (2013)

NS: Diferencia no significativa
** Diferencia altamente significativa

Según el análisis de varianza se determinó que las diferencias de rendimiento bajo la influencia de las épocas (época lluviosa y época seca) fueron altamente significativas, debido a las condiciones de humedad en el suelo totalmente distintas que mantuvo el cultivo en las dos épocas, influyendo directamente en el rendimiento de los genotipos. En la figura 37 se presentan la diferencia al momento de pesar las unidades experimentales en la época lluviosa como en la época seca.



**Figura 37: a) peso de las unidades experimentales en época lluviosa
b) peso de las unidades experimentales en época seca.**

Fuente: Autor, 2013

En la aplicación del poliacrilato de potasio se identificó que para las dos épocas (época lluviosa y época seca) estadísticamente no mostró una diferencia significativa en cuanto al rendimiento de los genotipos, ya que en la época lluviosa se determinó que durante el ciclo del cultivo el 95% de su ciclo se mantuvo por encima punto crítico de humedad y un 5% paso por un estrés hídrico afectando la fase vegetativa y reproductiva que al final repercutió en que los materiales genéticos no pudieran expresar su máximo crecimiento y rendimiento.

Mientras que para la época seca según el balance hídrico (ver figura 30) se identificó que en el día 18 de la fase vegetativa el cultivo pasó los límites de punto crítico hasta alcanzar el nivel de punto de marchitez permanente en la fase reproductiva y llenado de grano, condiciones óptimas para que el poliacrilato de potasio liberara el agua almacenada en la red del polímero y las plantas lo pudieran aprovechar para no sufrir estrés hídrico, sin embargo estadísticamente se comprobó que no existió diferencia significativa entre aplicar o no aplicar el poliacrilato de potasio.

Al no darse una diferencia significativa entre la aplicación del poliacrilato de potasio se identifica que los tratamientos pasaron por un estrés hídrico, al no ser suficiente la lámina que aporta el poliacrilato de potasio para suplir la demanda hídrica del cultivo bajo condiciones de estrés hídrico prolongado, ya que para suplir la demanda hídrica para esta segunda fase de evaluación se necesitaría una dosis de 3.55 kg/ha de poliacrilato de potasio, el cual tendría un impacto en los costos de producción.

6.6. Análisis económico de la investigación

Durante el proceso de investigación en época lluviosa como en época seca se tomaron en cuenta los costos de producción para determinar la rentabilidad del cultivo con y sin la aplicación del poliacrilato de potasio, donde los costos fijos corresponden a la renta del terreno y la mecanización del mismo, mientras que los costos variables corresponden a gastos por insumos, mano de obra para labores como control de malezas, fertilización y cosecha. (Ver cuadro 22 en anexos)

En los costos variables por insumos es importante mencionar que la principal variación se debe al costo de la semilla ya que los materiales genéticos híbridos tienen un mayor costo que las variedades, ya que el resto de insumos se utilizó la misma cantidad para todos los tratamientos, en base a los requerimientos óptimos del cultivo.

En el cuadro 21 se presentan los costos fijos, costos variables e índice de rentabilidad para cada material genético evaluado en función de los rendimientos obtenidos en el proceso de investigación en la época lluviosa como en época seca. Además de comparar la rentabilidad del cultivo con y sin la aplicación del poliacrilato de potasio bajo las épocas antes mencionadas.

Cuadro 21: Resumen de los costos fijos, costos variables y rentabilidad de los materiales genéticos evaluados bajo las condiciones de la época lluviosa y época seca.

Tratamientos con poliacrilato de potasio	Costos Fijos	Costos variables	Rentabilidad % época lluviosa	Rentabilidad % época seca
DK-390	Q.1,501.50	Q.10,829.6	24	-83
PIONNER-4082W	Q.1,501.50	Q.10,929.6	15	-87
ICTA-B7	Q.1,501.50	Q.10,329.6	6	-90
HR-245	Q.1,501.50	Q.10,629.6	-2	-91
HRQ-596	Q.1,501.50	Q.10,629.6	-2	-90
ICTA-LM7422	Q.1,501.50	Q.10,329.6	-13	-92
Tratamientos sin poliacrilato de potasio	Costos Fijos	Costos variables	Rentabilidad % época lluviosa	Rentabilidad % época seca
DK-390	Q.1,501.50	Q.8,048.6	61	-78
PIONNER-4082W	Q.1,501.50	Q.8,148.6	49	-83
ICTA-B7	Q.1,501.50	Q.7,548.6	38	-87
HR-245	Q.1,501.50	Q.7,848.6	27	-89
HRQ-596	Q.1,501.50	Q.7,848.6	27	-88
ICTA-LM7422	Q.1,501.50	Q.7,548.6	14	-90

Fuente: Autor, (2013)

La rentabilidad según (García 2010) se encuentra relacionada al beneficio económico con los recursos necesarios para obtener ese lucro, es un indicador financiero que mide la factibilidad de la inversión, es decir, la tasa de variación que sufre el monto de una inversión o capital al convertirse en utilidades (beneficios).

Si el porcentaje de la rentabilidad es menor o igual que cero significa que no será rentable (factible) la inversión, mientras mayor sea el índice de rentabilidad significa que un mayor porcentaje de capital se va a recuperar al ser invertido (García 2010).

De acuerdo al análisis de rentabilidad presentado en el cuadro 20 se determinó que en época lluviosa el mayor rango de índices de rentabilidad se encuentra en el tratamiento al que no se le aplicó poliacrilato de potasio con 14% a 61% de rentabilidad mientras que al tratamiento que se le aplicó poliacrilato de potasio los índices de rentabilidad se encuentran entre -13% a 24% lo que demuestra que realizar una inversión aplicando poliacrilato de potasio en el cultivo de *Z. mays* no

sería factible ya que los rendimientos no justificarían su inversión debido a que al no aplicar poliacrilato de potasio se tienen los índices de rentabilidad más altos.

Los índices de rentabilidad en época seca bajo los tratamientos con y sin la aplicación del poliacrilato de potasio son muy similares, ya que sin poliacrilato de potasio el índice de rentabilidad se encuentra entre -78% y -90%, mientras que con poliacrilato de potasio es de -83% y -92% estas cifras negativas se encuentra asociada a los bajos rendimientos que se tuvieron en el segundo experimento realizado en época seca ya que a partir de la etapa reproductiva se tuvo un déficit hídrico afectando en el llenado del grano.

Es importante mencionar que los híbridos DK-390, PIONNER-4082W y la variedad ICTA-B7 presentaron el mayor índice de rentabilidad en época lluviosa sin poliacrilato de potasio, en comparación del los híbridos HR-245, HRQ-596 y la variedad ICTA-LM7422 que fueron los que menor índice de rentabilidad tuvieron, por lo que los primeros tres materiales genéticos tienen potencial para ser explotados comercialmente.

VII. CONCLUSIONES

1. La prueba de absorción del poliacrilato de potasio realizada a nivel de laboratorio, determinó que la capacidad máxima de absorción es de 122.16 ± 6.39 mililitros de agua por cada gramo de producto y no de 500 mililitros como lo describe el fabricante.
2. Estadísticamente se determinó que la aplicación de poliacrilato de potasio tanto en época lluviosa como en época seca no mostró alguna diferencia significativa en cuanto al rendimiento en el cultivo de *Z. mays*.
3. Se evidenció que las épocas del año influyeron en los rendimientos del cultivo de *Z. mays* bajo la aplicación del poliacrilato de potasio y sin ella, siendo la época lluviosa en la que los genotipos expresaran mayor rendimiento que en la época seca.
4. Los materiales genéticos que presentaron un mayor rendimiento en época lluviosa como en época seca fueron los híbridos DK-390 y PIONNER-4082W.
5. El análisis de varianza demostró que en la época lluviosa como en la época seca no existió interacción entre la aplicación del poliacrilato de potasio y los materiales genéticos de *Z. mays*.
6. En época lluviosa como en época seca se determinó que entre genotipos existió una diferencia altamente significativa en las variables vegetativas (altura de planta y altura de mazorca) y en la variable rendimiento.
7. El uso de poliacrilato de potasio en el cultivo de *Z. mays* no es factible económicamente ya que los rendimientos obtenidos no justifican su utilidad final.
8. Se determinó que la lámina de agua de 1.33 milímetros que aporta el poliacrilato de potasio almacenados en la red de polímeros no es capaz de suplir la demanda hídrica del cultivo de *Z. mays* cuando se presente un evento de sequía prolongado.
9. Estadísticamente se determinó que en época lluviosa el poliacrilato de potasio no causa algún efecto en cuanto a características fenotípicas (altura de planta, altura de mazorca, cobertura de mazorca) expresadas por los genotipos.

10. En época lluviosa como en época seca se determino que los híbridos DK-390 y PIONNER 4082W son los que presentan la mayor altura de plantas y de mazorcas.
11. Los genotipos que presentaron un mayor rendimiento en época lluviosa como época seca fueron los híbridos DK-390 y PIONNER-4082W.
12. En la época lluviosa bajo los requerimientos óptimos del cultivo las variedades ICTA-B7 e ICTA-LM7422 pueden ser potencialmente explotadas comercialmente en la localidad de La Máquina porque superaron en un 63% y un 41.31% al rendimiento local.

VIII. RECOMENDACIONES

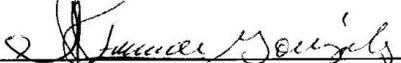
1. En la localidad de La Máquina donde la evapotranspiración diaria oscila entre 4.01 y 6.04 mm/día mas la demanda hídrica del cultivo de *Z. mays*, no se recomienda el uso del poliacrilato de potasio, ya que se determinó que no aporta suficiente humedad en condiciones de sequía prolongada y elevar su dosis no es factible desde el punto de vista económico.
2. Se recomienda el uso de las variedades ICTA-B7 e ICTA-LM7422 bajo condiciones de la época lluviosa ya que bajo los requerimientos óptimos del cultivo se demostró que estos materiales tienen potencial para ser explotados comercialmente, además de que el costo de la semilla es menor que los materiales híbridos, sin embargo por ser variedades de polinización libre y con las técnicas adecuadas de selección masal, se puede volver a reutilizar la semilla de estos materiales y no depender de los híbridos que comercialmente su precio es elevado.
3. También se recomienda la explotación comercial en época lluviosa de los híbridos DK-390, PIONNER 4082W debido a que en función de los rendimientos obtenidos bajo los requerimientos óptimos del cultivo fueron los materiales que presentaron un mayor índice de rentabilidad de 61% y 49%.
4. Si se considera la explotación de los materiales DK-390, PIONNER 4082W tomar en cuenta que fueron los materiales que expresaron una mayor altura de planta y de mazorca, el cual los hace susceptibles a problemas de acame causado por los fuertes vientos.

IX. BIBLIOGRAFÍA

1. Aqua warehouse. 2009. Características principales del poliacrilato de potasio (en línea) Consultado: 15 febr. 2013. Disponible en: www.Aqua warehouse.com
2. Avendaño, C. 2008. Respuesta a los altos niveles de estrés hídrico en maíz. Colegio de postgraduados, México. 11 p. (en línea) Consultado: 29 ene. 2014. Disponible en: http://www.mag.go.cr/rev_meso/v19n01_027.pdf
3. CAEI (Centro Argentino de Estudios Internacionales). 2,007. Programa recursos naturales y desarrollo. La escasez de agua en el mundo y la importancia del acuífero guaraní para Sudamérica. 26 p. (en línea) Consultado: 17 ene. 2014. Disponible en: <http://www.caei.com.ar/sites/default/files/17.pdf>
4. CENGICANÁ (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar) 2009. InfoStat, Manual de usos. Ejemplos de los principales métodos estadísticos utilizados en la industria cañera. Santa Lucia Cotzumalguapa, Escuintla. Guatemala, Gt. 48 p. (en línea) Consultado: 26 ene. 2014. Disponible en: <http://www.cengicana.org/descargas/ManualInfoStat.pdf>
5. CEPAL (Comisión Económica para América Latina y del Caribe) 2,011. La economía del cambio climático en Centro América, Reporte técnico 2,011, 419 p. (en línea) Consultado: 15 feb. 2013. Disponible en: <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/5/43925/2011-29-Cambio-climatico-RT-L1016web.pdf>
6. CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). 1,985. Manejo de ensayos e informe de datos de ensayos internacionales del CIMMYT. México. D.F. 23p.
7. Duwest Sociedad con Dupont. 2013. Características generales del híbrido PIONNER-4082W. Ficha técnica. S.n. en pdf. E-mail: eorrego@icc.gt.org
8. Ezequiel, L. 2008. Diseño y análisis de experimentos, fundamentos y aplicaciones en Agronomía. 150 p. (en línea) Consultado: 27 feb. 2013. Disponible en: <http://issuu.com/byrong/docs/disenoyanalisisexperimentos>.
9. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2006. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Evapotranspiración del cultivo. Roma. Italia. 298 p. Documento 56.

10. García V. 2,010. Análisis de rentabilidad de la implementación de un colorímetro automático en línea, para el proceso de fabricación de azúcar blanca. Guatemala, Gt. 117 p. Tesis de ingeniería química. (en línea) Consultado: 21 ene. 2014. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1175_Q.pdf
11. ICC (Instituto Privado de Investigación Sobre Cambio Climático). 2,013. Diagnóstico de amenazas y prácticas de adaptación para reducir el impacto en el Centro uno La Máquina, Cuyotenango, Suchitepéquez. Gt. 65p.
12. ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola). 2,002. El cultivo del maíz en Guatemala: Una guía para su manejo agronómico. Subprograma de maíz. Guatemala, Gt. 45p.
13. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Climate Change: The Scientific Basis of the Intergovernmental Panel on Climate change. Technical Summary. Cambridge: WMO-UNEP. Cambridge University Press (en línea). Versión en español. Consultado: 02 mar. 2013. Disponible en: www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf
14. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación). 2013. Diagnóstico general del municipio de Cuyotenango, Suchitepéquez, priorizando diez comunidades que se encuentren en pobreza y pobreza extrema. Guatemala, Gt. 126p.
15. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación). 2003. Unidad de políticas e información estratégica, programa de emergencia por desastres naturales y Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Base de datos digital de la república de Guatemala a escala 1:250,000.
16. Monsanto. 2012. Guía Técnica D-KALB® Zafriña 2012. 66 p. (en línea) Consultado: 20 feb. 2013. Disponible en: <http://www.monsanto.com/global/py/productos/Documents/guia-tecnica-zafrina-2012.pdf>
17. OMS (Organización Mundial de la Salud) 2003. Zinc in drinking-water. Documento de referencia para la elaboración de las Guías de la OMS para la calidad del agua potable. Ginebra (Suiza), 363 págs. (en línea) Consultado: 22 feb. 2013. Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/guidelines/es/.

18. Prosemillas (Productora de Semillas). 2013a. Características generales del híbrido HR-245. (en línea) Consultado: 20 feb. 2013. Disponible en: <http://www.productoradesemillas.com/HR-245.pdf>
19. Prosemillas (Productora de Semillas). 2013b. Características generales del híbrido HRQ-596. (en línea) Consultado: 20 feb. 2013. Disponible en: <http://www.productoradesemillas.com/HRQ-596.pdf>
20. Reyes, C. 1990. Diseño de experimentos aplicados. 3 ed. México, D.F. Edit. Trillas. 348 p.
21. Rojas, M. 2003. La resistencia a la sequía. Nuevo León México. 7 p. (en línea) Consultado: 27 ene. 2014. Disponible en: http://scholar.google.com.gt/scholar?q=estado+patologico+general+en+maiz&btnG=&hl=es&as_sdt=0%2C5&as_vis=1
22. Sandoval, J.E. 1994. Principios de riego y drenaje. Guatemala, Gt. Edit. Universitaria. 356 p.
23. Segura Galindo, L. 2008. Evaluación de 19 híbridos de maíz blanco (*Zea mays* L.) procedentes de diferentes localidades de Latinoamérica, en los campos del centro experimental docente de agronomía (CEDA), Facultad de Agronomía, zona 12. Tesis de ingeniero agrónomo. 56 p. (en línea). Consultado: 02 mar. 2013. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2399.pdf
24. Simonns, CS. ; Tárano T., JM. ; Pinto Z., JH. 1959. Clasificación de suelos a nivel de reconocimiento de la República de Guatemala. Guatemala, Gt. Edit. José de Pineda Ibarra. 1000 p.


Vo. Bo. Licda. Ana Teresa de González
Bibliotecaria



X. ANEXOS

Figura 38: a) Peso de un gramo de poliacrilato de potasio en la balanza semi-analítica b) Medición de los volúmenes de agua para los tratamientos de 700 ml, 500 ml, 300 ml, 100 ml y 50 ml.

Fuente: Autor, (2013)



Figura 39: Hidratación de poliacrilato de potasio durante 30 minutos.

Fuente: Autor, (2013)



Figura 40: a) Papel filtro, embudos y beakers para separar lo sólido y líquido b) filtración del agua que no pudo absorber el poliacrilato de potasio.

Fuente: Autor, (2013)



Figura 41: a) Papel filtro con el poliacrilato de potasio hidratado b) agua que no pudo absorber el poliacrilato de potasio.

Fuente: Autor, (2013)



Figura 42: a) Peso del poliacrilato de potasio hidratado b) medición del volumen de agua que no pudo ser absorbido c) peso del papel filtro mojado.

Fuente: Autor, (2013)



Figura 43: a) Cosecha de las unidades experimentales b) determinación del peso de cada una de las unidades experimentales.

Fuente: Autor, (2013)



Figura 44: a) Desgrane de las dos hileras centrales b) determinación del porcentaje de humedad del grano de *Z.mays* por medio de un medidor de humedad

Fuente: Autor, (2013)

Escala de calificación	Cobertura por las brácteas
1 Excelente	Las brácteas cubren apretadamente la punta de la mazorca y se extienden más allá de ella.
2 Regular	Cubren apretadamente la punta de la mazorca.
3 Punta expuesta	Cubren flojamente la mazorca hasta la punta.
4 Grano expuesto	Las brácteas no cubren la mazorca adecuadamente y dejan la punta algo expuesta.
5 Completamente inaceptable	Cobertura deficiente; la punta está claramente expuesta.

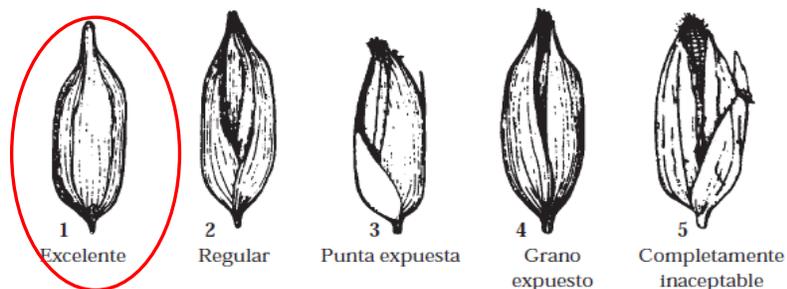


Figura 45: Escala para determinación de cobertura de mazorca.
Fuente: Autor, 2013

Cuadro 22: Costos de producción del cultivo de *Z. mays* con la aplicación de poliacrilato de potasio.

Concepto	Unidad De Medida	Cantidad	Costo Unitario (Q)	Total (Q)
Renta del terreno	ha	1	1071.5	1071.5
Mecanización del terreno y surqueo	ha	1	430	430
Total por concepto de renta y mecanización				1501.5
Total de costos directos				Q.1,501.50

Mano de Obra

Aplicación del poliacrilato de potasio	Jornal	4	100	400
Siembra de la semilla	Jornal	3	100	300
Primera aplicación de insecticida	Jornal	2	60	120
Primera aplicación de fertilizante	Jornal	3	86	258
Segunda aplicación de insecticida	Jornal	2	60	120
Segunda aplicación de fertilizante	Jornal	3	86	258
Control de malezas químico	Jornal	2	60	120
Control de malezas manual	Jornal	6	50	300
Dobla del maíz	Jornal	2	129	258
Cosecha del maíz (Tapisca)	Jornal	10	138	1380
Desgrane	Jornal	8	50	400
Total de Mano de Obra				Q.3,914.00

Insumos

Poliacrilato de potasio	Anual			2381
Blindage (tratamiento de semilla)	Litro	0.1	945	94.5
Semilla (Dk-390)	Bolsa	1	1000	1000
Basta® 15 SL	Litro	0.3	155	46.5
CURYOM® 55 EC	Litro	0.3	365	109.5
ENGEO® 24,7 SC	Litro	0.5	955	477.5
Fertimaíz inicio (18-12-12)	qq	4.29	270	1158.3
Fertimaíz refuerzo (27-0-24)	qq	4.29	270	1158.3
Fertilizante (20-20-0)	qq	2	245	490
Total de costos por insumos				6915.6
Total de costo indirectos				Q.10,829.60

Total de costos directos e indirectos				Q.12,331.10
Venta del maíz	qq	153.49	100	15349
Total de Ingresos				Q.15,349.00
Ganancias				Q.3,017.90
Rentabilidad En Porcentaje				24

INDICADORES	Valores
Costo Total de Producción	Q.12,331.10
Volumen de Producción (qq/ha)	127.13
Utilidad Total de Producción	Q.3,017.90
Índice de Rentabilidad (%)	24

Fuente: Autor, (2013)

Cuadro 23: Información de campo para el monitoreo de la humedad en el suelo por medio del balance hídrico.

Día	Fecha	Día establecido	Precipitación del día (mm)	Lámina de riego (mm)	Kc	Evo (mm/día)	Etc	Precipitación efectiva (PE) (mm)	Disponible en el suelo (mm)
Lunes	06/05/2013	1	22	120	0.30	5.04	1.51	21.23	23.74
Martes	07/05/2013	2	0		0.30	5.22	1.57	0.00	22.17
Miércoles	08/05/2013	3	0		0.30	5.7	1.71	0.00	20.46
Jueves	09/05/2013	4	0		0.30	5.98	1.79	0.00	18.67
Viernes	10/05/2013	5	0		0.30	6.12	1.84	0.00	16.83
Sábado	11/05/2013	6	0		0.30	6.11	1.83	0.00	15.00
Domingo	12/05/2013	7	11		0.30	5.77	1.73	10.81	24.08
Lunes	13/05/2013	8	0		0.30	6.1	1.83	0.00	22.25
Martes	14/05/2013	9	0		0.30	5.99	1.80	0.00	20.45
Miércoles	15/05/2013	10	0		0.30	5.48	1.64	0.00	18.81
Jueves	16/05/2013	11	108		0.30	5.08	1.52	89.34	37.59
Viernes	17/05/2013	12	0		0.30	4.72	1.42	0.00	36.17
Sábado	18/05/2013	13	0		0.30	4.85	1.46	0.00	34.72
Domingo	19/05/2013	14	0		0.30	5.24	1.57	0.00	33.15
Lunes	20/05/2013	15	0		0.30	6	1.80	0.00	31.35
Martes	21/05/2013	16	0		0.34	6.16	2.07	0.00	29.28
Miércoles	22/05/2013	17	0		0.37	5.85	2.18	0.00	27.10
Jueves	23/05/2013	18	60		0.41	5.85	2.39	54.24	47.29
Viernes	24/05/2013	19	0		0.44	5.61	2.49	0.00	44.80
Sábado	25/05/2013	20	24		0.48	5.62	2.70	23.08	50.06
Domingo	26/05/2013	21	0		0.52	5.32	2.75	0.00	47.31
Lunes	27/05/2013	22	28		0.55	4.15	2.29	26.75	52.83
Martes	28/05/2013	23	22		0.59	4.49	2.64	21.23	54.21
Miércoles	29/05/2013	24	0		0.62	3.67	2.29	0.00	51.92
Jueves	30/05/2013	25	0		0.66	4.66	3.08	0.00	48.84
Viernes	31/05/2013	26	0		0.70	5.04	3.51	0.00	45.34
Sábado	01/06/2013	27	0		0.73	5.64	4.13	0.00	41.21
Domingo	02/06/2013	28	0		0.77	5.77	4.43	0.00	36.78
Lunes	03/06/2013	29	54		0.80	5.79	4.66	49.33	62.52
Martes	04/06/2013	30	26		0.84	5.49	4.61	24.92	63.91
Miércoles	05/06/2013	31	101		0.88	5.28	4.63	84.68	65.29
Jueves	06/06/2013	32	0		0.91	5.58	5.09	0.00	60.20
Viernes	07/06/2013	33	0		0.95	5.61	5.32	0.00	54.88
Sábado	08/06/2013	34	0		0.98	5.42	5.33	0.00	49.55

Continuación del cuadro 23...									
Día	Fecha	Día establecido	Precipitación del día (mm)	Lámina de riego (mm)	Kc	Evo (mm/día)	Etc	Precipitación efectiva (PE) (mm)	Disponibile en el suelo (mm)
Domingo	09/06/2013	35	1.4		1.02	5.08	5.18	1.40	45.76
Lunes	10/06/2013	36	0		1.06	4.76	5.03	0.00	40.74
Martes	11/06/2013	37	0		1.09	4.99	5.45	0.00	35.29
Miércoles	12/06/2013	38	0		1.13	5.48	6.18	0.00	29.11
Jueves	13/06/2013	39	0		1.16	5.74	6.68	0.00	22.43
Viernes	14/06/2013	40	0		1.20	4.94	5.93	0.00	16.50
Sábado	15/06/2013	41	88		1.20	5.27	6.32	75.61	79.14
Domingo	16/06/2013	42	57.3		1.20	5.73	6.88	52.05	79.14
Lunes	17/06/2013	43	0		1.20	6.04	7.25	0.00	71.89
Martes	18/06/2013	44	0		1.20	6.17	7.40	0.00	64.49
Miércoles	19/06/2013	45	56		1.20	5.9	7.08	50.98	79.14
Jueves	20/06/2013	46	0		1.20	5.68	6.82	0.00	72.32
Viernes	21/06/2013	47	10		1.20	5.84	7.01	9.84	75.16
Sábado	22/06/2013	48	0		1.20	5.72	6.86	0.00	68.29
Domingo	23/06/2013	49	36		1.20	5.28	6.34	33.93	79.14
Lunes	24/06/2013	50	0		1.20	4.8	5.76	0.00	73.38
Martes	25/06/2013	51	24		1.20	4.73	5.68	23.08	79.14
Miércoles	26/06/2013	52	0		1.20	4.69	5.63	0.00	73.51
Jueves	27/06/2013	53	10		1.20	5.42	6.50	9.84	76.85
Viernes	28/06/2013	54	12		1.20	5.76	6.91	11.77	79.14
Sábado	29/06/2013	55	0		1.20	5.08	6.10	0.00	73.04
Domingo	30/06/2013	56	0		1.20	5.26	6.31	0.00	66.73
Lunes	01/07/2013	57	22		1.20	5.13	6.16	21.23	79.14
Martes	02/07/2013	58	16		1.20	4.37	5.24	15.59	79.14
Miércoles	03/07/2013	59	0		1.20	5.03	6.04	0.00	73.10
Jueves	04/07/2013	60	0		1.20	5.36	6.43	0.00	66.67
Viernes	05/07/2013	61	0		1.20	5.74	6.89	0.00	59.78
Sábado	06/07/2013	62	6		1.20	6.03	7.24	5.94	58.49
Domingo	07/07/2013	63	0		1.20	6	7.20	0.00	51.29
Lunes	08/07/2013	64	0		1.20	5.99	7.19	0.00	44.10
Martes	09/07/2013	65	0		1.20	6.08	7.30	0.00	36.81
Miércoles	10/07/2013	66	0		1.20	5.6	6.72	0.00	30.09
Jueves	11/07/2013	67	110		1.20	5.56	6.67	90.64	79.14
Viernes	12/07/2013	68	0		1.20	3.71	4.45	0.00	74.69
Sábado	13/07/2013	69	0		1.20	4.41	5.29	0.00	69.40
Domingo	14/07/2013	70	0		1.16	4.91	5.69	0.00	63.70

Continuación del cuadro 23...									
Día	Fecha	Día establecido	Precipitación del día (mm)	Lámina de riego (mm)	Kc	Evo (mm/día)	Etc	Precipitación efectiva (PE) (mm)	Disponible en el suelo (mm)
Lunes	15/07/2013	71	6		1.12	5.47	6.12	5.94	63.52
Martes	16/07/2013	72	0		1.08	5.71	6.16	0.00	57.37
Miércoles	17/07/2013	73	0		1.04	5.93	6.16	0.00	51.21
Jueves	18/07/2013	74	50		1.00	5.77	5.76	46.00	79.14
Viernes	19/07/2013	75	0		0.96	5.83	5.58	0.00	73.56
Sábado	20/07/2013	76	0		0.92	5.86	5.37	0.00	68.19
Domingo	21/07/2013	77	0		0.88	5.5	4.82	0.00	63.37
Lunes	22/07/2013	78	4		0.84	5.27	4.40	3.97	62.94
Martes	23/07/2013	79	0		0.80	4.75	3.78	0.00	59.16
Miércoles	24/07/2013	80	0		0.75	4.37	3.30	0.00	55.86
Jueves	25/07/2013	81	0		0.71	4.74	3.39	0.00	52.48
Viernes	26/07/2013	82	0		0.67	5.23	3.52	0.00	48.95
Sábado	27/07/2013	83	0		0.63	5.74	3.64	0.00	45.32
Domingo	28/07/2013	84	5		0.59	6.07	3.60	4.96	46.68
Lunes	29/07/2013	85	0		0.55	6.02	3.33	0.00	43.35
Martes	30/07/2013	86	0		0.51	5.84	2.99	0.00	40.37
Miércoles	31/07/2013	87	0		0.47	6	2.83	0.00	37.54
Jueves	01/08/2013	88	8		0.43	5.9	2.54	7.90	42.89
Viernes	02/08/2013	89	62		0.39	5.69	2.22	55.85	79.14
Sábado	03/08/2013	90	4		0.35	5.02	1.76	3.97	79.14
Domingo	04/08/2013	91	0		1.00	4.74	4.74	0.00	74.40
Lunes	05/08/2013	92	0		1.00	4.28	4.28	0.00	70.12
Martes	06/08/2013	93	0		1.00	4.4	4.40	0.00	65.72
Miércoles	07/08/2013	94	0		1.00	5.21	5.21	0.00	60.51
Jueves	08/08/2013	95	0		1.00	5.73	5.73	0.00	54.78
Viernes	09/08/2013	96	0		1.00	5.72	5.72	0.00	49.06
Sábado	10/08/2013	97	0		1.00	5.93	5.93	0.00	43.13
Domingo	11/08/2013	98	0		1.00	5.55	5.55	0.00	37.58
Lunes	12/08/2013	99	48		1.00	5.6	5.60	44.31	76.29
Martes	13/08/2013	100	0		1.00	5.4	5.40	0.00	70.89
Miércoles	14/08/2013	101	6		1.00	5.55	5.55	5.94	71.29
Jueves	15/08/2013	102	2		1.00	4.99	4.99	1.99	68.29
Viernes	16/08/2013	103	4		1.00	4.57	4.57	3.97	67.69
Sábado	17/08/2013	104	8		1.00	4.14	4.14	7.90	71.45
Domingo	18/08/2013	105	48		1.00	4.44	4.44	44.31	79.14
Lunes	19/08/2013	106	0		1.00	4.97	4.97	0.00	74.17

Continuación del cuadro 23...									
Día	Fecha	Día establecido	Precipitación del día (mm)	Lámina de riego (mm)	Kc	Evo (mm/día)	Etc	Precipitación efectiva (PE) (mm)	Disponible en el suelo (mm)
Martes	20/08/2013	107	38		1.00	5.59	5.59	35.69	79.14
Miércoles	21/08/2013	108	5		1.00	5.87	5.87	4.96	78.23
Jueves	22/08/2013	109	32		1.00	5.67	5.67	30.36	79.14
Viernes	23/08/2013	110	0		1.00	5.33	5.33	0.00	73.81
Sábado	24/08/2013	111	48		1.00	5.27	5.27	44.31	79.14
Domingo	25/08/2013	112	0		1.00	5.2	5.20	0.00	73.94
Lunes	26/08/2013	113	0		1.00	5.24	5.24	0.00	68.70
Martes	27/08/2013	114	4		1.00	5.36	5.36	3.97	67.31
Miércoles	28/08/2013	115	6		1.00	4.55	4.55	5.94	68.71
Jueves	29/08/2013	116	0		1.00	4.4	4.40	0.00	64.31
Viernes	30/08/2013	117	0		1.00	4.57	4.57	0.00	59.74
Sábado	31/08/2013	118	0		1.00	4.79	4.79	0.00	54.95
Domingo	01/09/2013	119	15		1.00	5.07	5.07	14.64	64.52
Lunes	02/09/2013	120	0		1.00	5.7	5.70	0.00	58.82
Martes	03/09/2013	121	0		1.00	5.34	5.34	0.00	53.48
Miércoles	04/09/2013	122	20		1.00	5.6	5.60	19.36	67.24
Jueves	05/09/2013	123	0		1.00	5.83	5.83	0.00	61.41
Viernes	06/09/2013	124	0		1.00	5.84	5.84	0.00	55.57
Sábado	07/09/2013	125	6		1.00	5.35	5.35	5.94	56.16
Domingo	08/09/2013	126	20		1.00	5.15	5.15	19.36	70.37
Lunes	09/09/2013	127	18		1.00	4.52	4.52	17.48	79.14
Martes	10/09/2013	128	3		1.00	4.05	4.05	2.99	78.08
Miércoles	11/09/2013	129	50		1.00	4.09	4.09	46.00	79.14
Jueves	12/09/2013	130	10		1.00	4.12	4.12	9.84	79.14
Viernes	13/09/2013	131	0		1.00	4.87	4.87	0.00	74.27
Sábado	14/09/2013	132	0		1.00	5.39	5.39	0.00	68.88
Domingo	15/09/2013	133	0		1.00	5.7	5.70	0.00	63.18
Lunes	16/09/2013	134	44		1.00	5.69	5.69	40.90	79.14
Martes	17/09/2013	135	8		1.00	5.69	5.69	7.90	79.14
Miércoles	18/09/2013	136	0		1.00	5.43	5.43	0.00	73.71
Jueves	19/09/2013	137	0		1.00	5.45	5.45	0.00	68.26
Viernes	20/09/2013	138	0		1.00	4.89	4.89	0.00	63.37
Sábado	21/09/2013	139	0		1.00	4.34	4.34	0.00	59.03
Domingo	22/09/2013	140	130		1.00	4.29	4.29	102.96	79.14
Lunes	23/09/2013	141	20		1.00	3.91	3.91	19.36	79.14
Martes	24/09/2013	142	0		1.00	4.74	4.74	0.00	74.40

Continuación del cuadro 23...									
Día	Fecha	Día establecido	Precipitación del día (mm)	Lámina de riego (mm)	Kc	Evo (mm/día)	Etc	Precipitación efectiva (PE) (mm)	Disponible en el suelo (mm)
Miércoles	25/09/2013	143	0		1.00	5.39	5.39	0.00	69.01
Jueves	26/09/2013	144	10		1.00	5.96	5.96	9.84	72.89
Viernes	27/09/2013	145	2		1.00	5.43	5.43	1.99	69.45
Sábado	28/09/2013	146	12		1.00	5.59	5.59	11.77	75.63
Domingo	29/09/2013	147	0		1.00	5.73	5.73	0.00	69.90
Lunes	30/09/2013	148	18		1.00	5.71	5.71	17.48	79.14
Martes	01/10/2013	149	4		1.00	5.48	5.48	3.97	77.63
Miércoles	02/10/2013	150	0		1.00	4.96	4.96	0.00	72.67
Jueves	03/10/2013	151	0		1.00	4.52	4.52	0.00	68.15
Viernes	04/10/2013	152	0		1.00	4.19	4.19	0.00	63.96
Sábado	05/10/2013	153	0		1.00	4.45	4.45	0.00	59.51
Domingo	06/10/2013	154	10		1.00	4.89	4.89	9.84	64.46
Lunes	07/10/2013	155	4		1.00	5.53	5.53	3.97	62.91
Martes	08/10/2013	156	26		1.00	5.76	5.76	24.92	79.14
Miércoles	09/10/2013	157	6		1.00	5.81	5.81	5.94	79.14
Jueves	10/10/2013	158	54		1.00	6.04	6.04	49.33	79.14
Viernes	11/10/2013	159	0		1.00	5.92	5.92	0.00	73.22
Sábado	12/10/2013	160	0		1.00	5.61	5.61	0.00	67.61
Domingo	13/10/2013	161	0		1.00	5.55	5.55	0.00	62.06
Lunes	14/10/2013	162	0		1.00	5.05	5.05	0.00	57.01
Martes	15/10/2013	163	0		1.00	4.47	4.47	0.00	52.54
Miércoles	16/10/2013	164	0		1.00	4.31	4.31	0.00	48.23
Jueves	17/10/2013	165	0		1.00	4.41	4.41	0.00	43.82
Viernes	18/10/2013	166	12		1.00	4.99	4.99	11.77	50.60
Sábado	19/10/2013	167	0		1.00	5.41	5.41	0.00	45.19
Domingo	20/10/2013	168	6		1.00	5.47	5.47	5.94	45.66
Lunes	21/10/2013	1	0		0.30	5.45	1.64	0.00	23.74
Martes	22/10/2013	2	10		0.30	5.82	1.75	9.84	25.13
Miércoles	23/10/2013	3	0		0.30	5.61	1.68	0.00	23.45
Jueves	24/10/2013	4	26		0.30	5.7	1.71	24.92	27.90
Viernes	25/10/2013	5	12		0.30	4.37	1.31	11.77	29.28
Sábado	26/10/2013	6	74		0.30	4.81	1.44	65.24	30.67
Domingo	27/10/2013	7	8		0.30	5.09	1.53	7.90	32.05
Lunes	28/10/2013	8	36		0.30	4.31	1.29	33.93	33.44
Martes	29/10/2013	9	21		0.30	4.44	1.33	20.29	34.82
Miércoles	30/10/2013	10	0		0.30	4.65	1.40	0.00	33.43

Continuación del cuadro 23...									
Día	Fecha	Día establecido	Precipitación del día (mm)	Lámina de riego (mm)	Kc	Evo (mm/día)	Etc	Precipitación efectiva (PE) (mm)	Disponible en el suelo (mm)
Jueves	31/10/2013	11	0		0.30	4.64	1.39	0.00	32.03
Viernes	01/11/2013	12	0		0.30	4.31	1.29	0.00	30.74
Sábado	02/11/2013	13	68		0.30	4.38	1.31	60.60	40.36
Domingo	03/11/2013	14	10		0.30	4.15	1.25	9.84	41.75
Lunes	04/11/2013	15	0		0.30	4.20	1.26	0.00	40.49
Martes	05/11/2013	16	0		0.34	4.68	1.57	0.00	38.92
Miércoles	06/11/2013	17	0		0.37	5.27	1.96	0.00	36.96
Jueves	07/11/2013	18	0		0.41	5.73	2.34	0.00	34.62
Viernes	08/11/2013	19	0		0.44	5.3	2.35	0.00	32.27
Sábado	09/11/2013	20	4		0.48	5.21	2.50	3.97	33.74
Domingo	10/11/2013	21	3		0.52	5.27	2.72	2.99	34.01
Lunes	11/11/2013	22	6		0.55	5.02	2.77	5.94	37.18
Martes	12/11/2013	23	0		0.59	4.47	2.63	0.00	34.55
Miércoles	13/11/2013	24	0		0.62	4.69	2.93	0.00	31.62
Jueves	14/11/2013	25	0		0.66	5.42	3.58	0.00	28.05
Viernes	15/11/2013	26	44		0.70	5.71	3.97	40.90	58.37
Sábado	16/11/2013	27	0		0.73	5.9	4.32	0.00	54.05
Domingo	17/11/2013	28	0		0.77	5.86	4.50	0.00	49.55
Lunes	18/11/2013	29	0		0.80	5.99	4.82	0.00	44.73
Martes	19/11/2013	30	0		0.84	5.38	4.52	0.00	40.22
Miércoles	20/11/2013	31	0		0.88	5.59	4.90	0.00	35.32
Jueves	21/11/2013	32	0		0.91	5.44	4.96	0.00	30.36
Viernes	22/11/2013	33	0		0.95	5.31	5.03	0.00	25.32
Sábado	23/11/2013	34	6		0.98	4.85	4.77	5.94	26.49
Domingo	24/11/2013	35	0		1.02	4.57	4.66	0.00	21.83
Lunes	25/11/2013	36	0		1.06	4.38	4.63	0.00	17.21
Martes	26/11/2013	37	0		1.09	4.57	4.99	0.00	12.22
Miércoles	27/11/2013	38	0		1.13	4.89	5.52	0.00	6.70
Jueves	28/11/2013	39	14		1.16	5.18	6.03	13.69	14.36
Viernes	29/11/2013	40	0		1.20	5.49	6.59	0.00	7.77
Sábado	30/11/2013	41	0		1.20	5.42	6.50	0.00	1.27
Domingo	01/12/2013	42	0		1.20	5.27	6.32	0.00	0.00
Lunes	02/12/2013	43	0		1.20	4.98	5.98	0.00	0.00
Martes	03/12/2013	44	0		1.20	5.2	6.24	0.00	0.00
Miércoles	04/12/2013	45	0		1.20	5.44	6.53	0.00	0.00
Jueves	05/12/2013	46	0		1.20	5.42	6.50	0.00	0.00

Continuación del cuadro 23...									
Día	Fecha	Día establecido	Precipitación del día (mm)	Lámina de riego (mm)	Kc	Evo (mm/día)	Etc	Precipitación efectiva (PE) (mm)	Disponible en el suelo (mm)
Viernes	06/12/2013	47	0		1.20	5.54	6.65	0.00	0.00
Sábado	07/12/2013	48	0		1.20	5.61	6.73	0.00	0.00
Domingo	08/12/2013	49	0		1.20	5.35	6.42	0.00	0.00
Lunes	09/12/2013	50	0		1.20	5.31	6.37	0.00	0.00
Martes	10/12/2013	51	0		1.20	5.01	6.01	0.00	0.00
Miércoles	11/12/2013	52	0		1.20	4.36	5.23	0.00	0.00
Jueves	12/12/2013	53	0		1.20	4.31	5.17	0.00	0.00
Viernes	13/12/2013	54	0		1.20	4.42	5.30	0.00	0.00
Sábado	14/12/2013	55	0		1.20	4.96	5.95	0.00	0.00
Domingo	15/12/2013	56	0		1.20	5.35	6.42	0.00	0.00
Lunes	16/12/2013	57	0		1.20	5.45	6.54	0.00	0.00
Martes	17/12/2013	58	0		1.20	5.44	6.53	0.00	0.00
Miércoles	18/12/2013	59	0		1.20	5.27	6.32	0.00	0.00
Jueves	19/12/2013	60	0		1.20	5.4	6.48	0.00	0.00
Viernes	20/12/2013	61	0		1.20	5.43	6.52	0.00	0.00
Sábado	21/12/2013	62	0		1.20	5.46	6.55	0.00	0.00
Domingo	22/12/2013	63	0		1.20	5.18	6.22	0.00	0.00
Lunes	23/12/2013	64	0		1.20	4.57	5.48	0.00	0.00
Martes	24/12/2013	65	0		1.20	4.19	5.03	0.00	0.00
Miércoles	25/12/2013	66	0		1.20	4.48	5.38	0.00	0.00
Jueves	26/12/2013	67	0		1.20	4.74	5.69	0.00	0.00
Viernes	27/12/2013	68	0		1.20	5.11	6.13	0.00	0.00
Sábado	28/12/2013	69	0		1.20	5.34	6.41	0.00	0.00
Domingo	29/12/2013	70	0		1.16	5.58	6.47	0.00	0.00
Lunes	30/12/2013	71	0		1.12	5.44	6.09	0.00	0.00
Martes	31/12/2013	72	0		1.08	5.59	6.03	0.00	0.00
Miércoles	01/01/2014	73	0		1.04	5.56	5.77	0.00	0.00
Jueves	02/01/2014	74	0		1.00	5.56	5.55	0.00	0.00
Viernes	03/01/2014	75	0		0.96	4.92	4.71	0.00	0.00
Sábado	04/01/2014	76	0		0.92	4.64	4.25	0.00	0.00
Domingo	05/01/2014	77	0		0.88	4.38	3.84	0.00	0.00
Lunes	06/01/2014	78	0		0.84	4.48	3.74	0.00	0.00
Martes	07/01/2014	79	0		0.80	4.74	3.77	0.00	0.00
Miércoles	08/01/2014	80	0		0.75	5.25	3.96	0.00	0.00
Jueves	09/01/2014	81	0		0.71	5.34	3.81	0.00	0.00
Viernes	10/01/2014	82	0		0.67	5.62	3.79	0.00	0.00

Continuación del cuadro 23...									
Día	Fecha	Día establecido	Precipitación del día (mm)	Lámina de riego (mm)	Kc	Evo (mm/día)	Etc	Precipitación efectiva (PE) (mm)	Disponible en el suelo (mm)
Sábado	11/01/2014	83	0		0.63	5.58	3.53	0.00	0.00
Domingo	12/01/2014	84	0		0.59	5.57	3.30	0.00	0.00
Lunes	13/01/2014	85	0		0.55	5.57	3.08	0.00	0.00
Martes	14/01/2014	86	0		0.51	5.46	2.80	0.00	0.00
Miércoles	15/01/2014	87	0		0.47	5.09	2.40	0.00	0.00
Jueves	16/01/2014	88	0		0.43	4.81	2.07	0.00	0.00
Viernes	17/01/2014	89	0		0.39	4.33	1.69	0.00	0.00
Sábado	18/01/2014	90	0		0.35	4.96	1.74	0.00	0.00

Fuente: Autor, (2013)

Cuadro 24: Determinación de la Lámina de Humedad Aprovechable (LHA) en milímetros por fase fenológica del cultivo de *Z. mays*

Fase del cultivo	% CC	% PMP	Da (g/cc)	Zr (cm)	LHA (mm)
Germinación	31.09	23.48	1.04	0.30	23.74
Germinación	31.09	23.48	1.04	0.32	25.13
Germinación	31.09	23.48	1.04	0.34	26.51
Germinación	31.09	23.48	1.04	0.35	27.90
Germinación	31.09	23.48	1.04	0.37	29.28
Germinación	31.09	23.48	1.04	0.39	30.67
Germinación	31.09	23.48	1.04	0.41	32.05
Germinación	31.09	23.48	1.04	0.42	33.44
Germinación	31.09	23.48	1.04	0.44	34.82
Germinación	31.09	23.48	1.04	0.46	36.21
Germinación	31.09	23.48	1.04	0.48	37.59
Germinación	31.09	23.48	1.04	0.49	38.98
Germinación	31.09	23.48	1.04	0.51	40.36
Germinación	31.09	23.48	1.04	0.53	41.75
Germinación	31.09	23.48	1.04	0.55	43.13
Vegetativa	31.09	23.48	1.04	0.56	44.52
Vegetativa	31.09	23.48	1.04	0.58	45.90
Vegetativa	31.09	23.48	1.04	0.60	47.29
Vegetativa	31.09	23.48	1.04	0.62	48.67
Vegetativa	31.09	23.48	1.04	0.63	50.06
Vegetativa	31.09	23.48	1.04	0.65	51.44
Vegetativa	31.09	23.48	1.04	0.67	52.83
Vegetativa	31.09	23.48	1.04	0.69	54.21
Vegetativa	31.09	23.48	1.04	0.70	55.60
Vegetativa	31.09	23.48	1.04	0.72	56.98
Vegetativa	31.09	23.48	1.04	0.74	58.37
Vegetativa	31.09	23.48	1.04	0.76	59.75
Vegetativa	31.09	23.48	1.04	0.77	61.14
Vegetativa	31.09	23.48	1.04	0.79	62.52
Vegetativa	31.09	23.48	1.04	0.81	63.91
Vegetativa	31.09	23.48	1.04	0.82	65.29
Vegetativa	31.09	23.48	1.04	0.84	66.68
Vegetativa	31.09	23.48	1.04	0.86	68.06
Vegetativa	31.09	23.48	1.04	0.88	69.45
Vegetativa	31.09	23.48	1.04	0.89	70.83

Cuadro 25: Determinación del Punto Crítico de humedad en el suelo (PC) en milímetros por fase fenológica del cultivo de *Z. mays*

Fase del cultivo	LHA (mm)	UR (%)	PC (mm)
Germinación	23.74	0.45	10.68
Germinación	25.13	0.45	11.31
Germinación	26.51	0.45	11.93
Germinación	27.90	0.45	12.55
Germinación	29.28	0.45	13.18
Germinación	30.67	0.45	13.80
Germinación	32.05	0.45	14.42
Germinación	33.44	0.45	15.05
Germinación	34.82	0.45	15.67
Germinación	36.21	0.45	16.29
Germinación	37.59	0.45	16.92
Germinación	38.98	0.45	17.54
Germinación	40.36	0.45	18.16
Germinación	41.75	0.45	18.79
Germinación	43.13	0.45	19.41
Vegetativa	44.52	0.45	20.03
Vegetativa	45.90	0.45	20.66
Vegetativa	47.29	0.45	21.28
Vegetativa	48.67	0.45	21.90
Vegetativa	50.06	0.45	22.53
Vegetativa	51.44	0.45	23.15
Vegetativa	52.83	0.45	23.77
Vegetativa	54.21	0.45	24.40
Vegetativa	55.60	0.45	25.02
Vegetativa	56.98	0.45	25.64
Vegetativa	58.37	0.45	26.27
Vegetativa	59.75	0.45	26.89
Vegetativa	61.14	0.45	27.51
Vegetativa	62.52	0.45	28.14
Vegetativa	63.91	0.45	28.76
Vegetativa	65.29	0.45	29.38
Vegetativa	66.68	0.45	30.01
Vegetativa	68.06	0.45	30.63
Vegetativa	69.45	0.45	31.25

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Centro Universitario de Sur Occidente
CUNSUROC
Apartado Postal: 606
Mazatenango, Suchitepéquez

Mazatenango, Marzo de 2014.

M. Sc. Erick Alexander España Miranda
Coordinador de la Carrera de Agronomía Tropical
Centro Universitario de Sur Occidente
Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetable M. Sc. Erick España:

Por medio de la presente hago de su conocimiento que cumpliendo con el nombramiento que me fue asignado, he procedido a supervisar y asesorar el trabajo de graduación del estudiante: **Carlos Humberto Rodríguez Hernández**, carnet: 200740419, el cual lleva por título: **Evaluación del poliacrilato de potasio y de materiales genéticos de *Zea mays L.* en dos épocas climáticas del año en La Máquina, Cuyotenango, Suchitepéquez.**

Luego del asesoramiento, supervisión y revisión del informe escrito, considero que el mismo llena los requisitos para continuar con los trámites correspondientes que rigen este centro universitario y firmo la presente, dando fe de lo antes mencionado.

Sin nada más que agregar, me suscribió de su persona.

Atentamente;

Ing. Agr. Msc. Milton Leonel Chan Santisteban
Supervisor, Revisor
Carrera de Agronomía Tropical



Centro Universitario de Sur Occidente
CUNSUROC
Apartado Postal: 606
Mazatenango, Suchitepéquez

Mazatenango, Marzo de 2014

**Licenciado José Alberto Chuga Escobar.
Director Centro Universitario de Sur Occidente
Universidad de San Carlos de Guatemala**

Respetable, Licenciado:

Por medio de la presente, le informo que el estudiante: Carlos Humberto Rodríguez Hernández, carnet 200740419, de la carrera de Agronomía Tropical, ha concluido su trabajo de graduación titulado: **Evaluación del poliacrilato de potasio y de materiales genéticos de Zea mays L. en dos épocas climáticas del año en La Máquina, Cuyotenango, Suchitepéquez**, el cual fue supervisado y revisado por el Ing. Agr. Milton Leonel Chan Santisteban, catedrático de la carrera de Agronomía Tropical.

Como coordinador de la carrera de Agronomía Tropical, hago constar que el estudiante: Carlos Humberto Rodríguez Hernández, ha cumplido con el normativo del trabajo de graduación, razón por la cual someto a su consideración el documento para que continúe con el trámite correspondiente.

Sin nada más que agregar, me suscribo de usted.

Atentamente;


M. Sc. Erick Alexander España Miranda
Coordinador de la Carrera de Agronomía Tropical

Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Univ. Occidente
AGRONOMIA 



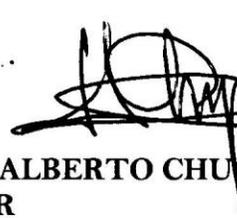
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

CUNSUROC/USAC-I-15-2014

DIRECCIÓN DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE, Mazatenango,
Suchitepéquez, tres de abril de dos mil catorce. _____

Encontrándose agregados al expediente los dictámenes del asesor y revisor, SE
AUTORIZA LA IMPRESIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN TITULADO:
“EVALUACIÓN DEL POLIACRILATO DE POTASIO Y DE MATERIALES
GENÉTICOS DE Zea mays L. EN DOS ÉPOCAS CLIMÁTICAS DEL AÑO EN LA
MÁQUINA, CUYOTENANGO, SUCHITEPÉQUEZ”, del estudiante: T.P.A. Carlos
Humberto Rodríguez Hernández, carné 200740419 de la carrera Ingeniería en
Agronomía Tropical.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”




LIC. JOSÉ ALBERTO CHUGA ESCOBAR
DIRECTOR