

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE
INGENIERÍA EN AGRONOMÍA TROPICAL
EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO



Evaluación del poliacrilato de potasio, en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*), como práctica de adaptación a la amenaza de sequía, Parramos, Chimaltenango.

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

JULIO RENATO ALARCON RECINOS
CARNÉ No. 200740359

Previo a conferirse el título de:
INGENIERO AGRÓNOMO
En el grado académico de Licenciado

MAZATENANGO, SUCHITEPÉQUEZ, NOVIEMBRE, 2013.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



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

Mazatenango, noviembre de 2013.

**Honorable Consejo Directivo
Centro Universitario de Sur Occidente
Universidad de San Carlos de Guatemala**

Distinguidos integrantes del Consejo Directivo:

De conformidad a las normas establecidas del Centro Universitario de Sur Occidente y de la carrera de Agronomía Tropical, someto a su consideración el presente trabajo de graduación titulado: **Evaluación del poliacrilato de potasio, en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*), como práctica de adaptación a la amenaza de sequía, Parramos, Chimaltenango.**

Requisito para optar al título de Ingeniero Agrónomo, en el grado académico de licenciado.

Sin nada más que agregar, me suscribo de ustedes.

Atentamente,

Julio Renato Alarcón Recinos
Carnet: 200740359



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

Mazatenango, noviembre de 2013.

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 fuera asignado, he procedido a supervisar y asesorar el trabajo de graduación del estudiante: Julio Renato Alarcón Recinos, carnet 200740359, el cual lleva por título: **Evaluación del poliacrilato de potasio, en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*), como práctica de adaptación a la amenaza de sequía, Parramos, Chimaltenango.**

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 firmamos la presente, dando fe de lo antes mencionado.

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

Atentamente;

Dr. Mynor Raúl Otzoy Rosales
Supervisor, Revisor
Carrera de Agronomía Tropical

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



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

Mazatenango, noviembre de 2013

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: Julio Renato Alarcón Recinos, carnet 200740359, de la carrera de Agronomía Tropical, ha concluido su trabajo de graduación titulado: **Evaluación del poliacrilato de potasio, en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*), como práctica de adaptación a la amenaza de sequía, Parramos, Chimaltenango**, el cual fue supervisado y revisado por el Dr. Mynor Raúl Otzoy Rosales, catedrático de la carrera de Agronomía Tropical.

Como coordinador de la carrera de Agronomía Tropical, hago constar que el estudiante: Julio Alarcón, 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 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

COORDINACIÓN ACADÉMICA

COORDINADOR ACADÉMICO

Dr. Luis Gregorio San Juan Estrada

COORDINADOR CARRERA ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS

M. Sc. Rafael Armando Fonseca Ralda

COORDINADOR ÁREA SOCIAL HUMANÍSTICA

Lic. José Felipe Martínez Domínguez

COORDINADOR CARRERA DE TRABAJO SOCIAL

Dr. Ralfi Obdulio Pappa Santos

COORDINADOR CARRERAS DE PEDAGOGÍA

M. Sc. Nery Edgar Saquimex Canastuj

COORDINADOR CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

M. Sc. Gladys Floriselda Calderón Castilla

COORDINADOR CARRERA DE AGRONOMÍA TROPICAL

M. Sc. Erick Alexander España Miranda

ENCARGADO CARRERA DE CIENCIAS JURÍDICAS Y SOCIALES, ABOGADO Y NOTARIO

Lic. Henry Estuardo Ayala Dardón

ENCARGADO CARRERA DE GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

M. Sc. Celso Gonzáles Morales

CARRERAS PLAN FIN DE SEMANA

ENCARGADO CARRERAS DE PEDAGOGÍA

Lic. Manuel Antonio Gamboa Gutiérrez

ENCARGADO CARRERA DE PERIODISMO PROFESIONAL Y LICENCIATURA EN CIENCIAS DE LA COMUNICACIÓN

Lic. Paola Marisol Rabanales

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS: Por darme la vida y la oportunidad de culminar una etapa de mi vida profesional.

MI MADRE Y PADRE: Por su amor, apoyo y confianza incondicional durante mi vida.

MIS HERMANOS: Luis Alberto Alarcon Recinos y Plinio Alejandro Alarcon Recinos.

MI TIO: Reynaldo Humberto Alarcon Noguera.

MIS AMIGOS: Los cuales son tantos que escribir una lista de sus nombres serian demasiadas paginas.

LA CARRERA: Por haberme brindado las herramientas necesarias para poder desempeñarme como profesional.

LOS CATEDRATICOS: Por sus enseñanzas y su invaluable amistad.

AI ICC: Por darme la oportunidad de realizar mi EPS, por el apoyo, colaboración y sabios aprendizajes.

Y a todos los aquí presentes y por aquellos que no pudieron estar acompañándome en este momento tan especial y memorable en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A:

Mi asesor Dr. Mynor Raúl Otzoy Rosales. Por su apoyo, colaboración, sabiduría y sus sabios consejos durante todo este proceso de EPS, por su valiosa y oportuna colaboración para concluir el presente trabajo de graduación.

A Ana María Moreno Cojulum de Cortez y familia, por ser como una madre para mí y brindarme su apoyo amor y cariño en todo momento.

A Flor de María Candelaria Domingo Camposeco por ser como una hermanita para mí, por su apoyo y cariño incondicional durante todo el proceso universitario y de EPS.

Al Ing. Pablo Yax por abrir las puertas a futuros profesionales en el Instituto privado de investigación Sobre Cambio Climático –ICC-, su apoyo y asesoría durante el proceso de EPS

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

La **Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC)**.

Al **Centro Universitario del Suroccidente (CUNSUROC)**.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
I. INTRODUCCIÓN	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
III. JUSTIFICACIÓN.....	3
IV. MARCO TEÓRICO	5
4.1. MARCO CONCEPTUAL	5
4.1.1. Calentamiento global	5
4.1.2. Cambio climático	5
4.1.3. Efecto invernadero.....	5
4.1.4. Gas de efecto invernadero (GEI)	6
4.1.5. Proyección climática	7
4.1.6. Conceptos.....	7
4.1.7. Cambios observados en el clima.	10
4.1.8. Causas del cambio climático	10
4.1.9. El cambio climático proyectado a nivel mundial.....	12
4.1.10. Escenarios futuros de temperatura para Guatemala	14
4.1.11. Demanda futura por usos de agua municipal, industrial y agrícola	17
4.1.12. Variación del rendimiento del frijol ante variaciones de temperatura y precipitación.	18
4.1.13. Poliacrilato de potasio (hidrogel o lluvia sólida)	21
4.1.14. Beneficios del poliacrilato de potasio.....	25
4.1.15. Mejoramiento del suelo y humedad con el uso del hidrogel	25
4.1.16. Composición química del poliacrilato de potasio	26
4.1.17. Forma de aplicación y dosificación del poliacrilato de potasio.....	26
4.1.18. Temas sobre el uso de poliacrilato de potasio en relación con el cultivo de frijol	27
4.1.19. Cultivo del frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....	28
4.1.20. Variedad de frijol ICTA Altense.....	31

4.1.21. Factores que intervienen en la producción de frijol.....	31
4.1.22. Cultivares nativos	32
4.1.23. Cultivares mejorados	32
4.1.24. El clima como factor fundamental para la producción de cultivos	32
4.2. MARCO REFERENCIAL.....	34
4.2.1. Ubicación geográfica, colindancias y accesos del municipio de Parramos	34
4.2.2. Coordenadas geográficas del municipio de Parramos	35
4.2.3. Descripción ecológica del municipio de Parramos.....	35
4.2.4. Clima.....	35
4.2.5. Suelo.....	36
4.2.6. Capacidad de uso de la tierra del municipio de Parramos.....	37
4.2.7. Uso de la tierra del municipio de Parramos	38
4.2.8. Amenazas climáticas del municipio de Parramos.....	39
V. OBJETIVOS.....	40
VI. HIPÓTESIS.....	41
VII. MATERIALES Y MÉTODOS.....	42
7.1. Determinación de la capacidad de retención de agua del poliacrilato de potasio	42
7.2. Metodología para evaluar el rendimiento en kg/ha de un cultivar y una variedad de frijol, sometidos al uso del poliacrilato de potasio	43
7.2.1. Poliacrilato de potasio a evaluar como factor	43
7.2.2. Materiales de frijol a evaluar.....	44
7.2.3. Especificaciones generales sobre la siembra y manejo del área experimental	44
7.2.4. Preparación del terreno	44
7.2.5. Labores culturales	48
7.2.6. Recursos a utilizar en el experimento	49
7.2.7. Diseño experimental.....	50

7.2.8. Unidad experimental y aleatorización.....	53
7.2.9. Análisis de variable a evaluar.....	56
7.2.10. Toma de datos	56
7.2.11. Análisis de la información.....	56
7.2.12. Comparación múltiple de medias	57
7.3. Análisis de las variables de precipitación y temperatura monitoreados durante el desarrollo de la investigación.....	57
7.4. Análisis económico de los tratamientos	59
VIII. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	60
IX. CONCLUSIONES	73
X. RECOMENDACIONES.....	76
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	77
XII. ANEXOS.....	80

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
1. Información toxicológica del poliacrilato de potasio.....	24
2. Clasificación taxonómica del frijol (<i>Phaseolus vulgaris L.</i>)	30
3. Categoría de capacidad de uso de la tierra.....	37
4. Porcentaje de área y uso actual del municipio de Parramos, Chimaltenango...38	
5. Control de enfermedades del cultivo de frijol.....	49
6. Tratamientos con y sin poliacrilato de potasio y materiales genéticos de frijol. .52	
7. Variables de T, Hr y RMD, para cálculo de ETo, método de Hargreaves	58
8. Valores de la absorción de agua del poliacrilato de potasio.....	60
9. Ubicación, tratamiento, materiales de frijol, rendimiento por 15m ² kg/ha y qq/ha.	61
10. Prueba de medias de los materiales de frijol en evaluación con poliacrilato de potasio en campo (Kg/ha).....	63
11. Resultado de la prueba de tukey al factor poliacrilato de potasio.....	64
12. Diferencia significativa del factor B (materiales de frijol)	65
13. Prueba de medias de los materiales de frijol en evaluación con poliacrilato de potasio en invernadero (Kg/ha).....	66
14. Significancia de los grupos homogéneos del tratamiento A y B	67
15. Balance hídrico del frijol en condiciones de campo durante cinco meses.	68
16. Balance hídrico del frijol en condiciones de invernadero.....	69
17. Costo de producción por hectárea del cultivo de frijol.	70

18. Rendimiento de frijol en kg/15m ² , kg/cuerda y qq/cuerda en campo.....	71
19. Materiales de frijol, inversión, ingreso neto, ganancia neta con y sin poliacrilato de potasio.	72
20. Calificación del grado de amenaza por sequía en áreas del país.	81
21. Kilogramos de frijol obtenidos por cada unidad experimental de la evaluación en campo.	85
22. Kilogramos de frijol obtenidos por cada unidad experimental de la evaluación en invernadero.....	86
23. Peso de cada unidad experimental de frijol en kilogramos de la evaluación en campo.	87
24. Peso de cada unidad experimental de frijol en kilogramos de la evaluación en invernadero.	89

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Escenarios de emisiones de GEI entre 2000 y 2100 (en ausencia de políticas climáticas adicionales) (A), y proyección de las temperaturas en superficie (B).	13
2. Temperatura media anual, escenario B2, 1960 a 2100 en Guatemala.	15
3. Temperatura media anual, escenario A2, 1960 A 2100 de Guatemala.	16
4. Guatemala: evolución de la demanda de agua para la agricultura (en millones de metros cúbicos al año).	17
5. Centroamérica: variación del rendimiento del frijol ante variaciones de temperatura (en toneladas por hectárea y grados centígrados)	19
6. Centroamérica: variación del rendimiento del frijol ante variaciones de precipitación (en toneladas por hectárea y milímetros de precipitación).....	20
7. Molécula de poliacrilato de potasio	22
8. Funcionamiento del poliacrilato de potasio.....	23
9. Mapa de división administrativa del departamento de Chimaltenango.....	34
10. Poliacrilato de potasio hidratado.	46
11. Incorporación del poliacrilato de potasio en el suelo.	46
12. Método de incorporación del poliacrilato de potasio en y siembra de frijol.....	47
13. Evaluación del poliacrilato de potasio en campo y en invernadero.	51
14. Dimensiones de la parcela neta en evaluación	54
15. Distribucion de los tratamientos en campo y en invernadero.	55

16. Fórmula para el cálculo de evapotranspiración por el método de Hargreaves.	57
17. Resultados de los tratamientos de frijol (Kg)	62
18. Municipios priorizados según superficie amenazada por sequía. República de Guatemala.	80
19. Invernadero, Parramos, Chimaltenango.....	82
20. Temperaturas de ambiente, máximas y mínimas, reportadas durante el desarrollo de la investigación en campo.	83
21. Temperaturas de ambiente, máximas y mínimas, reportadas durante el desarrollo de la investigación en el invernadero.	83
22. Temperaturas de ambiente, máximas y mínimas, reportadas durante el desarrollo de la investigación en el invernadero.	84
23. Peso de 1gr, 2gr y 3gr de poliacrilato de potasio a hidratar.	90
24. Medida de volumen de agua con beaker de 1000ml.....	91
25. Hidratación del poliacrilato de potasio por una hora.....	92
26. Secado de poliacrilato de potasio hidratado en papel absorbente.	93
27. Peso del poliacrilato de potasio luego de haberse hidratado y secado	94

ABSTRACT

This study was conducted in the period from June to September 2013, in the town of Parramos, department of Chimaltenango, a municipality with a high risk of drought during the rainy season and in certain cases the same delayed. That is why the use of potassium polyacrylate and practical potential threat of drought in the cultivation of beans (*Phaseolus vulgaris L.*) was evaluated, which according to the marketing firm that distributes Aqua warehouse (2009) has the property of absorb and release water according to crop water needs, remaining for seven years in the ground to its degradation, becoming a reservoir of water in the soil. This practice was intended to reduce the impact of drought in the town of Parramos.

The objectives were to: 1) evaluate the potassium polyacrylate, in the cultivation of beans (*Phaseolus vulgaris L.*) under greenhouse conditions (water deficit) and in field conditions. 2) Determine the capacity retention of potassium polyacrylate. 3) Evaluate the yield in kg / ha in a native cultivar and improved bean, subject to the use of potassium polyacrylate variety. 4) To analyze the variables of temperature and precipitation during the course of the investigation. 5) Perform economic analysis of the use of potassium polyacrylate, in the cultivation of beans (*Phaseolus vulgaris L.*)

We used a cultivar of beans from farmers in the town of the municipality of Parramos and a variety of ICTA called ICTA Altense for this plot was established directly to the soil as a witness where the temperature and precipitation monitoring and greenhouse where the temperature was monitored and the materials in bean bags were planted. In both environments adequate fertilization based on their nutritional requirements, pest and disease control, weed control, staking, site preparation and soil bags was performed, potassium polyacrylate was incorporated in a targeted manner and hydrated, located by below ground and positions.

The results obtained were that the potassium polyacrylate not absorb 500 times its weight as it technically Aqua manufacturers warehouse report (2009), using potassium polyacrylate bean crops statistically significant difference was obtained between produce without the potassium polyacrylate as the water balance performed with variables of precipitation and monitored temperature was determined in field water deficit in bean crop in June and in the greenhouse during the months of June, it was reported , July and September, also found that the use of potassium polyacrylate bean cultivation in a string field turns out to be unprofitable for farmers Parramos.

This investigation gave guidelines to the following recommendations: a) conduct the evaluation of potassium polyacrylate in drier areas, most report high temperatures and less precipitation, b) to evaluate different doses of potassium polyacrylate bean cultivation and. different densities, c) the study of the hydrogel with respect to nutrient uptake or nutrient solutions for plants, d) conduct the evaluation of the behavior of potassium polyacrylate in soil and its effect on crop yield bean for six years and to determine the effect of performance degradation under potassium polyacrylate, e) evaluate the potassium polyacrylate and its effect on bean crops with respect to their phenological characteristics.

RESUMEN

El presente estudio se realizó en el periodo de los meses de junio a septiembre del 2013, en el municipio de Parramos, departamento de Chimaltenango, que es un municipio con alto riesgo de sequía durante la época lluviosa y en ciertos casos el retrasó de la misma. Es por ello que se evaluó el uso del poliacrilato de potasio como práctica potencial a la amenaza de sequía en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*), el cual según la casa comercial que la distribuye Aqua warehouse (2009) tiene la característica de absorber agua y liberarla según las necesidades hídricas del cultivo, permaneciendo por siete años en el suelo hasta su degradación, convirtiéndose en un reservorio de agua en el suelo. Con esta práctica se pretendió disminuir el impacto de la sequía en el municipio de Parramos.

Los objetivos fueron; 1) Evaluar el poliacrilato de potasio, en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) en condiciones de invernadero (déficit de agua) y en condiciones de campo. 2) Determinar la capacidad de retención del poliacrilato de potasio. 3) Evaluar el rendimiento en kg/ha en un cultivar nativo y una variedad mejorada de frijol, sometidos al uso del poliacrilato de potasio. 4) Analizar las variables de temperatura y precipitación durante el desarrollo de la investigación. 5) Realizar el análisis económico del uso de poliacrilato de potasio, en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*)

Se utilizó un cultivar de frijol proveniente de los agricultores de la localidad del municipio de Parramos y una variedad del ICTA que se denomina ICTA Altense, para esto se estableció una parcela directamente al suelo como testigo en donde se monitoreo la temperatura y la precipitación y en invernadero donde se monitoreo la temperatura y se sembraron los materiales de frijol en bolsas. En ambos ambientes se realizó una adecuada fertilización en base a su requerimiento nutricional, control de plagas y enfermedades, control de malezas, tutorado, preparación del terreno y suelo de las bolsas, el poliacrilato de potasio se

incorporo de forma dirigida e hidratado, ubicado por debajo del suelo y de las posturas.

Los resultados que se obtuvieron fueron que el poliacrilato de potasio no absorbe 500 veces su peso como técnicamente lo reportan los fabricantes Aqua warehouse (2009), con el uso del poliacrilato de potasio en el cultivo de frijol se obtuvo una diferencia estadísticamente significativa entre producir con y sin el poliacrilato de potasio, según el balance hídrico realizado con las variables de precipitación y temperatura monitoreados se determinó que en campo se reportó un déficit hídrico en el cultivo de frijol en el mes de junio y en el invernadero en los meses de junio, julio y septiembre, también se determinó que el uso del poliacrilato de potasio en el cultivo de frijol en una cuerda de terreno resulta ser no rentable para los agricultores de Parramos.

Dicha investigación dió pauta a las siguientes recomendaciones: a) realizar la evaluación del poliacrilato de potasio en zonas más secas, con mayor reporte de temperaturas altas y menor precipitación.; b) evaluar distintas dosis del poliacrilato de potasio en el cultivo de frijol y con distintas densidades de siembra.; c) el estudio del hidrogel con respecto a la asimilación de nutrientes o soluciones nutritivas para las plantas.; d) realizar la evaluación del comportamiento del poliacrilato de potasio en el suelo y su efecto en el rendimiento del cultivo de frijol durante seis años más y determinar así el efecto del rendimiento conforme a la degradación del poliacrilato de potasio y e) evaluar el poliacrilato de potasio y su efecto en el cultivo de frijol con respecto a sus características fenológicas.

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los principales problemas mundiales que varios estudios científicos tratan mostrar evidencias acerca de este tema y de su importancia actual y futura, ya que no es un problema de hace algunos años, sino que se ha venido agravando desde la revolución industrial (CEPAL, 2011). Pero ¿qué es el cambio climático? "Por cambio climático se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables". (CEPAL, 2011)

Entre los problemas o amenazas climáticas que se han intensificado en Guatemala debido al cambio climático, se menciona la sequía, que no es más que la reducción de la cantidad de lluvia en épocas de invierno o épocas lluviosas, según la CEPAL (2011), que hasta la fecha ha causado un 57% pobreza y 15.7% de pobreza extrema en Guatemala.

En este caso como práctica agrícola potencial de adaptación a la amenaza de sequía, se evaluó el uso del poliacrilato de potasio o como comercialmente se conoce "Lluvia sólida", en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*), que es uno de los principales alimentos de la población guatemalteca.

Esta tecnología puede brindar una alternativa al problema de la reducción de los rendimientos de los cultivos por el efecto de la escasez de agua, actuando como reservorio de agua en el suelo (Aqua warehouse, 2009). Es por ello que se evaluó la influencia del poliacrilato de potasio en el rendimiento del cultivo de frijol en kilogramos por hectárea, que pueda mantener el rendimiento de cultivos o en algunos casos aumentar el rendimiento del frijol, que es parte de la dieta diaria del guatemalteco y así fortalecer la seguridad alimentaria del municipio de Parramos, Chimaltenango, y que esta práctica sirva como prueba piloto, para ser implementado en otros departamentos del país con problemas de acceso de agua o escasez de la misma.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Guatemala al igual que el resto de los países del mundo es susceptible a las amenazas climáticas como la sequía, las inundaciones, los fuertes vientos, las fuertes lluvias, las heladas, entre otros. Que son amenazas causadas por el cambio climático, generado por la contaminación ambiental, la acumulación de basura y de los gases de efecto invernadero (CIE, 2007).

En Guatemala más del 10% del territorio nacional posee un alto grado de amenaza a sequías, cuya situación ha sido generada por el calentamiento global (cambios en la temperatura y la precipitación pluvial). Dentro de las zonas de Guatemala con alto grado de amenaza de sequía se encuentra el municipio de Parramos, en el departamento de Chimaltenango. (MAGA. 2002)

En el municipio de Parramos, puede considerarse que la seguridad alimentaria se verá afectada en un futuro, ya que tanto los cultivos de consumo diario como el maíz y el frijol pueden verse afectados por el impacto de las amenazas climáticas como en este caso la sequía.

El efecto de la sequía causa la reducción de la lluvia y por ende la poca disponibilidad de agua al cultivo, que causa una baja de alimentos por la pérdida o la reducción de los rendimientos de las cosechas mayormente en cultivos de subsistencia como el frijol o el maíz.

Es por ello que es necesario encontrar alternativas que reduzcan el daño de los cultivos o las pérdidas de alimentos generadas por estas amenazas climáticas, en el caso de la sequía es necesario el desarrollo o la evaluación de alternativas o tecnologías que ayuden al uso óptimo y racional del agua, ya que el efecto de esta amenaza es la reducción de la disponibilidad del agua.

III. JUSTIFICACIÓN

Según CEPAL (2011), en el reporte técnico del cambio en la economía con respecto al cambio climático en Centroamérica, se registraron un total de seis a ocho eventos de sequías, comparando los registros de los años 1974 al 2004 entre los promedios de los años 1980 a 2001, el fenómeno de la sequía causa una reducción de menos del 50% de precipitación en la zonas afectadas, disminuyendo la disponibilidad de agua para los cultivos agrícolas, que se producen sin implementar riego.

Según el MAGA (2012), estos eventos de escasez de agua generaron en el año dos mil doce la pérdida en la producción y el rendimiento del frijol negro, provocando pérdidas a los agricultores por más de Q6 millones, causado por la sequía que se generó en ese año, esta pérdida reportada en la cosecha de frijol tuvo una repercusión en el alza de los precios del quintal de frijol ya que en diciembre del año 2012 el precio redondeaba los Q.388.00 y en enero del 2013 el quintal del frijol redondeó los Q.411.00, con un aumento del 5.93% que correspondió a Q.23.00 más, esta alza de los precios causó en la población de escasos recursos la poca accesibilidad a estos alimentos de consumo diario. (El periódico, 2012)

Para evaluar el uso del poliacrilato de potasio como práctica potencial ante la amenaza de sequía, se realizó la evaluación del poliacrilato de potasio o lluvia sólida, en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*), ya que desde el punto de vista agronómico, este cultivo es una de las principales fuentes de alimento para las familias guatemaltecas, por lo que deben implementarse prácticas de adaptación a estas variantes climáticas y lograr sostener o en algunos casos mejorar la producción del cultivo de frijol en el municipio de Parramos en el departamento de Chimaltenango.

Es por ello que se somete a evaluación el poliacrilato de potasio que es una tecnología agrícola que actúa como reservorio de agua en las épocas secas del

año, brindando el suministro de agua a la planta en la etapa fenológica que la necesite, ya que desde el punto de vista de prueba tecnológico, este material según sus fabricantes (Silos de Agua, 2009), permanece por un lapso de tiempo de siete años en el suelo, por lo que se espera tenga una respuesta aceptable ante la escasez de agua en periodos de canícula o sequia.

IV. MARCO TEÓRICO

4.1. MARCO CONCEPTUAL

A continuación se revisará la información relacionada con el cambio climático a nivel mundial y regional, con el fin de comprender un poco más el tema de los cambios relacionados con el clima y sus manifestaciones tanto en eventos anteriores, en la actualidad y su proyección en escenarios futuros tanto en el mundo como en Guatemala.

4.1.1. Calentamiento global

4.1.2.

El calentamiento global es el incremento continuo de la temperatura promedio global, específicamente la temperatura de la atmósfera y de los mares. (IPCC, 2007)

4.1.3. Cambio climático

Variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales, a forzamientos externos o a cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso de la tierra. (IPCC, 2,007)

4.1.4. Efecto invernadero

Los gases de efecto invernadero absorben eficazmente la radiación infrarroja emitida por la superficie de la tierra, por la propia atmósfera debido a esos mismos gases, y por las nubes. La radiación atmosférica es emitida en todas direcciones, en particular hacia la superficie de la tierra. Por ello, los gases de efecto invernadero retienen calor en el sistema superficie-tropósfera. (IPCC, 2,007)

Este fenómeno se denomina efecto invernadero. La radiación infrarroja térmica de la tropósfera está fuertemente acoplada a la temperatura de la atmósfera a la altitud en que se emite. En la tropósfera, la temperatura suele disminuir con la altura. (IPCC, 2,007)

De hecho, la radiación infrarroja emitida hacia el espacio proviene de una altitud cuya temperatura promedio es de $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$, en equilibrio con la radiación solar entrante neta, mientras que la superficie de la tierra se mantiene a una temperatura mucho más alta, de $+14\text{ }^{\circ}\text{C}$ en promedio. Un aumento de la concentración de gases de efecto invernadero da lugar a una mayor opacidad infrarroja de la atmósfera y, por consiguiente, a una radiación efectiva hacia el espacio desde una altitud mayor a una temperatura menor. Ello origina un forzamiento radiactivo que intensifica el efecto invernadero, suscitando así el denominado efecto invernadero intensificado. (IPCC, 2,007)

4.1.5. Gas de efecto invernadero (GEI)

Este concepto se refiere al componente gaseoso de la atmósfera, natural o antropógeno (evento, efecto o resultado relacionado por actividades del hombre), que absorbe y emite radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja térmica emitida por la superficie de la tierra, por la propia atmósfera y por las nubes.

Esta propiedad da lugar al efecto invernadero. El vapor de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O), el metano (CH_4) y el ozono (O_3) son los gases de efecto invernadero primarios de la atmósfera terrestre. La atmósfera contiene, además, cierto número de gases de efecto invernadero enteramente antropógenos, como los halocarbonos u otras sustancias que contienen cloro y bromo, contemplados en el protocolo de Montreal.

Además del CO₂, del N₂O y del CH₄, el Protocolo de Kyoto contempla los gases de efecto invernadero hexafluoruro de azufre (SF₆), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC), que también son factores que aumentan el efecto invernadero. (IPCC, 2,007)

4.1.6. Proyección climática

Proyección de la respuesta del sistema climático a diversos escenarios de emisiones o de concentraciones de gases y aerosoles de efecto invernadero, o a escenarios de forzamiento radiativo, frecuentemente basada en simulaciones mediante modelos climáticos.

La diferencia entre proyecciones climáticas y predicciones climáticas responde a la circunstancia de que las proyecciones climáticas dependen del escenario de emisiones/concentraciones/forzamiento radiativo utilizado, basado en supuestos relativos, por ejemplo, a un devenir socioeconómico y tecnológico que puede o no materializarse y que está sujeto, por consiguiente, a un grado de incertidumbre considerable. (IPCC, 2,007)

4.1.7. Conceptos

4.1.6.1. Escenario

Comúnmente referido a circunstancias de característica y estado en un tiempo, pero ahora se usa como una descripción plausible y frecuentemente simplificada de un futuro verosímil, basada en un conjunto consistente y coherente de supuestos sobre las fuerzas originantes y sobre las relaciones más importantes.

Los escenarios pueden estar basados en proyecciones, pero suelen basarse también en datos obtenidos de otras fuentes, acompañados en ocasiones de una descripción textual. (IPCC, 2,007)

4.1.6.2. Vulnerabilidad

Aunque se puede referir a cuanto puede afectar un factor a otro o varios factores, normalmente va tomando una definición en grados en que afecta, por ejemplo se puede hablar de un grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático y, en particular, la variabilidad del clima y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad dependerá del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático a que esté expuesto un sistema, y de su sensibilidad y capacidad de adaptación. (IPCC, 2,007)

4.1.6.3. Impactos (del cambio climático)

Se refiere a efectos del cambio climático sobre los sistemas naturales y humanos. Según se considere o no el proceso de adaptación, cabe distinguir entre impactos potenciales e impactos residuales: (IPCC, 2,007)

Estos impactos se pueden dividir en:

- Impactos potenciales: Todo impacto que pudiera sobrevenir en relación con un cambio proyectado del clima, sin tener en cuenta la adaptación.
- Impactos residuales: Impactos del cambio climático que sobrevendrían tras la adaptación.

4.1.6.4. Mitigación

Se refiere a cambios y reemplazos tecnológicos que reducen el insumo de recursos y las emisiones por unidad de producción. Aunque hay varias políticas sociales, económicas y tecnológicas que reducirían las emisiones, la mitigación, referida al cambio climático, se refiere a la aplicación de políticas destinadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y a potenciar los sumideros. (IPCC, 2,007)

4.1.6.5. Resiliencia

Se conoce a la capacidad de un sistema social o ecológico para absorber una alteración sin perder su estructura básica, modos de funcionamiento, su capacidad de auto organización, su capacidad de adaptación al estrés y al cambio. (IPCC, 2,007)

4.1.6.6. Sequía

En términos generales, la sequía es una “ausencia prolongada o insuficiencia acentuada de precipitación”, o bien una “insuficiencia que origina escasez de agua para alguna actividad o grupo de personas”, la sequía se ha definido de distintas maneras.

La sequía agrícola denota un déficit de humedad en el metro más externo de espesor del suelo (la zona radicular), que afecta los cultivos.

La sequía meteorológica se identifica principalmente mediante un déficit prolongado de precipitación; y la sequía hidrológica se caracteriza por un caudal fluvial o por un nivel lacustre y freático inferior a los valores normales.

Las megasequías son sequías prolongadas y extensas que duran mucho más de lo normal, generalmente un decenio como mínimo. (IPCC, 2,007)

4.1.6.7. Seguridad alimentaria

Situación de una población en que esta tiene acceso seguro a cantidades suficientes de alimentos inocuos y nutritivos para su crecimiento y desarrollo normal y para una vida activa y sana.

La inseguridad alimentaria puede deberse a la falta de alimentos, a un poder adquisitivo insuficiente, o a la distribución o uso inapropiados de los alimentos en la unidad familiar. (IPCC, 2,007)

4.1.8. Cambios observados en el clima.

De los doce últimos años (1995-2006), once figuran entre los doce más cálidos en los registros instrumentales de la temperatura de la superficie mundial (desde 1850).

La tendencia lineal a 100 años en el periodo de 1906 a 2005, marca una temperatura cifrada en 0,74°C [entre 0,56°C y 0,92°C] que es superior a la tendencia correspondiente de 0,6°C [entre 0,4°C y 0,8°C] del periodo de 1901-2000, indicada en el tercer informe de evaluación –TIE-. (IPCC, 2,007)

Este aumento de temperatura está distribuido por todo el planeta y es más acentuado en las latitudes septentrionales superiores. Las regiones terrestres se han calentado más aprisa que los océanos. (IPCC, 2,007)

En promedio, las temperaturas del hemisferio norte durante la segunda mitad del siglo XX fueron muy probablemente superiores a las de cualquier otro período de 50 años de los últimos 500 años, y probablemente las más altas a lo largo de, como mínimo, los últimos 1300 años. (IPCC, 2,007)

4.1.9. Causas del cambio climático

La variación de las concentraciones de gases de efecto invernadero y sus siglas en español –GEI- y aerosoles en la atmósfera, y las variaciones de la cubierta terrestre y de la radiación solar, alteran el equilibrio energético del sistema climático. (IPCC, 2,007)

Las emisiones mundiales de GEI por efecto de actividades humanas han aumentado, desde la era preindustrial, en un 70% entre 1970 y 2004. El dióxido de carbono (CO₂) es el GEI antropógeno más importante. Sus emisiones anuales

aumentaron en torno a un 80% entre 1970 y 2004, es decir el gas más peligroso en el siglo XXI. (IPCC, 2,007)

Las concentraciones atmosféricas mundiales de CO₂, metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) han aumentado notablemente por efecto de las actividades humanas desde 1750, y son actualmente muy superiores a los valores preindustriales, determinados a partir de núcleos de hielo que abarcan muchos milenios. (IPCC, 2,007)

Las concentraciones atmosféricas de CO₂ (379 ppm) y CH₄ (1774 ppm) en el 2005 exceden con mucho el intervalo natural de valores de los últimos 650.000 años. Los aumentos de la concentración mundial de CO₂ se deben principalmente a la utilización de combustibles de origen fósil y, en una parte apreciable pero menor, a los cambios de uso de la tierra. (IPCC, 2,007)

Es muy probable que el aumento observado de la concentración de CH₄ se deba predominantemente a la agricultura y a la utilización de combustibles de origen fósil. El aumento de metano ha sido menos rápido desde comienzos de los años 90, en concordancia con las emisiones totales (como suma de fuentes antropógenas y naturales), que han sido casi constantes durante ese período. El aumento de la concentración de N₂O procede principalmente de la agricultura. (IPCC, 2,007)

Con un grado de confianza muy alto, el efecto neto de las actividades humanas desde 1750 ha sido un aumento de la temperatura. La mayor parte del aumento observado del promedio mundial de temperatura desde mediados del siglo XX se debe muy probablemente al aumento observado de las concentraciones de GEI antropógenos. Es probable que se haya experimentado un calentamiento antropógeno apreciable en los últimos cincuenta años, en promedio para cada continente (exceptuada la región antártica) (IPCC, 2,007)

Visto desde otro punto de vista las causas del cambio climático se pueden dividir en:

- Causas naturales: Incluyen actividad volcánica o cambios en la energía recibida desde el Sol, entre otros.
- Causas antrópicas (generadas por actividades humanas): Incluye la quema de combustibles fósiles, tala de bosques, entre otros.

4.1.10. El cambio climático proyectado a nivel mundial

Hay un alto nivel de coincidencia y abundante evidencia respecto a que con las políticas actuales de mitigación de los efectos del cambio climático y con las prácticas de desarrollo sostenible que aquellas conllevan, las emisiones mundiales de GEI seguirán aumentando en los próximos decenios. (IPCC, 2,007)

El Informe especial del IPCC sobre escenarios de emisiones proyecta un aumento de las emisiones mundiales de GEI de entre 25% y 90% (CO₂-eq) entre 2000 y 2030 (Figura 1), suponiendo que los combustibles de origen fósil mantengan su posición dominante en el conjunto mundial de fuentes de energía hasta 2030 como mínimo. (IPCC, 2,007)

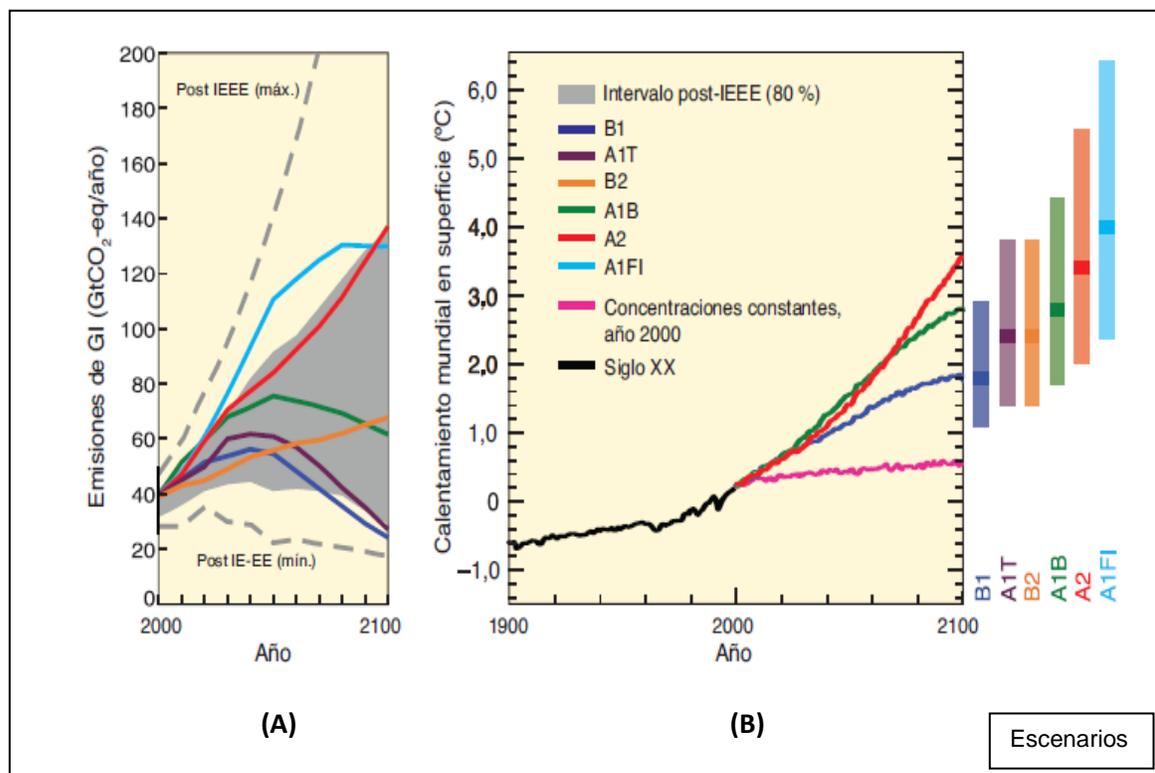


Figura 1. Escenarios de emisiones de GEI entre 2000 y 2100 (en ausencia de políticas climáticas adicionales) (A), y proyección de las temperaturas en superficie (B).

Fuente: IPCC, (2,007)

De acuerdo con la figura izquierda (A): Emisiones mundiales de GEI (CO₂-eq) en ausencia de políticas climáticas: seis escenarios ilustrativos, junto con el percentilo 80 de escenarios recientes. Las líneas de trazos representan la totalidad de los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero en un periodo de 100 años (figura A, izquierda) y 200 años (figura B, derecha). Las emisiones abarcan los gases CO₂, CH₄, N₂O y F.

En la figura derecha (B): las líneas continuas representan promedios mundiales multi modelo del calentamiento en superficie para los escenarios A2, A1B y B1, representados como continuación de las simulaciones del siglo XX (año 2000). (IPCC, 2,007)

4.1.11. Escenarios futuros de temperatura para Guatemala

Utilizando los escenarios y los modelos de circulación general recomendados por los expertos del cambio climático se prepararon los escenarios futuros de temperatura y precipitación a nivel de país. (CEPAL, 2,011)

Las principales tendencias indican que en el escenario B2 (con respecto al aumento de la temperatura de 1.5 °C a 3.5 °C al año 2050, considerando los tres modelos), los países de Centroamérica podrían experimentar un aumento de la temperatura promedio en un rango de 1,1 a 1,6 °C y un promedio para la región entre 1,2 y 1,4 °C, respecto a lo observado entre 1980 y 2000. Ya que como se observa en la figura 1, No se observa gran dispersión entre los tres modelos. (CEPAL, 2,011)

Al año 2100, con el mismo escenario B2 y los mismos modelos, la dispersión entre los países aumenta, y la anomalía de temperatura media anual podría ubicarse en un rango de 1,8 °C a 3,7 °C y un promedio regional de entre 2,1°C y 3,3 °C. En el escenario B2, el modelo HADCM3 (modelo creado en el Hadley Center de Inglaterra en el año 2000 por Gordon y Pope, para eventos climáticos en la atmosfera y el océano) reporta 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 (Este modelo fue desarrollado en Alemania, Hamburgo, en los años 90. Como los demás ejemplos es un modelo tridimensional, que incluye módulos para la atmósfera, los océanos, el CO₂, etc.) y GFDLR30 (El modelo R30 es uno de los proyectos del Geophysical Fluid Dynamics Laboratory - University Consortium (GFDL), llevado a cabo al simular las condiciones medias del ciclo climático global en los últimos 17 años. Dicho proyecto cuenta con la colaboración de NOAA y la oficina de administración oceánica y atmosférica de Estados Unidos.); presentan valores de incremento de la temperatura media más bajos al

2100. Panamá podría ser menos afectado con un aumento de 1,8 °C, según el GFDLR30.

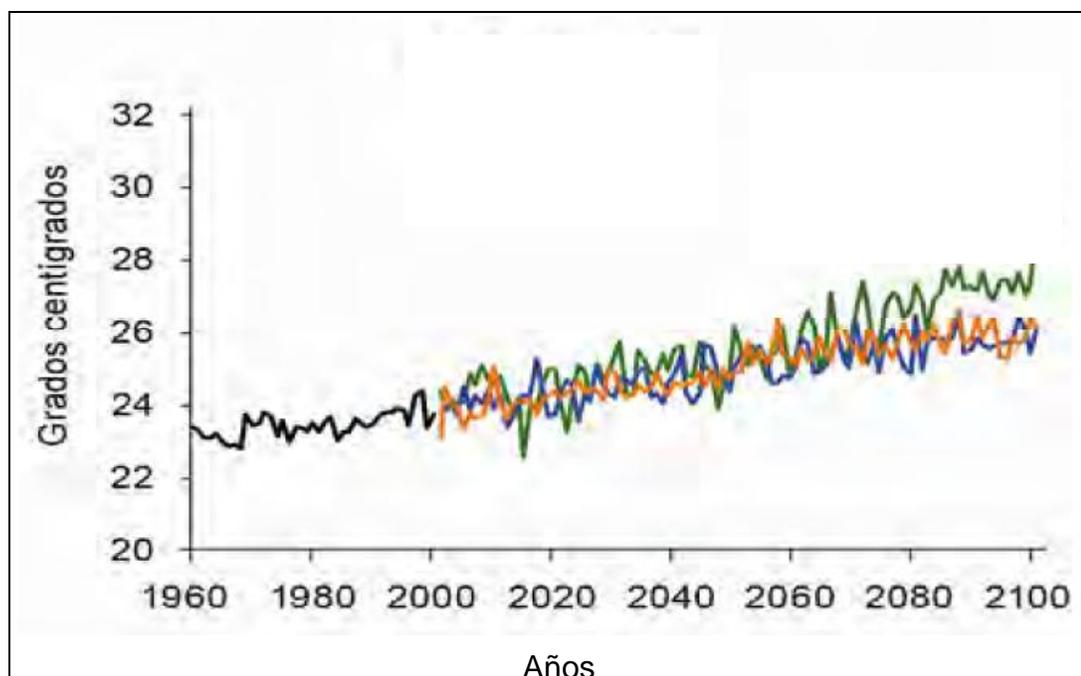


Figura 2. Temperatura media anual, escenario B2, 1960 a 2100 en Guatemala.

Fuente: CEPAL, (2011)

Como se muestra en la figura 2, la tendencia con respecto a la temperatura para Guatemala es su incremento en los próximos 100 años con respecto al escenario B2, llegando a un máximo de 28 °C a fin de siglo. (CEPAL, 2011)

Bajo el escenario A2, considerando los tres modelos HADCM3, ECHAM4 y ECHAM4, en el año 2050 la región de Centroamérica presentaría un aumento de la temperatura media anual entre 1,4 °C y 2,3 °C dependiendo del país, y un promedio regional entre 1,6 °C y 1,8 °C respecto a la temperatura del período 1980-2000. (CEPAL, 2011)

De mantenerse esta tendencia al 2100, la anomalía de temperatura podría ubicarse en un rango de 3,4 °C a 5,2 °C dependiendo del país y un promedio

regional entre 3,7 °C a 4,6 °C. En el escenario A2, los modelos HADGEM1 y ECHAM5 reportan 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. En general, los resultados en temperatura son consistentes con investigaciones recientes, indicando que la temperatura media tiende a incrementarse hasta un nivel de 5 °C en el escenario A2. (CEPAL, 2011)

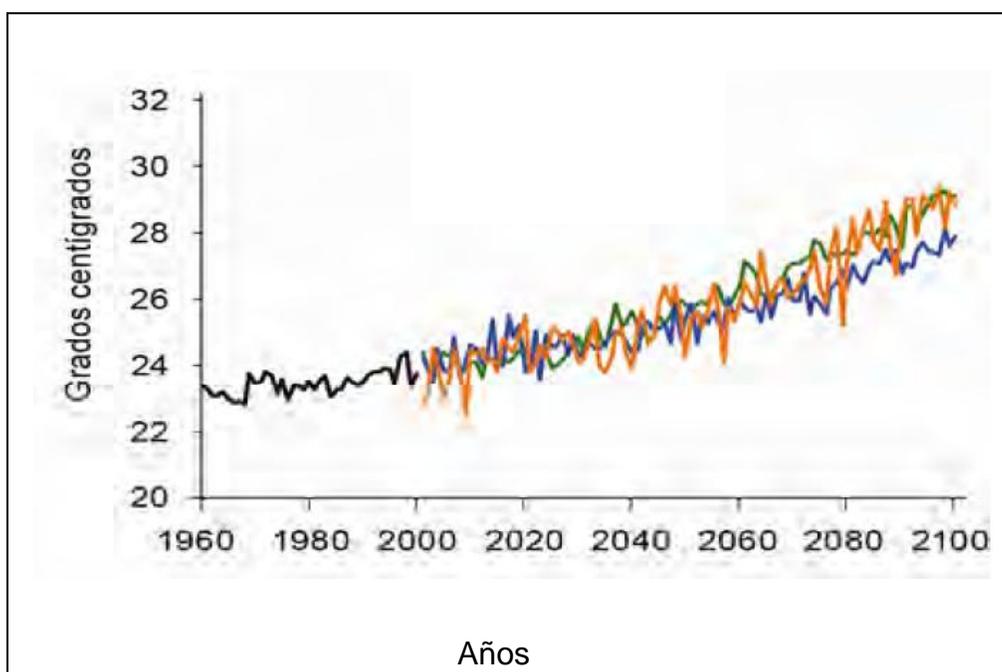


Figura 3. Temperatura media anual, escenario A2, 1960 A 2100 de Guatemala.

Fuente: CEPAL, (2011)

Como se muestra en la figura 3, la tendencia con respecto a la temperatura para Guatemala es su incremento en los próximos 100 años con respecto al escenario A2, llegando a un máximo de 30 °C a fin de siglo. (CEPAL, 2011)

4.1.12. Demanda futura por usos de agua municipal, industrial y agrícola

Para Guatemala la demanda total de agua en el escenario sin cambio climático partiendo del 2000 crece 324% al 2050 y 1.667% al 2100 para un total de 90.843 millones de m³. Al final del siglo, la distribución del consumo es 2% municipal, 88% agrícola y 10% industrial en este escenario base. (CEPAL, 2,011)

A 2050, el consumo total aumenta alrededor de 410% en ambos escenarios climáticos.

Para el año 2100 el consumo crece 2.070% en B2 (hasta 110.987 millones de m³) y 2.119% en A2 (hasta 113.585 millones de m³). Entonces, con B2 este consumo es 22% superior al del escenario base al 2100, y con A2 el valor es 25%. (CEPAL, 2,011)

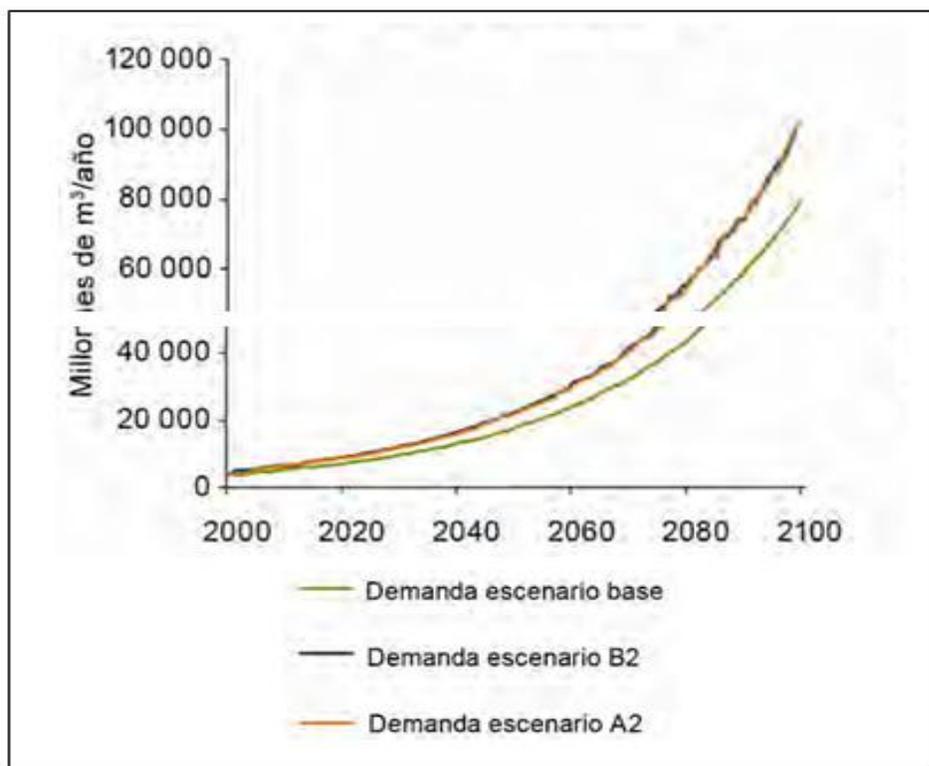


Figura 4. Guatemala: evolución de la demanda de agua para la agricultura (en millones de metros cúbicos al año).

Fuente: CEPAL, (2011).

Como se observa en la figura 4, la demanda del sector agrícola predomina en términos absolutos y aumenta de aproximadamente 4.010 millones de m³ en 2000 a 79.488 millones de m³ en el escenario base al 2100, y 99.414 y 101.755 millones de m³ con B2 y A2, respectivamente. Así, en el escenario B2 implicaría una demanda 25% superior a la del escenario base; con A2 la cifra sería 28%. Al final del siglo con A2, la distribución del consumo podría ser 2% municipal, 90% agrícola y 8% industrial, con cambio climático la demanda aumentaría entre una quinta y cuarta parte más, sin tomar en cuenta el sector industrial. (CEPAL, 2,011)

4.1.13. Variación del rendimiento del frijol ante variaciones de temperatura y precipitación.

La especificación de la función de producción para el rendimiento de frijol indica que la temperatura de 25 °C en la región de Centro América, ejemplificado por el nivel registrado en el año 2005 (figura 6), ya llegó al nivel de máximo rendimiento de 0.7 ton/ha.

Dado que gran parte de los productores de frijol son de pequeña escala, con escasos recursos y rendimiento muy bajo, el impacto de un aumento en la temperatura de entre 1 y 2 °C tendría repercusiones importantes. (IPCC, 2007)

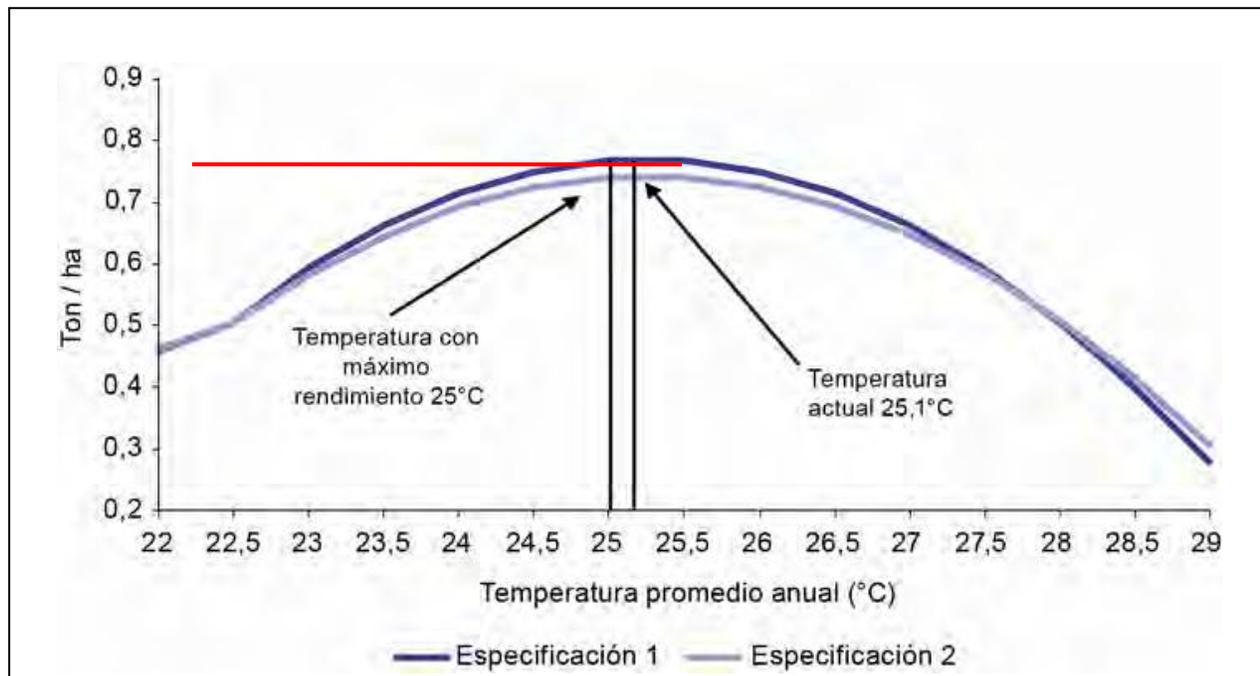


Figura 5. Centroamérica: variación del rendimiento del frijol ante variaciones de temperatura (en toneladas por hectárea y grados centígrados)

Fuente: CEPAL, (2011).

Según el estudio realizado por CEPAL (2011), observando la figura 5, se puede percatar que la producción más alta se obtiene en condiciones en las que la temperatura promedio anual es de 25 °C a 25.1 °C, también se observa que la tendencia de los rendimientos del cultivo de frijol a menores o mayores temperaturas de 25 °C es mucho menor, por lo que es la temperatura idónea que debería de tener el cultivo de frijol.

En Guatemala existen zonas productoras de frijol como lo son el oriente del país (Chiquimula, Jalapa, Zacapa, Santa Rosa, etc.) donde se reportan temperaturas mayores a 25 °C y zonas donde la temperatura es menor como en el altiplano de Guatemala (Sololá, Quetzaltenango, San Marcos, etc.) donde las temperaturas pueden descender entre 20 °C y menores. (CEPAL, 2011)

A continuación en la siguiente figura, se puede apreciar el cambio del rendimiento del frijol por la variación de la precipitación pluvial.

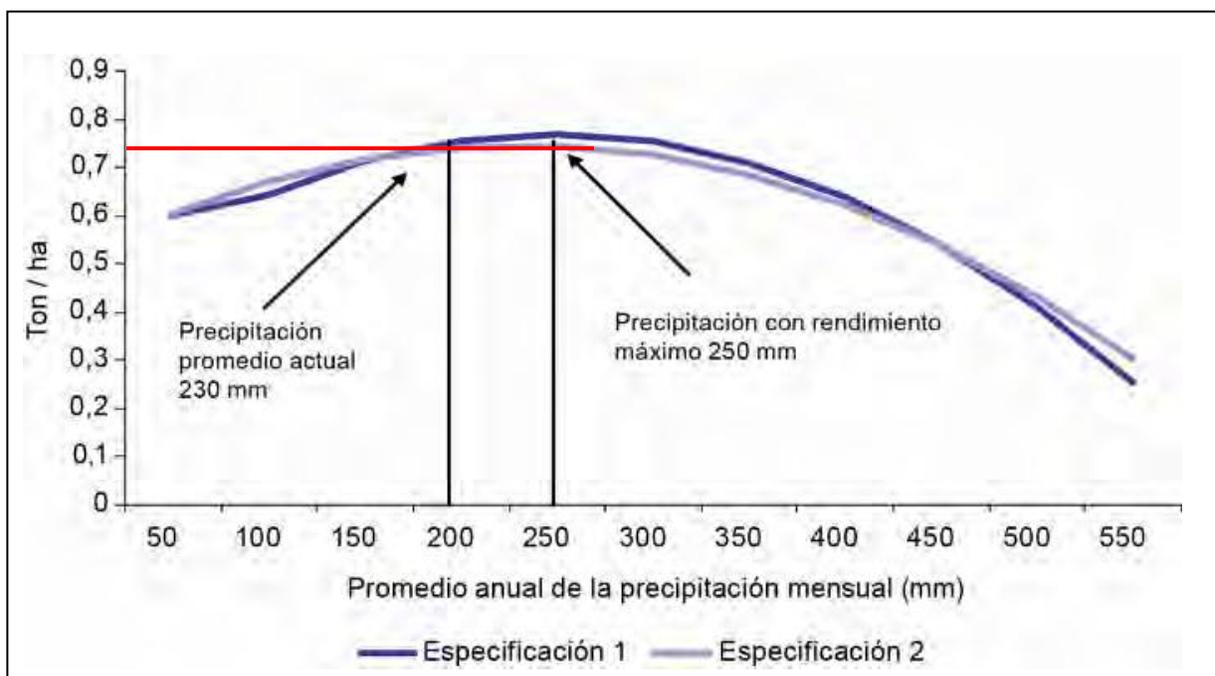


Figura 6. Centroamérica: variación del rendimiento del frijol ante variaciones de precipitación (en toneladas por hectárea y milímetros de precipitación)

Fuente: CEPAL, (2011).

En la figura 6, nos damos cuenta que el nivel actual de precipitación de 230mm es ligeramente inferior al de rendimiento máximo de 0.7 ton/ha.

Así como la temperatura media anual es variable, la precipitación en Guatemala también posee gran variabilidad, si se observa la figura 6, la precipitación media fue de 230 mm siendo esta la precipitación media en la que el frijol produce su mayor índice de producción en cuanto al rendimiento en toneladas métricas por hectárea de 0.7 ton/ha, sobre este nivel de precipitación y por debajo de los 230 mm la producción o el rendimiento del frijol se reduce.

En Guatemala la precipitación promedio anual ha sido mayor entre 300 mm a 350 mm, por lo que según la figura 6, la producción de frijol en Guatemala puede encontrarse afectada por esta variabilidad de precipitación. (CEPAL, 2011)

En este sentido, es probable que aumentos mayores de temperatura y reducciones o variabilidad de la precipitación afectaran seriamente la producción

de frijol y la seguridad alimentaria de grandes segmentos de la población, considerando que este cultivo, junto con el arroz y el maíz, es fuente de proteína para las familias de más bajos ingresos. (CEPAL, 2011)

4.1.14. Poliacrilato de potasio (hidrogel o lluvia sólida)

El poliacrilato de potasio es un polímero fabricado con acrilatos absorbentes de agua. Tiene la capacidad de absorber hasta 500 veces su peso en agua y mantener la humedad y los nutrientes hasta por espacio de nueve 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 el poliacrilato de potasio en pequeños pedazos, este polímero permanece en el suelo durante siete años, tiempo necesario para su degradación en el suelo. (Aqua warehouse, 2009)

El producto de lluvia sólida, tiene una capacidad activa de absorción hasta siete años y su retención de agua en el suelo, permite que la planta tome el agua que necesita sin stress hídrico acelerando su crecimiento y aumentando su producción. (Aqua warehouse, 2009)

Composición química del poliacrilato de potasio

La composición es la siguiente:

- 90% Poliacrilaminas
- 10% Aditivos (acrilatos de potasio y silicatos de aluminio)

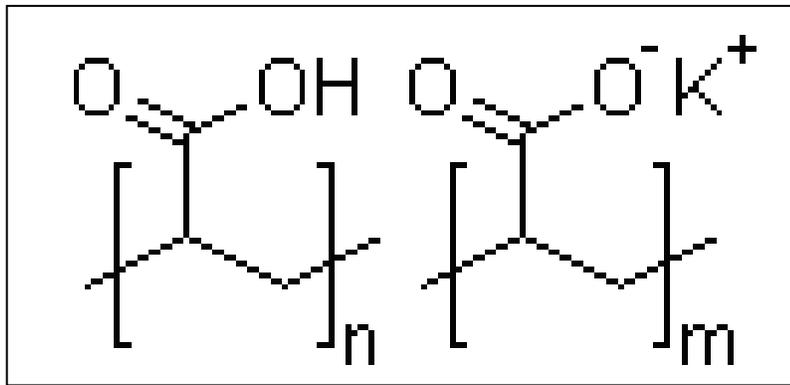


Figura 7. Molécula de poliacrilato de potasio

Fuente: Aqua warehouse, (2009)

Funcionamiento del poliacrilato de potasio

El polímero 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)

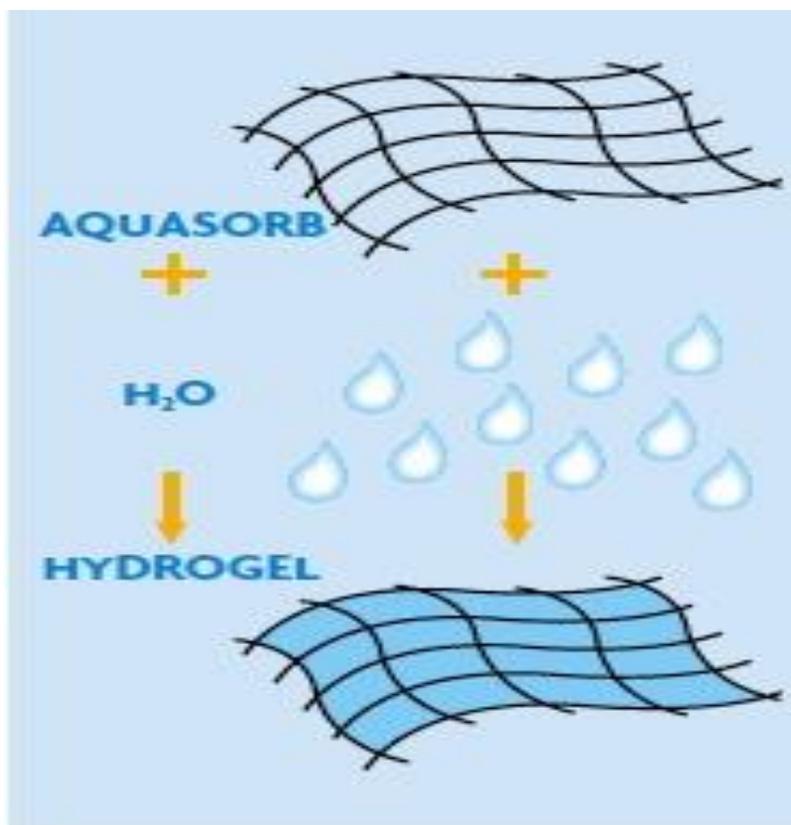


Figura 8. Funcionamiento del poliacrilato de potasio

Fuente: Aqua warehouse, (2009)

Debido a su volatilidad, se recomienda usar una mascarilla para el polvo. Si el producto es hidratado antes de usarlo, se debe aplicar cuidadosamente el producto en el agua. El producto debe agitarse despacio para evitar la formación de grumos. (Aqua warehouse, 2009)

El producto

Cuanta más alta sea la temperatura del agua (no especificada por el productor), más rápida será la absorción de la misma agua por el poliacrilato de potasio. Si el producto se derrama, no se debe recoger con agua. El terreno se volvería extremadamente resbaladizo. (Aqua warehouse, 2009)

Biodegradación del poliacrilato de potasio

El polímero es muy sensible a la acción de los rayos ultravioleta 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, por lo tanto, se degrada naturalmente en el suelo (hasta un 10% - 15% por año) en CO₂, H₂O y compuestos de nitrógeno. (Aqua warehouse, 2009)

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, y la degradación que se genera de 15% por año intuye que el último año de vida útil del poliacrilato de potasio será el séptimo año de producción, luego según las especificaciones del fabricante “Silos de Agua” el poliacrilato será completamente degradado del suelo, dependiendo del tamaño de las partículas y las condiciones agroclimáticas. (Aqua warehouse, 2009)

Cuadro 1. Información toxicológica del poliacrilato de potasio

Toxicidad: El 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	No conocida

Fuente: Aqua warehouse, (2009)

Según Aqua warehouse (2009), el Ministerio Francés de Agricultura: (APV) 8410030, afirmo 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)

4.1.15. Beneficios del poliacrilato de potasio

El poliacrilato de potasio permite aumentar la reserva útil del agua en los suelos y retarda el punto de marchitamiento. Un suelo tratado con 2g/kg suelo, retiene el agua dos veces más tiempo que un suelo no tratado. (Aqua warehouse, 2009)

Este producto es eficaz en la plantación de árboles, arbustos y plantas jóvenes. Permite la reducción de la tasa de mortalidad debida al trasplante e incrementa el desarrollo de las raíces, lo cual genera un crecimiento y establecimiento mayor. (Aqua warehouse, 2009)

Las pruebas de campo han demostrado que al utilizar la gelatina las cosechas aumentan hasta en un 30 por ciento en relación con el método tradicional, y con mayor calidad. Otro ejemplo tangible de la efectividad del hidrogel se da en la reforestación, en la que normalmente el 80 por ciento de los árboles que son plantados se secan, pero al utilizar el hidrogel, los porcentajes se invierten y sólo se dan pérdidas en un 20 por ciento. (Aqua warehouse, 2009)

Permite reducir la frecuencia de riego. Puede absorber soluciones de fertilizantes. Retiene fertilizantes y otros agroquímicos solubles en agua, reduciendo el lixiviado y escurrimiento de los mismos. Mejora la eficiencia del uso de los fertilizantes, de los fungicidas, bactericidas, nematocidas y del riego. Permanece activo por un período de siete años, mediante el proceso de absorción de agua en el suelo y entrega de agua a la planta. (Aqua warehouse, 2009)

4.1.16. Mejoramiento del suelo y humedad con el uso del hidrogel

Al ser mezclado en el suelo o en un sustrato, mejora Las condiciones de aireación y almacenaje de agua, ya sea de riego o lluvia. Está compuesto por cristales de un

polímero, que al entrar en contacto con el agua, se transforma en una sustancia gelatinosa llamada hidrogel. El agua (solución de suelo) retenida por el polímero (hidrogel) es fácilmente disponible para las raíces de las plantas, permitiendo que las mismas accedan a ella a medida que la necesitan. Aumenta la capacidad de absorción y almacenaje de agua de la tierra, que naturalmente se pierde por evaporación y escurrimiento. Un gramo es capaz de almacenar hasta 100 gramos de agua. (Aqua warehouse, 2009)

4.1.17. Composición química del poliacrilato de potasio

La composición química del hidrogel es la siguiente: poliacrilamida en un 94.13% y humedad 5.87%. (Aqua warehouse, 2009)

4.1.18. Forma de aplicación y dosificación del poliacrilato de potasio

El poliacrilato de potasio se puede aplicar de dos maneras de forma hidratada (poliacrilato de potasio cargado con agua) y sin hidratar (poliacrilato de potasio sin agua en el suelo), las especificaciones para el establecimiento del cultivo de frijol con esta práctica es la siguiente:

- Se aplica el hidrogel antes de aplicar la semilla, a una profundidad de entre 7 cm a 12 cm en el suelo, (1 ó 3 kilos por metro cúbico). La dosis es de 25 kg/ha. (Aqua warehouse, 2009)

4.1.19. Temas sobre el uso de poliacrilato de potasio en relación con el cultivo de frijol

Como parte de las experiencias o pruebas realizadas en el cultivo de frijol con el uso del poliacrilato de potasio o lluvia sólida, se muestran las siguientes publicaciones:

1. Según el reportaje publicado por el diario de Yucatán (2013). Se aplicó en 10 hectáreas temporeras de frijol, maíz y durazno, la llamada lluvia sólida (en Zacatecas), tecnología que incrementó sustancialmente la producción, dio a conocer el dirigente estatal de la Central Campesina Cardenista (CCC), Juan Pablo Castañeda Lizardo.

El líder campesino indicó que la lluvia sólida se probó el pasado ciclo primavera-verano en los municipios de Sombrerete y Chalchihuites, ensayo en el que se determinó que todavía se deben efectuar más pruebas antes de iniciar una aplicación masiva del producto.

Sin embargo, enfatizó que los resultados obtenidos en la mayoría de las tierras en que se desarrolló el programa piloto son buenos, pues hubo hectáreas donde la producción de frijol aumentó hasta en 300 kilogramos, equivalente a un 30 por ciento, en comparación con las que no se aplicó el producto (Diario de Yucatan, 2013).

2. Según la Secretaría mexicana de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2013), con la ayuda del inventor del producto lluvia sólida el Ing. Rico Velásquez, se realizaron pruebas con lluvia sólida en México en donde se obtuvieron 1800 kilos por hectarea que equivalen a 40 qq/ha de frijol, comparado con la cosecha de 450 kilos/ha o 10 qq/ha reportados con la siembra tradicional sin el uso de la lluvia solida siendo este un incremento de 300% con respecto al cultivo de frijol.

4.1.20. Cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

De acuerdo a datos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2011), el promedio de consumo de frijol por habitante en Guatemala es de 7.2 kgs./persona/año, siendo la superficie cosechada durante el año 2010 de 231,000 hectáreas, obteniéndose una producción de 198,700 toneladas métricas, lo cual equivale a un rendimiento de 0.9 toneladas/hectárea, rendimientos superados a nivel centroamericano únicamente por Nicaragua. Aparte de consumir la producción nacional, Guatemala se abastece de importaciones procedentes de los Estados Unidos, Canadá y China. Un alto porcentaje de estas importaciones es utilizado por la agroindustria nacional en la elaboración de frijoles enlatados. (CEPAL, 2011)

A nivel nacional las principales zonas productoras de frijol negro se encuentran en la región sur oriental, norte y central, principalmente en el Petén con 28 mil toneladas, Jutiapa 14 mil, Chiquimula con 10 mil, Jalapa 6 mil, Alta Verapaz 5 mil, Santa Rosa 7 mil, Huehuetenango 4 mil, Guatemala 4 mil y Chimaltenango 4 mil (IV Censo Agropecuario Nacional, INE 2004). En el caso del frijol de otros colores, de acuerdo a la información únicamente por departamentos obtenida del IV Censo Agropecuario Nacional 2004, se destaca el departamento de Alta Verapaz con una producción de 966 toneladas equivalente al 48.3% de la producción nacional, así como los departamentos de San Marcos, Quiché y Totonicapán, que registran una producción arriba de 145 toneladas, equivalentes al 9.1%, 7.9% y 7.1% de la producción nacional respectivamente. (CEPAL, 2011)

A continuación se presenta información sobre las características fenológicas del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), las zonas más aptas para que el cultivo se desarrolle y tanto el manejo como las características agronómicas que el cultivo requiere para completar su ciclo vegetativo.

Ecología de la planta del frijol

En Guatemala el frijol, se puede sembrar en todos los climas, desde los 50 msnm hasta los 2,300 msnm, por lo que es denominado un cultivo cosmopolita. (ICTA, 2010)

a. Preparación del terreno

Se realiza generalmente de forma manual, haciendo una limpia con machete, también puede hacerse mecanizada con tractor utilizando rastra y arado, luego se realizan los surcos con azadón, se recomienda utilizar insecticidas y fungicidas para las plagas del suelo. (ICTA, 2010)

b. Suelos

Según la Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria -Dicta-, (2,003) la planta de frijol es muy susceptible a condiciones extremas; exceso o falta de humedad, por tal razón debe sembrarse en suelos de textura ligera y bien drenados. El pH óptimo para sembrar frijol fluctúa entre 6.5 y 7.5, dentro de estos límites la mayoría de los elementos nutritivos del suelo presentan su máxima disponibilidad; no obstante, se comporta bien en suelos que tienen un pH entre 4.5 y 5.5. El frijol es susceptible a los suelos salinos. (ICTA, 2010)

c. Temperatura

Para cada genotipo hay un óptimo de fotoperíodo y temperatura donde ese genotipo florecerá después del posible intervalo de tiempo más pequeño de la emergencia. Desviaciones en la temperatura o en el fotoperíodo causan retrasos en la floración. La mayoría de los frijoles comunes se desarrollan en un estrecho rango de temperaturas (17.5- 20-22.5 (-25) °C; en los trópicos ecuatoriales, ellos se encuentran a altitudes mayores (sobre 1000 m). Las temperaturas que están por debajo o sobre el óptimo, reducen el rendimiento a través de la mortalidad de

la planta (a las temperaturas altas), reduce la fotosíntesis y disminuye la cantidad de flores para producir las vainas maduras (50-70% de flores abiertas). (ICTA, 2010)

d. Precipitación

Una lluvia bien distribuida moderada se requiere (300-400 mm por ciclo de cultivo) pero el tiempo seco durante la cosecha es esencial, para evitar la pudrición de las vainas de frijol en el campo durante los días de secado. La sequedad o anegamiento son perjudiciales. (ICTA, 2010)

Clasificación Taxonómica

Cuadro 2. Clasificación taxonómica del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

Reino	Plantae
Subreino	Embryobiontha
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsidae
Subclase	Rosidae
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae
Género	Phaseolus
Especie	<i>(Phaseolus vulgaris</i> L.)

Fuente: ICTA, (2010)

En el cuadro 2, se observa la clasificación taxonómica del cultivo de frijol, refiriéndose a este cultivo en el reino plantea, genero *Phaseouls* especie *Phaseolus vulgaris* L.

- **Usos**

Se comen sus vainas jóvenes y las semillas maduras y, en menor grado, también las semillas verde-descascaradas. En algunas partes de los trópicos, se usan las hojas jóvenes como una espinaca. En las regiones templadas, el frijol negro es principalmente cultivado por las vainas inmaduras verdes que se comen como una verdura, y también se utiliza como frijol enlatado. Las semillas secas también se cocinan con salsa de tomate y en conserva. La preparación es hirviendo; los frijoles son muy aceptables con una gama amplia de carne y salsas de la verdura. La paja puede usarse como forraje. (ICTA, 2010)

4.1.21. Variedad de frijol ICTA Altense

Variedad de frijol negro, cuyo hábito de crecimiento es de tipo indeterminado arbustivo; es bastante tolerante a enfermedades como: Ascochyta, Antracnosis, Roya y Picudo de la vaina, se adapta muy bien a altitudes entre 1,800 y 2,300 metros sobre el nivel del mar. La emergencia de la semilla ocurre a los ocho días después de la siembra, cuando las plantas de frijol rompen el suelo y salen a la superficie, la flor es de color morado y esta ocurre a los 50 a 53 días. Las plantas alcanzan una altura de 60 – 70 centímetros, con vainas de 16 colores crema con tonalidades ligeras de color morado que tiene seis granos por vaina, el ciclo de siembra es de 120 días con un rendimiento de 55.55 qq/ha. (ICTA, 2010)

4.1.22. Factores que intervienen en la producción de frijol

Definitivamente la producción de cualquier cultivo se verá afectada por dos tipos de factores, los bióticos y los abióticos. Los factores bióticos son aquellos en los que el hombre puede tener influencia de alguna manera, por ejemplo, la semilla (variedades ó cultivares), plagas (insectos, malezas, roedores, aves, microorganismos benéficos y perjudiciales). Mientras que en los factores abióticos

el hombre no puede modificarlos a menos que sea un ambiente controlado (invernadero), por ejemplo, la temperatura, la humedad relativa, la precipitación pluvial, las heladas, también pueden estar; tipo y profundidad de suelo, disponibilidad de nutrientes esenciales, viento, fuego, salinidad, luz, longitud del día, terreno y pH (la medida de acidez o alcalinidad de suelos y aguas. (ICTA, 2010)

4.1.23. Cultivares nativos

Más específicamente el termino germoplasma se puede usar para el conjunto de muestras de semilla procedentes de campos de agricultores. En general, las variedades recolectadas en regiones donde el cultivo se origino o diversificó, se denominan cultivares nativos, o sea aquellas variedades que usan los agricultores tradicionalmente, y que no han pasado por ningún proceso de mejoramiento sistemático y científicamente controlado, y cuya semilla se produce en el mismo campo del agricultor. (Frankel, 1977)

4.1.24. Cultivares mejorados

Denominados también “modernos” o “avanzados” son producidos con métodos científicos y sistemáticos de mejoramiento genético. La semilla original se produce fuera del campo del agricultor, y ni el agricultor ni otra fuerza evolutiva natural participan en la generación de la variedad. El agricultor puede producir semilla de esa variedad en sus propios campos, aunque es más recomendable que la adquiera regularmente para evitar contaminaciones, degeneración, o pérdida de identidad genética. (Frankel, 1977)

4.1.25. El clima como factor fundamental para la producción de cultivos

Dirks y Bolton (1981) y Wilson (1,995) citados por Escalante J. A. (1,998), señalan que el crecimiento de un cultivo es afectado por un grupo complejo de factores

ambientales, los de mayor impacto son la precipitación pluvial, la radiación solar y la temperatura estacional. La relación entre el crecimiento y el rendimiento de un cultivo, estará en función del clima en el que se desarrolle el cultivo, considera también que el agua es el factor más importante de los tres. (ICTA, 2010)

Estudios en maíz demostraron que la temperatura expresada en grados de calor por día, tiene incidencia en la producción del rendimiento y se ha tomado como base para la clasificación del desarrollo y madurez de los cultivos. La radiación solar acumulada en las etapas de desarrollo del cultivo también es determinante para la producción de biomasa en girasol. (ICTA, 2010)

Escalante, J. A. (1,998) Indica que en una región de clima cálido la producción de biomasa y rendimiento de frijol (variedad Michoacán 12-A-3`) varía en función de la fecha y época de siembra, también él demostró que la producción de biomasa y rendimiento en frijol es diferente entre las siembras invernales y las de verano, siendo superiores en volumen de peso las invernales, esto debido a que la evapotranspiración y la radiación solar son más bajas en el invierno. (ICTA, 2010)

Galván, T. M. (2,000) realizó un estudio en México de déficit hídrico en planta, acumulación de biomasa y área foliar en tres etapas vegetativas en frijol, en donde llegó a determinar que, el déficit hídrico, redujo el peso seco de las partes de la planta en forma diferencial, particularmente en las etapas vegetativas de tercera y primera hoja compuesta; así mismo redujo el área foliar. La variedad de frijol Bayo Madero presentó mayor reducción del área foliar, del peso seco del tallo principal y del vástago, comparado con Pinto Villa. El número de días para llegar al inicio de la condición de marchites permanente en la hoja de referencia se incrementó al progresar la etapa. El déficit hídrico disminuyó la relación peso seco hoja/tallo en las dos variedades. (ICTA, 2010)

4.2. MARCO REFERENCIAL

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

4.2.1. Ubicación geográfica, colindancias y accesos del municipio de Parramos

El Municipio de Parramos está ubicado al Sur-Este del departamento de Chimaltenango, a 60 km de la Ciudad Capital, y a 7 km de la cabecera departamental de Chimaltenango, contando también con carreteras de terracería que conducen a los Municipios de Acatenango y San Pedro Yepocapa, teniendo vías de comunicación con sus aldeas, colonias y caseríos. (SEGEPLAN, 2010).

En la figura 9, se muestra la ubicación y las colindancias del municipio de Parramos, tanto en el departamento de Chimaltenango, como en la republica de Guatemala.

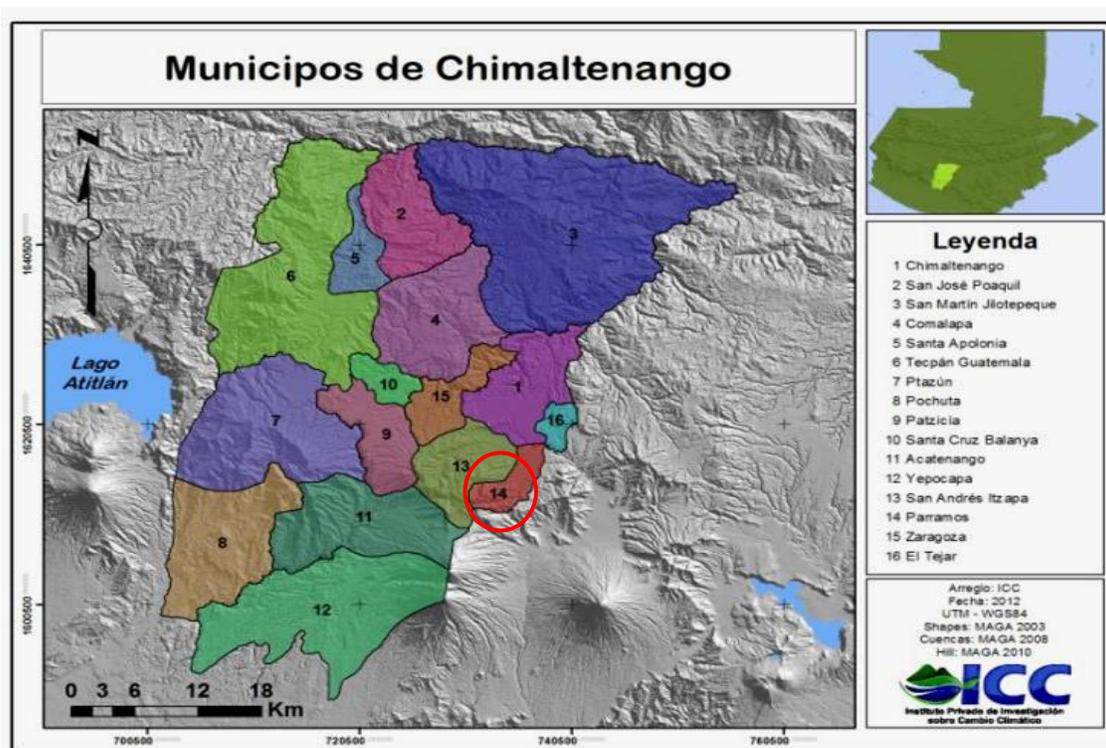


Figura 9. Mapa de división administrativa del departamento de Chimaltenango.

Fuente: ICC, (2013)

Como se muestra en la figura 9, Parramos limita con sus alrededores de la siguiente manera: Al Norte con Chimaltenango y San Andrés Itzapa, al Sur con San Antonio Aguas Calientes y Santa Catarina Barahona, al Este Pastores (Sácatepeques) y al Oeste con San Andrés Itzapa.

4.2.2. Coordenadas geográficas del municipio de Parramos

El municipio de Parramos está ubicado a 1,769 msnm. Se encuentra localizado a una latitud de 14°36'30" y una longitud de 90°48'08". (SEGEPLAN, 2010)

4.2.3. Descripción ecológica del municipio de Parramos

Zonas de vida (flora y fauna)

El municipio de Parramos cuenta con dos zonas de vida, el Bosque húmedo Montano Bajo Subtropical, que abarca un 70% del área, donde la vegetación que es típica son rodales de *Quercus*, y los cultivos principales que se pueden encontrar son maíz, frijol, verduras y frutales como durazno, pera, manzana y aguacate. La segunda zona de vida que conforma el municipio es el Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical, que abarca el 30% restante del área. La vegetación natural predominante que puede considerarse como indicadora es *Cupressus lusitanica*. Los cultivos principales que caracterizan esta zona de vida son el trigo, maíz, papas, haba, verduras, frutales como manzana, durazno, pera. La precipitación promedio es de 2982 mm, con una temperatura mínima registrada de 12°C y máxima de 19°C. (SEGEPLAN, 2010).

4.2.4. Clima

Precipitación y temperatura

En este municipio se registran rangos de precipitación de 800 a 2200 mm. Tiene clima templado que va de 19 a 33° centígrados, acentuándose el frío a medida

que se acercan los meses de noviembre y diciembre, el clima cálido es en los meses de febrero, marzo y abril. (SEGEPLAN, 2010).

4.2.5. Suelo

Taxonomía

En el municipio de Parramos se pueden encontrar dos tipos de órdenes de suelos, entisoles y andisoles. De acuerdo a la clasificación de taxonomía de suelos, un entisol se define como los suelos que no muestran ningún desarrollo definido de perfiles. Un entisol no tiene "horizontes diagnósticos", y para la mayoría su material parental es regolítico inalterado. (SEGEPLAN, 2010).

Serie de suelos

Las series de suelos que constituyen el municipio de Parramos son Alotenango, Guatemala y Tecpán. La serie Alotenango cubre el 79% del área del municipio, y se caracterizan por ser suelos de originados de ceniza volcánica, tienen buen drenaje y superficialmente tienen un color café grisáceo y la textura superficial se caracteriza por ser franco-arcillosa. (SEGEPLAN, 2010).

La serie Guatemala, abarca únicamente un 1% del territorio de Parramos. Su material originario es ceniza volcánica, tienen buen drenaje, tienen un color superficial café muy oscuro a café oscuro y una textura superficial franco-arcillosa a arcilla. (SEGEPLAN, 2010).

La tercera serie que se encuentra en el municipio la de Tecpán. Ocupa un 20% del territorio. Se caracterizan por ser suelos que son originarios de ceniza volcánica, con buen drenaje y un color superficial café oscuro, con textura franco-arcillo-arenosa. (SEGEPLAN, 2010).

4.2.6. Capacidad de uso de la tierra del municipio de Parramos

La capacidad de uso de la tierra está fundamentada en la aptitud natural que presenta el suelo para producir constantemente bajo tratamiento continuo y usos específicos.

Para el municipio de Parramos se identificaron cuatro categorías de capacidad que se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 3. Categoría de capacidad de uso de la tierra

Categoría de capacidad de uso	% Área
Agricultura sin limitaciones	50.12
Agroforestería con cultivos anuales	37.53
Sistemas silvopastoriles	5.80
Tierras forestales para producción	6.55

Fuente: SEGEPLAN, (2010).

1. Agricultura sin limitaciones, abarcando el 50.12% del área (cuadro 2, página 25). Esta categoría indica que son áreas con aptitud para cultivos agrícolas sin mayores limitaciones de pendiente, profundidad, pedregosidad o drenaje. Permiten cultivos agrícolas en monocultivo o asociados en forma intensiva o extensiva y no requieren o demanda muy pocas prácticas intensivas de conservación de suelos. (SEGEPLAN, 2010).
2. Con un total del 37.53% del área se encuentra otra categoría llamada agroforestería con cultivos anuales, estas son áreas con limitaciones de pendientes y/o profundidad efectiva del suelo, donde se permite la siembra de cultivos agrícolas asociados con árboles y/o con obras de conservación de suelos y prácticas agronómicas del cultivo. (SEGEPLAN, 2010).
3. Es la menor área, se encuentra en la categoría de tierras forestales de producción (6.55%), que se caracterizan por tener una aptitud

preferentemente para realizar un manejo forestal sostenible (sin deteriorar otros recursos). (SEGEPLAN, 2010).

4. Finalmente, se encuentra la categoría de sistemas pastoriles (5.80% de área), la cual se describe como las áreas que permiten el desarrollo de pastos naturales o cultivados asociados con especies arbóreas. (SEGEPLAN, 2010).

4.2.7. Uso de la tierra del municipio de Parramos

Los principales usos de la tierra dentro del municipio son: bosque comprendiendo un 16.43% del área, entre las especies que se encuentran en estos bosques son: pino (*Pinus sylvestris L.*), encino (*Quercus sp*), aguacate (*Persea americana*), eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*), ciprés (*Cupressus sempervirens L.*), grevillea (*Grevillea robusta*).

En el siguiente cuadro se detalla en porcentajes el uso de la tierra del municipio de Parramos:

Cuadro 4. Porcentaje de área y uso actual del municipio de Parramos, Chimaltenango.

Uso de la tierra	% Área
Agroindustria	0.56
Pastos	23.76
Bosque	16.43
Centros poblados	3.26
Café	5.40
Hortalizas	31.49
Frutales	0.07
Granos básicos	18.57
Vivero	0.45

Fuente: MAGA, (2003).

Como se observa en el cuadro 4, la producción de hortalizas implica un 31.49% del área, dentro de las cuales se encuentran: tomate (*Lycopersicum esculentum*), chipilín (*Crotalaria longirostrata*), lechuga (*Lactuca sativa L.*), miltomate (*Physalis ixocarpa*) y güicoy (*Cucurbita spp*). Los granos básicos que se cultivan primordialmente son frijol y maíz y incluyen el 18.57% del área del municipio. Como otro uso principal se pueden mencionar los pastos (cultivados y naturales) que ocupan el 23.76% del área total. (SEGEPLAN, 2010)

4.2.8. Amenazas climáticas del municipio de Parramos

Las amenazas climáticas que aquejan a la población de Parramos, son primordialmente las canículas, deslizamientos de tierra, fuertes lluvias y vientos, heladas y sequías. (SEGEPLAN, 2010).

Las acciones que realizan para combatir dichas amenazas son: durante la época de canícula utilizan riego, o bien acarrean agua para poder aplicar a los cultivos. Al momento que se sabe que ocurrirá una helada, los pobladores queman basura, llanta o rastrojo para generar humo, y con esto evitan que se les “quemen” los cultivos a causa del frío intenso. Finalmente ante las sequías los pobladores atrasan la época de siembra, utilizan riego (mantienen húmedos los cultivos). Son pocas las personas que en época lluviosa cosechan agua para disponer ante esta situación. (SEGEPLAN, 2010).

V. OBJETIVOS

5.1. General

Evaluar el poliacrilato de potasio (lluvia sólida), en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) en condiciones de invernadero (déficit de agua) y en condiciones de campo.

5.2. Específicos

1. Determinar la capacidad de retención del poliacrilato de potasio.
2. Evaluar el rendimiento en kg/ha en un cultivar nativo y una variedad mejorada de frijol, sometidos al uso del poliacrilato de potasio.
3. Analizar las variables de temperatura y precipitación durante el desarrollo de la investigación.
4. Realizar el análisis económico del uso de poliacrilato de potasio, en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*)

VI. HIPÓTESIS

Ho1: El uso de poliacrilato de potasio produce el incremento al rendimiento de frijol.

Ha1: El uso de poliacrilato de potasio no produce incremento al rendimiento de frijol.

Ho2: Un material genético de frijol tendrá mayor rendimiento.

Ha2: Ambos materiales tendrán el mismo rendimiento.

Ho3: Existe interacción en el uso del poliacrilato de potasio y los materiales genéticos de frijol en su rendimiento.

Ha3: No existe interacción en el uso del poliacrilato de potasio y los materiales genéticos de frijol en su rendimiento.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación se presenta la metodología utilizada para realizar la determinación de la capacidad de absorción de agua del poliacrilato de potasio y la metodología utilizada para el establecimiento de la evaluación del poliacrilato de potasio como factor en la variable de kilogramos de frijol por hectárea, en una variedad y un cultivar de frijol, así como el análisis económico del uso del poliacrilato de potasio en frijol.

7.1. Determinación de la capacidad de retención de agua del poliacrilato de potasio

Según Aqua warehouse (2009) quienes son los fabricantes del poliacrilato de potasio o lluvia sólida, el incremento técnicamente en peso es de 500 veces.

Para determinar la retención de humedad del poliacrilato de potasio se realizó la siguiente metodología:

1. Se pesaron 2gr, 3gr y 5gr de poliacrilato de potasio, esto a razón de no tener grandes cantidades del hidrogel hidratado y no poder efectuar el peso de las muestras en una balanza analítica, para obtener un dato más exacto de las muestras (ver anexos, figura 23).
2. El poliacrilato de potasio se hidrato según la cantidad de poliacrilato de potasio y la capacidad de retención de agua que según “silos de agua” retiene según la cantidad del producto (ver anexos, figura 24), los volúmenes fueron:
 - 1gr + 500ml de agua
 - 2g + 1litro de agua
 - 3gr + 1.5 litros de agua

3. El hidrogel hidratado se dejó por 60 minutos para que cerciorase de que absorviera la mayor cantidad de agua posible (ver anexos, figura 25).
4. Se dejó reposar por 60 minutos el poliacrilato de potasio sobre papel absorbente, para obtener solo el peso del poliacrilato de potasio con el agua contenida dentro de ella (ver anexos, figura 26).
5. Luego se pesó nuevamente el hidrogel ya hidratado, para obtener los pesos del poliacrilato de potasio ya hidratado (ver anexos, figura 27).
6. Las variables utilizadas fueron el peso seco del poliacrilato de potasio y el peso hidratado del poliacrilato de potasio hidratado.
7. Para realizar la determinación de la absorción de agua del poliacrilato de potasio, se comparó con su diferencia en peso seco sin hidratar y su peso luego de ser hidratado.

7.2. Metodología para evaluar el rendimiento en kg/ha de un cultivar y una variedad de frijol, sometidos al uso del poliacrilato de potasio

A continuación se describen los factores, materiales y el método de evaluación utilizados para la evaluación de la interacción entre el poliacrilato de potasio, un cultivar y una variedad de frijol en condiciones de campo y en condiciones de invernadero (escasez de agua)

7.2.1. Poliacrilato de potasio a evaluar como factor

Como factor A en evaluación se realizó el uso del poliacrilato de potasio en dos niveles los cuales fueron:

1. A1: con poliacrilato de potasio
2. A2: sin poliacrilato de potasio

El poliacrilato se estableció a razón de funcionar como reservorio de agua en el suelo, aportando agua a la planta cuando esta lo demandara.

7.2.2. Materiales de frijol a evaluar

Como factor B se evaluaron dos materiales genéticos de frijol, uno proveniente de cultivares locales y el otro producto de mejoramiento genético por ICTA, los materiales fueron:

- B1: Frijol cultivar de Parramos, Chimaltenango
- B2: Frijol variedad ICTA-Altense

Ambos de crecimiento determinado tipo arbustivos con una altura entre 1.5 m y 2 m.

7.2.3. Especificaciones generales sobre la siembra y manejo del área experimental

A continuación se presenta la metodología implementada en la preparación del terreno en donde se estableció el experimento tanto en campo como en invernadero y el manejo agronómico que se le dio durante el desarrollo de la investigación.

7.2.4. Preparación del terreno

El terreno se preparo de la siguiente manera:

1. Se limpió con machetes y se raspo el terreno con azadones hasta nivelar el área de la investigación en campo.
2. Se realizaron hoyos con una profundidad de 40 cm y 10cm de diámetro, a una separación de 30 cm entre hoyo por surco y 40 cm surco.

En estos orificios se incorporo el poliacrilato de potasio en campo, en el invernadero se utilizaron bolsas de vivero con dimensiones de 42 cm de largo por 10 cm de diámetro y cuatro milímetros de espesor.

Dosis y forma de aplicación del poliacrilato de potasio

La dosis recomendada de poliacrilato de potasio para los cultivos de maíz y frijol es de 25 kg/ha (Aqua warehouse, 2009), por lo que se utilizaron 1.125 kg en el área de 54 m² donde se estableció el experimento siendo 1250gr de lluvia sólida.

Los pasos efectuados para hidratar el poliacrilato de potasio fueron los siguientes:

1. Se pesaron 1.125 kg de poliacrilato de potasio.
2. El poliacrilato de potasio fue puesto en una cubeta de 5gl.
3. Por la capacidad de la cubeta se prepararon ocho cubetas consecutivamente con poliacrilato de potasio, con 156.25 gr de poliacrilato de potasio por cubeta de 5 gl.
4. Para hidratar el poliacrilato, se dejo caer sobre cada cubeta 17.5 lt (5gl) de agua sobre el hidrogel seco.
5. Luego se hidrato el poliacrilato de potasio.



Figura 10. Poliacrilato de potasio hidratado.

Fuente: Autor, (2013).

6. Se incorporo directamente en la postura.



Figura 11. Incorporación del poliacrilato de potasio en el suelo.

Fuente: Autor, (2013).

7. El poliacrilato de potasio estuvo 15 cm por debajo de la semilla, se cubrió con tierra y luego en la capa superior se sembraron cuatro semillas de frijol para que las raíces del frijol llegaran a tener contacto con el poliacrilato de potasio y absorber el agua contenida en ella.

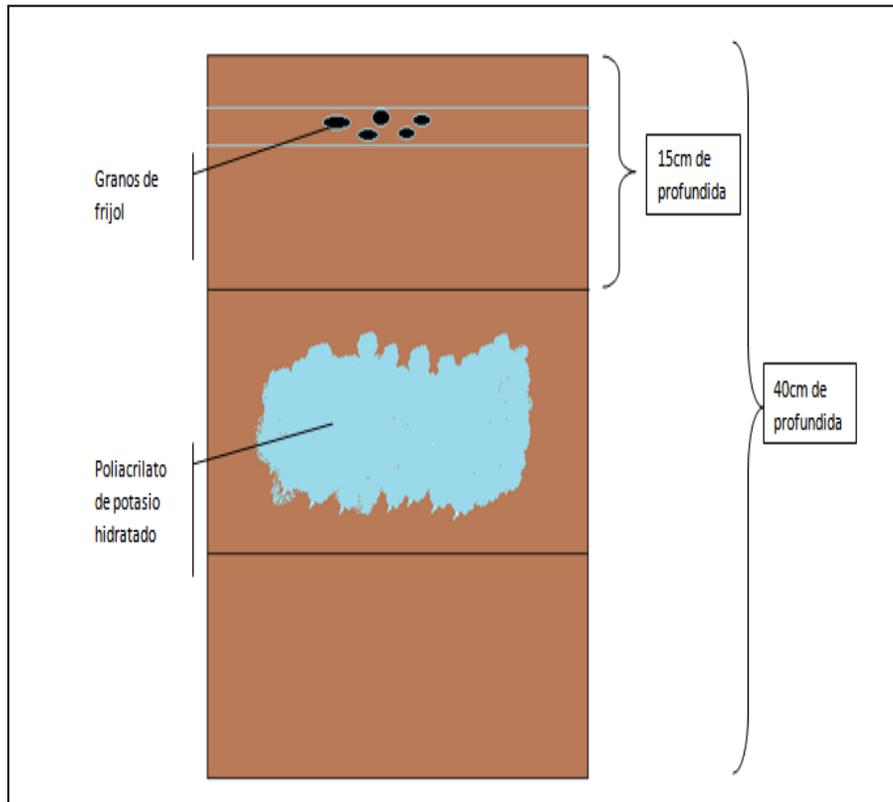


Figura 12. Método de incorporación del poliacrilato de potasio en y siembra de frijol.

Fuente: Autor, (2013).

Siembra del frijol

La siembra se realizó a mano, sobre la postura con lluvia sólida, dejando una distancia de 0.30 m entre postura y 0.4 m entre surcos, colocando cinco semillas por postura.

Control de malezas

Se realizó el control de malezas de forma manual por medio de machete, azadón.

7.2.5. Labores culturales

Dentro de las labores culturales realizadas en la investigación se mencionan las siguientes:

Fertilización

La fertilización se aplicó de forma por postura, aplicando nueve gramos por planta de fertilizante 20-20-0.

Control de plagas

El control de plagas se realizó aplicando Deltametrina 25 EC por 50 cc/4 gl agua a cada 15 días, y Thiodan DL 50 a razón de 50 cc/4gl agua cada 20 días.

Control de enfermedades

El control de enfermedades se realizó de forma preventiva con los siguientes productos, a razón de evitar el daño causado por alguna de las enfermedades que se mencionan a continuación:

Cuadro 5. Control de enfermedades del cultivo de frijol

Producto	Control	Dosis
Benomil	Tratamiento de semilla	120 g/46kg
Mancozeb	Pudrición de la raíz (<i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Fusarium solani</i> , <i>Pythium spp.</i>)	2,4 g/7lts
	Roya (<i>Uromyces phaseoli</i>)	
	Mancha angular (<i>Isariopsis griseola</i> Sacc)	
	Antracnosis (<i>Colletotrichum / indemuthianum</i>)	
Ridomil MZ-58	Mildiu polvoso (<i>Erysiphe polygoni</i>) y Mildiu vellosa (<i>Phytophthora phaseoli</i>)	3 g/7litro

Fuente: Autor, (2013).

Las aplicaciones se realizaron con bomba de mochila de 15 lts, el control se realizo de forma preventiva en la investigación, para evitar la manifestación de las enfermedades presentadas en el cuadro 6 y evitar su daño y propagación en el cultivo en evaluación.

7.2.6. Recursos a utilizar en el experimento

Humanos

- Estudiante en EPS
- Coordinador del programa de desarrollo de capacidades y divulgación.
- Dos agricultores

Físicos

- Materiales de semilla de frijol de Parramos
- 1.125kg de lluvia sólida
- Machetes
- Azadones
- Estacas
- Letreros de identificación de parcelas
- Semillas
- Invernadero
- Mangueras de goteo
- Bomba de agua
- Pluviómetro
- Termómetro
- Libreta de campo
- Bomba de mochila
- Navaja
- Pita de nylon
- Bambú

7.2.7. Diseño experimental

La evaluación del poliacrilato de potasio se realizó en condiciones de campo y bajo condiciones controladas (figura 13.), en ambas evaluaciones se tuvo un registro de la precipitación diaria en campo y la temperatura tanto dentro como fuera del invernadero.



Figura 13. Evaluación del poliacrilato de potasio en campo y en invernadero.

Fuente: Autor, (2013).

Dentro del invernadero se aplicó riego por goteo, tomando en cuenta una reducción del 50% de la precipitación que se registró fuera del invernadero (dato obtenido con el registro del pluviómetro fuera del invernadero 1145 mm durante el desarrollo de la investigación), esto con el motivo de proporcionarle cierta cantidad de agua a los materiales de frijol y evitar la pérdida de los materiales durante el periodo de cinco meses de duración del experimento, por lo que al aplicar un riego con un 50% de reducción, según los escenarios de sequía para Centro América, se puede generar un ambiente o un estado de sequía en el área y evaluar el poliacrilato de potasio en condiciones de sequía. (CEPAL, 2011)

Análisis estadístico

El diseño experimental que se utilizó, tomando en cuenta las condiciones del terreno, así como los factores a evaluar, correspondió a un experimento completamente al azar bifactorial, con cuatro tratamientos y quince repeticiones (parcelas), dichos tratamientos correspondieron a la combinación de los factores que se evaluaron en la presente investigación, que fueron:

Factor A: Poliacrilato de potasio

A1 = Con poliacrilato de potasio (25kg/ha)

A2 = Sin lluvia poliacrilato de potasio (testigo absoluto)

Factor B: Materiales de frijol

B1 = Material de frijol nativo Parramos

B2 = Material de frijol ICTA mejorado - Altense

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 = poliacrilato de potasio x materiales genéticos.
- Número de tratamientos = $2 \times 2 = 4$ tratamientos

En el cuadro siguiente se pueden observar cada uno de los tratamientos evaluados, tomando en cuenta la combinación de los distintos niveles de los factores evaluados (Incorporación de lluvia sólida y materiales nativos).

Cuadro 6. Tratamientos con y sin poliacrilato de potasio y materiales genéticos de frijol.

Tratamiento	Poliacrilato de potasio	Sin poliacrilato de potasio	Materiales de frijol
1	A1		B1
2	A1		B2
3		A2	B1
4		A2	B2

Fuente: Autor, (2013.)

El número de repeticiones (parcelas) se determinó tomando en cuenta que los grados de libertad del error de la parcela pequeña deben ser mayores o iguales a doce, que de acuerdo al diseño experimental se calcula con la fórmula (Reyes, 1990):

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

Donde:

GLp = Grados de libertad de la parcela

a = Poliacrilato de potasio (2 variables)

b = Materiales nativos frijol (2 materiales)

r = Número de repeticiones

$$GLp = 2 * 2 (15 - 1)$$

$$GLp = 56$$

7.2.8. Unidad experimental y aleatorización

El número total de unidades experimentales se determinó tomando en cuenta el número de tratamiento a evaluar, de la forma siguiente:

Unidades experimentales (UE) = N. tratamientos x N. repeticiones

Unidades experimentales (UE) = 4 tratamientos x 15 repeticiones

Unidades experimentales (UE) = 60

Tomando en cuenta la disponibilidad de área para llevar a cabo el experimento, así como el tratamiento de poliacrilato de potasio a evaluar (factor A), se determinaron las siguientes dimensiones generales de la unidad experimental.

Las unidades experimentales fueron distribuidas en forma aleatoria, por lo que las dimensiones del área experimental fueron de 60 metros cuadrados, como se observa en la figura 14.

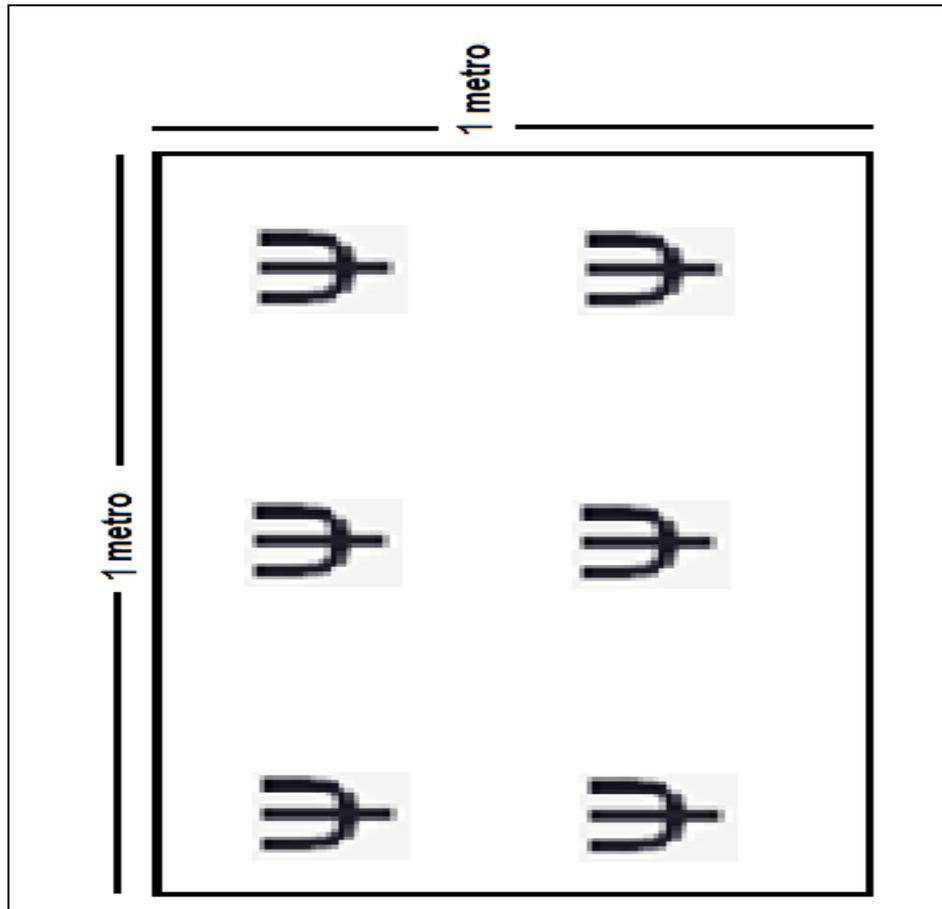


Figura 14. Dimensiones de la parcela neta en evaluación

Fuente: autor, (2013).

Las dimensiones de la unidad experimental fueron de 1 m. x 1 m., con un área de 1m^2 cada una. Debido a que el tratamiento de poliacrilato de potasio es aplicada de forma localizada no se considero el efecto de borde entre cada unidad experimental, todos los surcos laterales de cada unidad experimental fueron tomados en cuenta al momento de tomar los datos, por lo que toda el área se considero como parcela neta, cada unidad experimental poseía seis posturas y de

cinco semillas se dejaron tres plantas por postura, esto a razón de homogenizar las plantas por parcela experimental.

A2 + B2	A2 + B2	A2 + B1	A2 + B2	A2 + B1
A2 + B1	A2 + B2	A2 + B1	A2 + B1	A2 + B2
A2 + B1	A2 + B1	A2 + B2	A2 + B1	A2 + B2
A2 + B1	A2 + B2	A2 + B2	A2 + B1	A2 + B1
A2 + B2	A2 + B1	A2 + B2	A2 + B2	A2 + B1
A2 + B1	A2 + B2	A2 + B2	A2 + B1	A2 + B2
A1 + B2	A1 + B2	A1 + B1	A1 + B2	A1 + B1
A1 + B1	A1 + B2	A1 + B1	A1 + B1	A1 + B2
A1 + B1	A1 + B1	A1 + B2	A1 + B1	A1 + B2
A1 + B1	A1 + B2	A1 + B2	A1 + B1	A1 + B1
A1 + B2	A1 + B1	A1 + B2	A1 + B2	A1 + B1
A1 + B1	A1 + B2	A1 + B2	A1 + B1	A1 + B2

Figura 15. Distribución de los tratamientos en campo y en invernadero.

- A1:poliacrilato de potasio; A2: sin poliacrilato de potasio
- B1: cultivar Parramos; B2: variedad ICTA Altense.

Fuente: Autor, (2013).

En la figura 15 se puede observar que cada unidad experimental tuvo una longitud de 1 metro y un ancho de 1 m, por lo que el área experimental fue de un largo de 12 m. y un ancho de 5 m. (60 m²) Además, tomando en cuenta la distribución utilizada (completamente al azar con arreglo bifactorial), se observó dentro del área total constituida por aquellos tratamientos (unidades experimentales) con el mismo distanciamiento de siembra.

7.2.9. Análisis de variable a evaluar

Para lograr analizar el comportamiento del cultivo de frijol con el uso del poliacrilato de potasio o lluvia sólida se tomo como variable principal en estudio el rendimiento de frijol (kg/mz) por unidad experimental.

7.2.10. Toma de datos

Tomando en cuenta la sumatoria del área de cada parcela experimental y que una hectárea tiene 10,000 m², el rendimiento de granos de frijol por hectárea, se obtuvo por medio de la formula siguiente:

$$\text{Rendimiento (kg/ha)} = \frac{\text{kg por parcela neta} \times 10,000 \text{ m}^2}{\text{Área parcela (m)}}$$

La toma de datos se realizó al momento de cosecha de vainas, se efectuaron varios cortes, los cuales se realizaron cuando las vainas se encontraban secas y después que tomaran una coloración morado o lila, lo cual ocurrió aproximadamente de 75 a 85 días después de la siembra.

7.2.11. Análisis de la información

Los datos recopilados de cada unidad experimental de frijol tanto en la investigación en condiciones de campo como en la desarrollada en condiciones

controladas, fueron analizados utilizando el software STATISTIX 8.0 ®, sometiendo los datos en kg/ha al análisis de varianza según el diseño experimental especificado (diseño completamente al azar con arreglo bifactorial) y posteriormente se realizó la prueba de medias de cada factor, ya que se presentó diferencia significativa en los tratamientos A (poliacrilato de potasio) y B (materiales de frijol).

7.2.12. Comparación múltiple de medias

Se llevó a cabo una comparación múltiple de medias, para lo cual se realizó la prueba de Tukey, al 5% de significancia, con el fin de determinar el uso de la lluvia sólida y los materiales de frijol.

7.3. Análisis de las variables de precipitación y temperatura monitoreados durante el desarrollo de la investigación.

Para el análisis de las variables de precipitación y temperatura monitoreadas durante el desarrollo de la investigación, se procedió de la siguiente manera.

El análisis de las variables de precipitación y de temperatura se hizo con la elaboración del balance hídrico correspondiente tanto para la investigación en campo como en el invernadero, de la siguiente manera:

1. Para ello se calculó la evapotranspiración con el método de Hargreaves.

<p>MÉTODO DE HARGREAVES:</p> $ETP = [(100 - HR_m)^{1/2} * 12.5]^{1/2} * [0.075 * RMD] * [(9/5 * T_m^{\circ}C + 32) * 0.0075]$

Figura 16. Fórmula para el cálculo de evapotranspiración por el método de Hargreaves.

Fuente: Santos, A. (2012)

2. Los datos mensuales de humedad relativa que se utilizaron fueron recopilados de la red de estaciones de Anacafe, la cual se ubica en Acatenango, Chimaltenango (cuadro 7).
3. Los datos de radiación extraterrestre que se utilizaron fueron considerados según la latitud en la que se ubica geográficamente el municipio de Parramos, Chimaltenango (cuadro 7).

Cuadro 7. Variables de T, Hr y RMD, para cálculo de ETo, método de Hargreaves

Variables climáticas mensuales, temperatura en campo					
	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Temperatura media	20.1	21.7	20.9	19.65	18.26
Humedad relativa	85.8	76.7	74.6	77.01	75.91
Radiación extraterrestre	15	15.7	15.7	15.7	15.1
Variables climáticas mensuales, temperatura en invernadero					
Temperatura media	25.9	26.1	26.1	24.61	23.95
Humedad relativa	85.8	76.7	74.6	77.01	75.91
Radiación extraterrestre	15	15.7	15.7	15.7	15.1

Fuente: Autor, (2013).

4. Luego de construir el cuadro del balance hídrico tanto para las variables de temperatura y de precipitación monitoreados en campo, como la temperatura monitoreada en el invernadero, se determinaron los meses de exceso y de déficit de agua para el cultivo del frijol en evaluación, y así se obtuvo un dato que ayudo a discutir la disponibilidad de agua en el suelo para el cultivo por las condiciones de lluvia en campo y riego en invernadero, para analizar su

relación con el efecto del poliacrilato de potasio en el suelo y su interacción con las plantas de frijol.

5. Las variables tomadas en cuenta para analizar los datos de temperatura y precipitación monitoreados durante la investigación fueron: la precipitación acumulada mensual, la evapotranspiración mensual y la evapotranspiración del cultivo.
6. El análisis se llevó a cabo con los meses reportados como déficit o como exceso de agua para el frijol evaluado, según las condiciones climáticas con respecto a la temperatura, la precipitación.

7.4. Análisis económico de los tratamientos

El análisis económico que se planteó para esta investigación se basó en la siguiente metodología:

1. Se utilizó un cuadro de costos de producción de frijol por cuerda de 25 varas cuadradas o 437.5m^2 , siendo esta el área más utilizada por los productores de frijol en el municipio de Parramos, Chimaltenango.
2. Se le agregó el costo o la inversión de la implementación del poliacrilato de potasio en este cultivo.
3. Se aumentó exponencialmente el rendimiento reportado por los agricultores según el cuadro de costos analizado, con respecto al aumento obtenido en la evaluación en campo, realizada en Parramos, Chimaltenango.

4. Se analizó el valor obtenido entre la diferencia del costo total de inversión con y sin el uso del poliacrilato de potasio, comprobando su rentabilidad o su ganancia en comparación.

VIII. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

1. Determinación de la retención de la retención de agua del poliacrilato de potasio.

El resultado del análisis de absorción del poliacrilato de potasio se presenta en el siguiente cuadro:

Cuadro 8. Valores de la absorción de agua del poliacrilato de potasio

Peso poliacrilato de potasio (gr)	Volumen de agua aplicado (ml)	Tiempo de hidratación (hora)	Tiempo de secado (hora)	Peso final del poliacrilato de potasio sin agua (gr)	Peso que técnicamente reportado por casa comercial (gr)
1	500	1	1	129.6	500
2	1000	1	1	273.2	1000
3	1500	1	1	443.4	1500

Fuente: Autor, (2013).

Como se puede observar en el cuadro 8, el volumen aplicado a cada una de las medidas de poliacrilato fue el recomendado por Aqua warehouse (2009), (ya que técnicamente el producto absorbe 500 veces su peso) más se puede observar que el peso final no fué el correspondiente a lo reportado que debió de haber sido 500 veces el peso inicial, en ninguna de las tres mezclas, por lo que se descarta que el poliacrilato de potasio absorbe 500 veces su peso en agua.

Con esta prueba se demostró que el producto es subutilizado debido a que los 10gr tienen la capacidad para retener 296 ml más que los 1000 ml sugeridos técnicamente por el fabricante, ya que la dosis recomendada por Aqua warehouse (2009), para el cultivo de frijol que es de 10gr/lit.

2. Evaluación del rendimiento en kg/ha de los materiales genéticos de frijol, sometidos al uso del poliacrilato de potasio.

Rendimiento de frijol.

A continuación se presentan los resultados de rendimiento de frijol ICTA Altense y Nativo de Parramos, con y sin el uso del poliacrilato de potasio, los datos totales por cada una de las unidades experimentales tanto en campo (ver anexos, cuadro 21) como en el invernadero (ver anexos, figura 22), fueron sumados en pesos totales en kilogramos por 15m² área que represento la totalidad del área por tratamiento, tanto para el rendimiento de frijol en campo (ver anexos, figura 23) y en invernadero (ver anexos, figura 24). Lo cual genero los siguientes resultados:

Cuadro 9. Ubicación, tratamiento, materiales de frijol, rendimiento por 15m² kg/ha y qq/ha.

Ubicación	Tratamiento	Material	(kg) 15m2	Kg/ha	qq/ha
Campo	Con poliacrilato de potasio	ICTA Altense	3.82	2549.26	57
Campo	Sin poliacrilato de potasio	ICTA Altense	2.80	1863.60	41
Campo	Con poliacrilato de potasio	Cultivar Parramos	2.48	1652.63	37
Campo	Sin poliacrilato de potasio	Cultivar Parramos	1.66	1107.62	25
Invernadero	Con poliacrilato de potasio	ICTA Altense	2.53	1687.79	38
Invernadero	Sin poliacrilato de potasio	ICTA Altense	1.56	1037.30	23

Invernadero	Con poliacrilato de potasio	Cultivar Parramos	3.38	2250.39	50
Invernadero	Sin poliacrilato de potasio	Cultivar Parramos	1.56	1037.29	23

Fuente: Autor, (2013).

En el cuadro 9, se muestran los diferentes rendimientos obtenidos de los tratamientos evaluados de poliacrilato de potasio y los materiales de frijol, con respecto a la variable rendimiento en Kg/ha de frijol, fueron distintos en comparación de utilizar el poliacrilato de potasio o no utilizarlo.

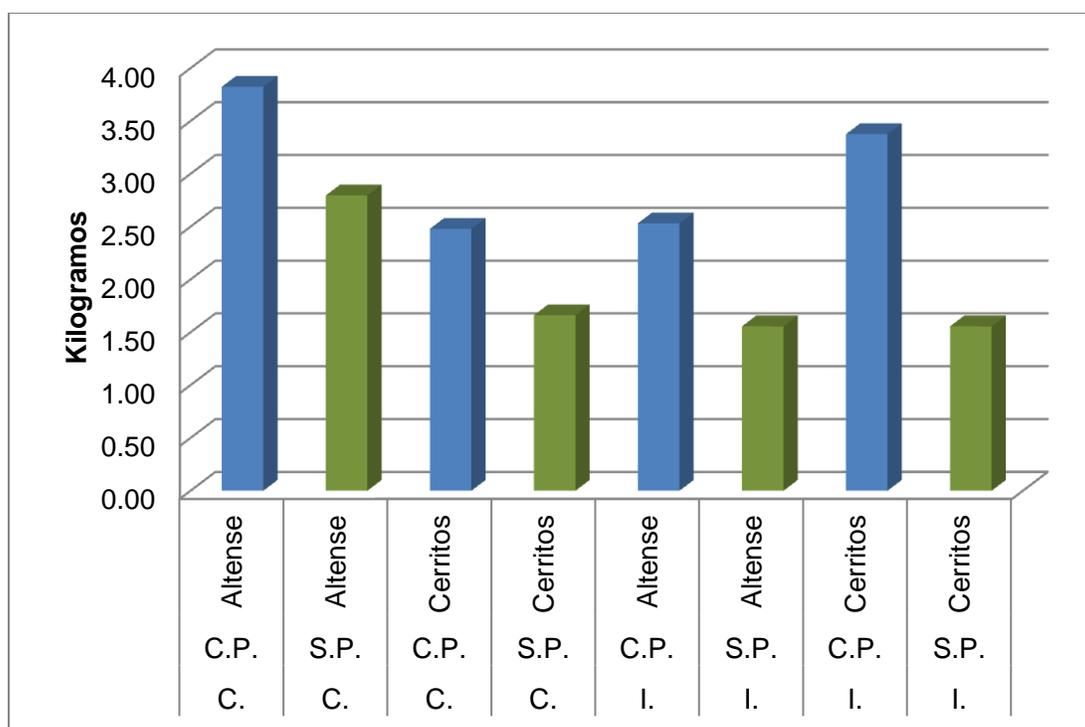


Figura 17. Resultados de los tratamientos de frijol (Kg)

- C.P: Con poliacrilato de potasio
- S.P: Sin poliacrilato de potasio
- C: Campo.; I: Invernadero

Fuente: Autor, (2013).

Observando la figura 17, los materiales de frijol con y sin el uso del poliacrilato de potasio, se puede visualizar que el rendimiento o la productividad del cultivo fué

mayor en los materiales genéticos de frijol con el uso del poliacrilato de potasio en la producción de frijol en kg en comparación con los materiales de frijol sin esta práctica.

Es por ello que es necesario someter estos resultados obtenidos en pequeñas parcelas o unidades experimentales (1m^2), siendo expresadas en kg/ha, y analizadas estadísticamente.

El resultado del análisis estadístico fueron los siguientes:

Análisis de varianza entre los datos obtenidos en campo.

Tabla de rendimientos

Cuadro 10. Prueba de medias de los materiales de frijol en evaluación con poliacrilato de potasio en campo (Kg/ha).

Fuente	g.l.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	F tabulada
Poliacrilato	1	5636962	5636962	24.77	0.0000*
Frijol	1	1.018E+07	1.018E+07	44.75	0.0000*
Poliacrilato *Frijol	1	85161.7	85161.7	0.37	0.5440
Error	42	9556269	227530		
Total	59	2.860E+07			

Fuente: Autor, (2013).

Media general = 1927.2 Kg/ha CV = 25.56

Según el análisis de varianza entre los tratamientos del factor A (poliacrilato de potasio) y factor B (materiales de frijol), con respecto a sus niveles respectivos

(A1: con poliacrilato de potasio, A2: sin poliacrilato de potasio, B1: material de frijol cultivar de Parramos, B2: material ICTA Altense realizado, se demostró que existió diferencia significativa entre el tratamiento de poliacrilato de potasio y el tratamiento materiales genéticos de frijol, analizando la variable de respuesta Kg/ha de frijol, por lo que fue necesario realizar una prueba de medias o una comparación por pares de los tratamientos por cada factor, a excepción de la interacción que no presentó diferencia significativa.

La diferencia significativa se analizó tratamiento por tratamiento, en este caso se presenta por el tratamiento de poliacrilato de potasio

2.1. Prueba de tukey del tratamiento de poliacrilato de potasio

Cuadro 11. Resultado de la prueba de tukey al factor poliacrilato de potasio.

Con poliacrilato de potasio (A1)	2099.2	A	
Sin poliacrilato de potasio (A2)	1486.2		B

Fuente: Autor, (2013).

Según el análisis estadístico realizado, utilizando la prueba de tukey con un nivel del 5% de error y con un 95% de confianza, se comprueba lo siguiente:

- Según el cuadro 11, existió diferencia significativa entre los dos niveles del factor A, los cuales fueron A1: Uso del poliacrilato de potasio y A2: sin utilizar el poliacrilato de potasio. Es decir que hasta en esta prueba de tukey se pudo afirmar que si existió diferencia entre el uso o no del poliacrilato de potasio.
- El uso del poliacrilato de potasio como fuente de agua o como reservorio de agua en el suelo tuvo una diferencia en rendimiento A1 2256.7 Kg/ha que fue usando el poliacrilato de potasio y A2 1597.7 que fue no utilizando el

poliacrilato de potasio.

Como resultado de la evaluación estadística realizada, el uso del poliacrilato de potasio en el cultivo de frijol incrementa el rendimiento tanto en el material Altense como en el cultivar cerritos de Parramos.

2.2. Prueba de medias para el factor B (materiales de frijol)

Significancia de los grupos homogéneos del tratamiento de frijol

Cuadro 12. Diferencia significativa del factor B (materiales de frijol)

ICTA Altense (B2)	2204.7	A	
Cultivar Parramos (B1)	1380.8		B

Fuente: Autor, (2013).

Según el análisis estadístico realizado, utilizando la prueba de tukey con un nivel del 5% de error y con un 95% de confianza. Se comprueba lo siguiente:

- Existió diferencia significativa entre los dos niveles del factor B, los cuales fueron B1: material de frijol nativo de Parramos y B2: Material de frijol ICTA Altense. Siendo el tratamiento B2 el mejor resultado con respecto a la variable rendimiento de frijol en Kg/ha.
- El material de frijol Altense obtuvo mejor rendimiento en comparación con el material nativo de Parramos. Saliendo significativo en esta prueba de tukey.

Como resultado de la evaluación estadística realizada, se reportó que el material de frijol Altense poseyó mayor rendimiento estadísticamente que el cultivar de Parramos.

2.3. Análisis de ANDEVA sobre rendimiento de materiales genéticos de frijol en evaluación con y sin poliacrilato de potasio en invernadero.

Esta evaluación del poliacrilato de potasio con respecto a su efecto en el cultivo de frijol se realizó bajo condiciones de controladas (invernadero), suministrando un riego reducido en un 50% con respecto a la lluvia que se genera fuera del invernadero a las plantas, esto con el fin de comprobar la función del poliacrilato de potasio como reservorio de agua simulando el efecto de sequía (reducción en la precipitación de lluvia), cabe mencionar que la temperatura dentro del invernadero a comparación de la generada en campo fue superior en 6°C. Los resultados fueron los siguientes:

Cuadro 13. Prueba de medias de los materiales de frijol en evaluación con poliacrilato de potasio en invernadero (Kg/ha)

Fuente	g.l.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	F tabulada
Poliacrilato de potasio	1	1.161E+07	1.160E+07		
Frijol	1	1509326	1509326	77.09	0.0000
Poliacrialto de potasio*Frijol	1	1010375	1010375	10.02	0.0029
Error	42	6323905	150569	6.71	0.0131*
Total	59	2.150E+07			

Fuente: Autor, (2013).

Media general 1637.2 Kg/ha CV 25.48

Según el análisis de varianza entre los tratamientos de A (poliacrilato de potasio) y B (materiales de frijol), con respecto a sus niveles respectivos (A1: con poliacrilato de potasio, A2: sin poliacrilato de potasio, B1: material de frijol nativo de Parramos,

B2: material Altense ICTA) realizado, se demostró que existió diferencia significativa entre el tratamiento A y el tratamiento B, analizando la variable de respuesta Kg/ha de frijol, por lo que fue necesario realizar una prueba de medias o una comparación por pares de los tratamientos por cada factor.

La diferencia significativa se analizó con la prueba de medias de la interacción de los tratamientos, en este caso se presenta por el tratamiento de poliacrilato de potasio y los materiales genéticos de frijol.

2.4. Comparaciones por pares de todas las pruebas de rendimiento para el factor A (poliacrilato de potasio) y B (materiales de frijol)

Significancia de los grupos homogéneos del tratamiento A y B

Cuadro 14. Significancia de los grupos homogéneos del tratamiento A y B

ICTA Altense con poliacrilato de potasio (A1 x B2)	2251.2	A		
ICTA Altense sin poliacrilato de potasio (A2 x B2)	1674.4		B	
Cultivar Parramos con poliacrilato de potasio (A1 x B1)	1111.9			C
Cultivar Parramos sin poliacrilato de potasio (A2 x B1)	1054.3			C

Fuente: Autor, (2013).

Según el análisis estadístico realizado, utilizando la prueba de tukey con un nivel del 5% de error y con un 95% de confianza. Se comprueba lo siguiente:

- Existió diferencia significativa entre los tratamientos A, B y C. Siendo el nivel A el tratamiento con mejor resultado con respecto al rendimiento de frijol en Kg/ha, siendo este tratamiento el uso del material Altense en conjunto con el poliacrilato de potasio.
- La interacción de las pruebas del uso del material Altense sin utilizar el poliacrilato de potasio (A2xB2) y el uso del material nativo de Parramos

utilizando el poliacrilato de potasio (A1xB1), no poseyeron diferencias significativas al compararlos entre sí.

Como resultado de la evaluación estadística realizada, se comprueba que el material de frijol Altense utilizando el poliacrilato de potasio como fuente de reservorio de agua en el suelo, es la interacción o el tratamiento con mejor resultado debido a su aumento de producción de frijol en Kg/ha.

3. Análisis de las variables de lluvia y temperatura reportados durante la ejecución de la evaluación.

Como parte del análisis de las variables de precipitación y temperatura monitoreadas en el inervarlo de mayo a septiembre del año 2013, se elaboró un balance hídrico tanto para el comportamiento del agua en condiciones de campo como en condiciones de invernadero como se muestra a continuación:

Cuadro 15. Balance hídrico del frijol en condiciones de campo durante cinco meses.

Balance hídrico campo					
Mes registrado	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Precipitación (acum)	152.0	74.0	220.0	402.0	297.0
Evapotranspiración (mensual)	122.3	146.3	151.2	142.8	129.5
Kc	0.4	1.15	1.15	1.15	1.55
Etc=Kc*Evo	48.9	168.2	173.9	164.2	200.7
Diferencias	103.1	-94.2	46.1	237.8	96.3

Fuente: Autor, (2013).

En el cuadro 15, se observó que el mes de junio fue el único mes que la planta de frijol tuvo deficiencia de agua con respecto a la lluvia que se manifestó en los cinco meses que tuvo de desarrollo la evaluación del poliacrilato de potasio con el cultivo de frijol, mientras que en los meses de mayo, julio, agosto y septiembre, el cultivo tuvo a su disposición la cantidad de agua necesaria según el balance

hídrico realizado. Por lo que el experimento solo estuvo en sequía teóricamente un mes que fue Junio, a continuación el balance hídrico en condiciones de invernadero.

Cuadro 16. Balance hídrico del frijol en condiciones de invernadero.

Balance hídrico invernadero					
Mes registrado	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Precipitación (acum)	76	37	110	201	148.5
Evapotranspiración (mensual)	141.3	162.7	171.5	161.72	149.9
Kc	0.4	1.15	1.15	1.15	1.6
Etc=Kc*Evo	56.5	187.1	197.2	185.98	232.3
Diferencias	19.5	-150	-87.2	15.021	-83.8

Fuente: Autor, (2013).

En el cuadro 16, se observó que en los meses de junio, julio y septiembre, según el balance hídrico realizado hubo deficiencia de agua en el cultivo de frijol con respecto a la lluvia que se manifestó en los cinco meses que tuvo de desarrollo la evaluación del poliacrilato de potasio con el cultivo de frijol, mientras que en los meses mayo y agosto, el cultivo tuvo a su disposición la cantidad de agua necesaria según el balance hídrico realizado. Por lo que los meses de sequía en el invernadero fueron en los meses de junio, julio y septiembre.

Como se puede observar en los cuadros 15 y 16, el requerimiento hídrico del frijol en condiciones de invernadero, tuvo mayor déficit de agua que en condiciones de campo, por lo que el uso del poliacrilato tuvo mejores condiciones en el invernadero para expresar sus cualidades como medio de reservorio de agua en el suelo.

Esto no descarta el hecho de que el poliacrilato de potasio pueda manifestar un incremento o un cambio en el rendimiento del frijol aun si las plantas obtienen suficiente agua para suplir sus necesidades hídricas como se observa en la

evaluación en campo con respecto al balance hídrico. Ya que según el análisis estadístico efectuado con los rendimientos en kg/ha de frijol ambas condiciones poseen diferencia significativa entre tratamientos.

Debe considerarse que el suelo utilizado en la evaluación según sus características fue un suelo franco arenoso, el cual no retiene mucha humedad en el suelo, aun después de haber tenido la lluvia necesaria para cubrir el requerimiento hídrico del frijol, esta humedad pudo no haber sido retenida por mucho tiempo en el suelo, por lo que se recomienda en futuras investigaciones el análisis del comportamiento del poliacrilato de potasio en el suelo, con respecto a capacidad de campo y punto de marchites permanente en el suelo.

4. Análisis económico del uso del poliacrilato de potasio en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*)

Para la realización del análisis económico del uso del poliacrilato de potasio en el cultivo de frijol, se utilizó el siguiente cuadro:

Cuadro 17. Costo de producción por hectárea del cultivo de frijol.

ACTIVIDAD	COSTOS
COSTOS DIRECTOS	
1. Barbecho del suelo	Q225.00
2. Raspado del suelo	Q75.00
3. Limpia, fertilización y calza	Q150.00
4. Cosecha	Q150.00
5. Aplicación de insecticida	Q75.00
INSUMOS	
1. Semilla 10 libras	Q75.00
2. Abono orgánico	Q225.00
3. Abono químico	Q100.00

ACTIVIDAD	COSTO
4. Insecticida	Q25.00
5. Poliacrilato de potasio	Q273.43
Sumatoria costos directos	Q1,100.00
COSTOS INDIRECTOS	
1. Alquiler de terreno	Q200.00
2. Interés 21% sobre costos indirectos	Q231.00
Sumatorio costos indirectos	Q431.00
Total (Costos directos mas costos indirectos)	Q1,804.43

Fuente: ICTA, (2010).

Como se presenta en el cuadro 17, se toma en consideración el costo de producción por cuerda que fue de Q.1,531.00 a los cuales se les suma el costo inferido en el uso del poliacrilato de potasio como parte de los insumos utilizados durante la producción la cual es fue Q.273.43, el cual generaría un costo total de Q.1,804.43 por cuerda de frijol.

Cuadro 18. Rendimiento de frijol en kg/15m², kg/cuerda y qq/cuerda en campo.

Material	kg/15m²	kg/cuerda	qq/cuerda
ICTA Altense con poliacrilato de potasio	3.82	111.53	2.5
ICTA Altense sin poliacrilato de potasio	2.8	81.67	1.8
Cultivar con poliacrilato de potasio	2.48	72.33	1.6
Cultivar sin poliacrilato de potasio	1.66	48.42	1.1

Fuente: Autor, (2013).

Observando la grafica 18 vemos que la producción en qq/cuerda fue menor en los materiales de frijol que no poseen el poliacrilato de potasio como práctica de reservorio de agua en el suelo.

Cuadro 19. Materiales de frijol, inversión, ingreso neto, ganancia neta con y sin poliacrilato de potasio.

Materiales			Inversión	Ingreso neto	Ganancia neta
ICTA	Altense	con	Q1,804.43	Q1,875.00	Q70.57
poliacrilato de potasio					
ICTA	Altense	sin	Q1,531.00	Q1,350.00	Q181.00
poliacrilato de potasio					
Cultivar	Parramos	con	Q1,804.43	Q1,200.00	Q - 604.43
poliacrilato de potasio					
Cultivar	Parramos	sin	Q1,531.00	Q825.00	Q - 706.00
poliacrilato de potasio					

Fuente: Autor, (2013).

El precio por quintal de frijol limpio fue de Q.750.00 (ICTA, 2010), comparando la producción estimada en kg/cuerda de frijol obtenida en la investigación como se muestra en el cuadro 19, con el costo de producción utilizado, se genera una ganancia neta después de restar el costo en la producción de frijol de Q.70.57 con respecto al material ICTA Altense y Q -604.43 con respecto a la producción de frijol cultivar de Parramos, Chimaltenango, en ambos casos con respecto al cultivar de Parramos la rentabilidad del cultivo es negativo, por lo que el uso del poliacrilato de potasio aumenta los costos no siendo rentable para los agricultores, en este caso según la comparación en el cuadro 19, el material ICTA Altense sin el uso del poliacrilato de potasio resulta ser la mejor opción en cuanto a producción de frijol.

IX. CONCLUSIONES

1. El poliacrilato de potasio según la determinación de la absorción de agua efectuado mostró que no absorbe 500 veces su peso en agua, como técnicamente afirman los productores de silos de agua, absorbiendo 129.6 ml de agua por gramo de poliacrilato de potasio, 273.2 ml de agua por cada dos gramos y 443.4 ml de agua por cada tres gramos de poliacrilato de potasio. Ósea 138 veces su peso.
2. El aumento en el rendimiento en condiciones de campo de frijol ICTA Altense cuando se utilizó el poliacrilato de potasio fué del 37%. Sin el poliacrilato de potasio fué de 41 qq/ha y el rendimiento utilizando el poliacrilato de potasio fué de 57 qq/ha. El aumento en campo del cultivar Parramos fué de 49%. De igual manera el rendimiento obtenido en la evaluación del frijol sin el poliacrilato de potasio fué de 25 qq/ha y el rendimiento utilizando el poliacrilato de potasio fué de 37 qq/ha. Ósea que se tiene un incremento en la productividad del cultivo con esta práctica.
3. El aumento en el rendimiento en condiciones controladas (invernadero) de frijol Altense cuando se utilizó el poliacrilato de potasio fué del 60%. El rendimiento obtenido en la evaluación del frijol sin el poliacrilato de potasio fué de 23 qq/ha y el rendimiento utilizando el poliacrilato de potasio fué de 38 qq/ha. El aumento en campo del cultivar de Parramos fué de 46%. De igual manera el rendimiento obtenido en la evaluación del frijol sin el poliacrilato de potasio fué de 23 qq/ha y el rendimiento utilizando el poliacrilato de potasio fué de 50 qq/ha. Ósea que la productividad en condiciones de escasez de agua también obtuvo un incremento en el rendimiento del frijol.
4. El aumento con respecto al promedio nacional de 18 qq/ha producidos en Guatemala en comparación con el producido con el material ICTA Altense fué de 316% siendo de 57 qq/ha y de 205% con respecto al material cultivar de Parramos que fué de 37 qq/ha.

5. Se acepta la hipótesis alternativa referida al efecto positivo del poliacrilato de potasio en interacción con dos materiales de frijol (ICTA Altense y cultivar Parramos). Se comprobó estadísticamente que el uso del poliacrilato de potasio en interacción con los materiales de frijol tanto en campo y en invernadero, dieron como resultado el aumento de la producción del rendimiento de frijol en kg/ha.
6. Según el balance hídrico realizado con los datos monitoreados de precipitación y temperatura, se determinó el déficit de agua para el cultivo de frijol en el mes de junio, con respecto a la evaluación en campo y el déficit de agua en los meses de junio, julio y septiembre con respecto a la evaluación en condiciones de escasez de agua (invernadero).
7. El uso del poliacrilato de potasio en el material ICTA Altense y el cultivar de Parramos, resultó ser no rentable ante el uso de esta práctica agrícola.
8. El uso del poliacrilato de potasio como práctica potencial de adaptación a la amenaza de sequía, en el departamento de Chimaltenango, según la investigación realizada en los materiales de frijol ICTA Altense y cultivar del municipio de Parramos, dió como resultado que fué una práctica aceptable y con resultados positivos ante esta amenaza climática de sequía que reduce la precipitación, pero no rentable.
9. El producto de poliacrilato de potasio según la dosis recomendada por kilos de agua, de 10 gr por litro tiene la capacidad de absorber 296 ml más de los que se recomiendan.
10. Después de haber reducido el 50% de la lluvia que se genera en condiciones de campo, y proporcionando esta cantidad reducida en forma de riego en la evaluación en condiciones controladas, en un ambiente con un aumento de

temperatura de 6°C, se obtuvo una respuesta positiva con respecto al uso del poliacrilato de potasio como práctica potencial ante la amenaza de sequia, aumentando el rendimiento del frijol en comparación de los materiales evaluados sin esta práctica.

X. RECOMENDACIONES

1. Realizar la evaluación del poliacrilato de potasio en zonas más secas, con mayor reporte de temperaturas altas y menor precipitación que las zonas del altiplano del país, detectando zonas como por ejemplo en los departamentos de Chiquimula, Jutiapa, Jalapa, Escuintla, Suchitepéquez, Retalhuleu o Peten.
2. Evaluar distintas dosis de poliacrilato de potasio en comparación con la recomendada de un litro por diez gramos de agua por la casa comercial Silos de Agua ® con respecto a la aplicación del poliacrilato de potasio en el cultivo de frijol y sus densidades de siembra.
3. Realizar la evaluación del comportamiento del poliacrilato de potasio en el suelo y su efecto en el rendimiento del cultivo de frijol durante seis años más y determinar así el efecto del rendimiento conforme a la degradación del poliacrilato de potasio.
4. Evaluar el poliacrilato de potasio y su efecto en el cultivo de frijol con respecto a sus características fenológicas.

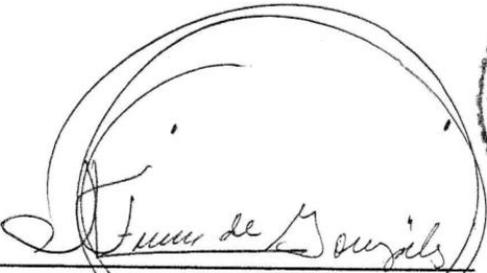
XI. BIBLIOGRAFÍA

- Aqua Warehouse. 2009. Características principales del poliacrilato de potasio (en línea). Consultado 28/02/2013. Disponible en: www.Aquawarehouse.com
- CEPAL (La Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2011. Escenarios futuros de los siete países de Centroamérica (en línea). Consultado, 05/03/2013. Disponible en: www.eclac.cl/id.asp?id=43925
- CIE (Cuarto Informe de Evaluación). 2007. Cambios observados del clima: efectos y causas. El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como evidencia ya el aumento observado del promedio mundial de las variables climáticas (en línea). Consultado, 02/03/2013. Disponible en: www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/es/mains6-1.html
- Diario de Yucatán. 2013. Aplican tecnología de lluvia sólida en 10 hectáreas de Zacatecas (en línea). mx. Consultado, 20/10/2013. Disponible en: www.yucatan.com.mx/México/Medioambiente
- El periódico. 2012. Sequía afecta 53227 familias según Pérez (en línea). Consultado, 02/03/2013. Disponible en: <http://www.elperiodico.com.gt/nacionales/2012/09/10/sequia-afecta->
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2013. Informe mensual sobre la reserva, precio y consumo de maíz y frijol en Guatemala (en línea). Consultado, 02/10/2013. Disponible en: www.coin.fao.org/cms/world/guatemala/Monitoreos.html

- Frankel, O.; Bennett, E. 1970. Genetics Resources. En: Genetics Diversity in plants (eds A. Muhammed, R. Aksel, y R.C. Von Borstel) p 21-44. Plenum Press, N.Y.
- ICC (Instituto Privado de Investigación Sobre el Cambio Climático). 2013. Diagnóstico general del municipio de la Parramos, Chimaltenango. Guatemala, Gt. 44p.
- ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola). 2010. Granos Básicos. Costos de producción de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) por cuerda (en línea). Consultado, 01/10/2013. Disponible en: www.icta.gob.gt/granosBasicos.html
- ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola). 2010. Manual de Producción Comercial y de Semilla de Frijol (*Phaseolus Vulgaris L.*) (en línea). Consultado, 02/03/2013. Disponible en: www.icta.gob.gt/granosBasicos/produccionSemillaFrijol.pdf
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Climate Change: The Scientific Basic of the Intergovernmental Panel on Climate change. Technical Summary. Cambridge: WMO-UNEP. Cambridge University Press. Versión en español (en línea). Consultado, 02/03/2013. Disponible en: www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf
- MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación). 2012. Determinación del mapa de amenazas de sequía. 2002. Mapa de amenazas por sequía. República de Guatemala (en línea). Consultado, 02/03/2013. Disponible en: www.desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/.../doc665-parte2.pdf
- SAGARPA (Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y alimentación). 2013. Implementación de lluvia sólida en el cultivo de frijol (en

línea). mx. Consultado, 22/10/2013. Disponible en: www.siap.gob.mx/opt/foroexpectativas/presentaciones2012/rvelasco.pdf

- Santos A, L. 2012. Guatemala. Guía para la elaboración del estudio climático. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 37 p.
- SEGEPLAN (La Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia). 2010. Índices de vulnerabilidad (en línea). Consultado, 05/03/2013. Disponible en: www.segeplan.gob.gt/2.0/index.php?...parramos...



Vo. Bo. Licda. Ana Teresa de González
Bibliotecaria

XII. ANEXOS

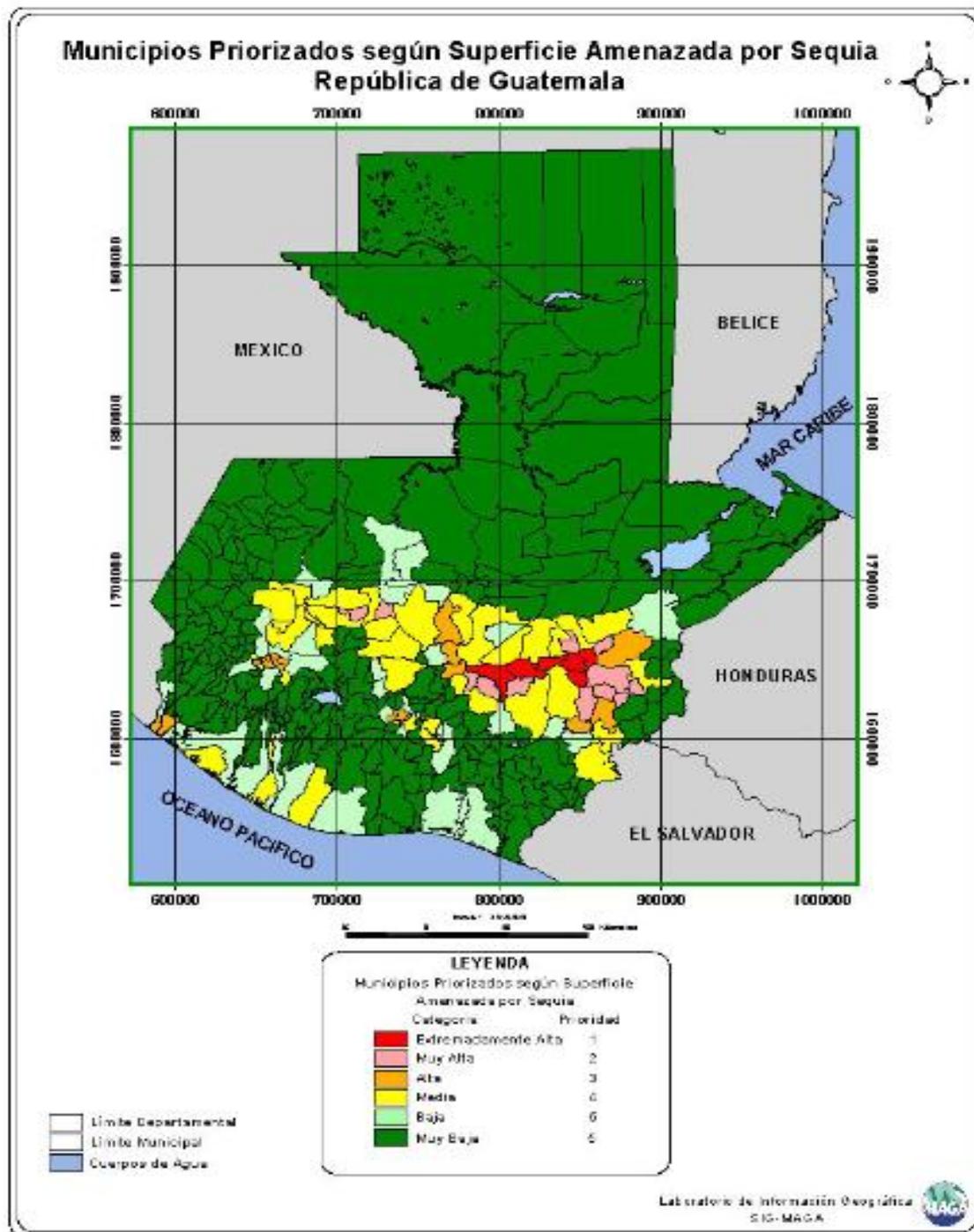


Figura 18. Municipios priorizados según superficie amenazada por sequía. República de Guatemala.

Fuente: MAGA (2002).

Cuadro 20. Calificación del grado de amenaza por sequía en áreas del país.

No.	Departamento	Municipio	Superficie Municipal en KM2	Extremadamente Alto	Muy Alto	Alto	Orden de Prioridad
1	El Progreso	Sanarate	274,40	87,02%	9,53%	3,45%	1
2	Zacapa	Cabañas	138,77	99,91%	0,09%	0,00%	1
3	Zacapa	San Diego	103,68	63,87%	36,13%	0,00%	1
4	El Progreso	El Jicaro	114,64	92,04%	7,96%	0,00%	1
5	Zacapa	Huité	89,12	100,00%	0,00%	0,00%	1
6	El Progreso	Guastatoya	218,24	76,96%	12,87%	10,01%	1
7	Zacapa	Estanzuela	92,24	27,91%	70,73%	1,37%	2
8	El Quiché	Canillá	102,14	0,00%	99,96%	0,05%	2
9	Guatemala	San José del Golfo	76,49	36,16%	27,85%	36,00%	2
10	Chiquimula	San Jacinto	70,94	0,00%	75,17%	24,83%	2
11	El Progreso	Sansare	144,18	51,36%	35,44%	13,20%	2
12	Chiquimula	Chiquimula	353,43	44,03%	43,87%	12,10%	2
13	Chimaltenango	San Luis Jilotepeque	210,47	27,49%	72,30%	21,00%	2
14	Zacapa	Usumatlán	108,37	27,87%	40,82%	31,31%	2
15	Chiquimula	San Juan Ermita	80,72	0,00%	66,12%	33,88%	2
16	El Quiché	San Bartolomé Jocotenango	103,44	0,00%	62,22%	37,78%	2
17	Chiquimula	San José La Arada	115,62	47,89%	52,11%	0,00%	2
18	El Progreso	San Antonio La Paz	147,51	7,13%	37,77%	55,09%	2
19	Sacatepéquez	San Antonio Aguas Calientes	5,15	0,00%	0,00%	100,00%	3
20	Totonicapán	San Andres Xecul	16,49	0,00%	0,00%	100,00%	3
21	Quetzaltenango	Salcája	16,88	0,00%	0,00%	100,00%	3
22	Quetzaltenango	Olintepeque	32,18	0,00%	0,00%	100,00%	3
23	Quetzaltenango	San Francisco La Union	13,89	0,00%	0,00%	99,99%	3
24	Sacatepéquez	Jocotenango	9,96	0,00%	0,00%	99,98%	3
25	Totonicapán	San Cristobal Totonicapán	44,26	0,00%	0,00%	99,85%	3
26	Quetzaltenango	San Miquiel Sigüila	17,13	0,00%	0,00%	99,69%	3
27	Jalapa	San Manuel Chaparrón	129,02	0,00%	19,82%	78,21%	3
28	Chiquimula	Ipala	230,61	0,00%	30,98%	62,12%	3
29	Baja Verapaz	Febinal	312,16	0,00%	299,89%	72,74%	3
30	Chimaltenango	Parramos	29,44	0,00%	0,00%	90,94%	3
31	Sacatepéquez	Pastores	38,26	0,00%	0,00%	90,87%	3
32	Baja Verapaz	El Chol	119,32	8,90%	16,22%	63,78%	3
33	Zacapa	Zacapa	506,12	7,61%	51,81%	27,89%	3
34	Guatemala	Chuarrancho	117,97	27,84%	17,82%	41,52%	3
35	San Marcos	Ocos	151,77	0,00%	49,76%	35,90%	3
36	El Quiché	Sacapulas	368,24	0,00%	15,37%	68,29%	4
37	El Progreso	San Cristobal Acasaguastlan	164,87	13,11%	20,90%	44,97%	4
38	El Quiché	San Andrés Sajcabaja	189,39	0,00%	45,07%	29,11%	4
39	Baja Verapaz	Cubulco	692,05	0,00%	47,40%	26,08%	4
40	Jutiapa	Agua Blanca	239,27	0,00%	53,64%	19,79%	4
41	Totonicapán	San Bartolo Aguas Calientes	56,32	0,00%	0,00%	73,24%	4

Fuente: MAGA (2002).



Figura 19. Invernadero, Parramos, Chimaltenango

Fuente: Autor, (2013)

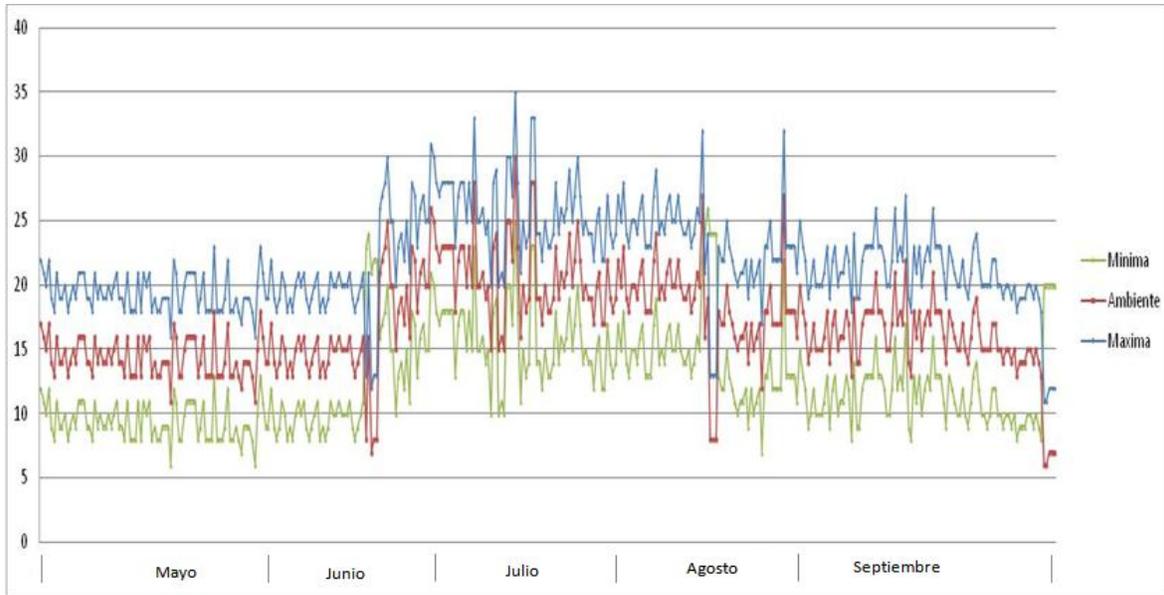


Figura 20. Temperaturas de ambiente, máximas y mínimas, reportadas durante el desarrollo de la investigación en campo.

Fuente: Autor, (2013).

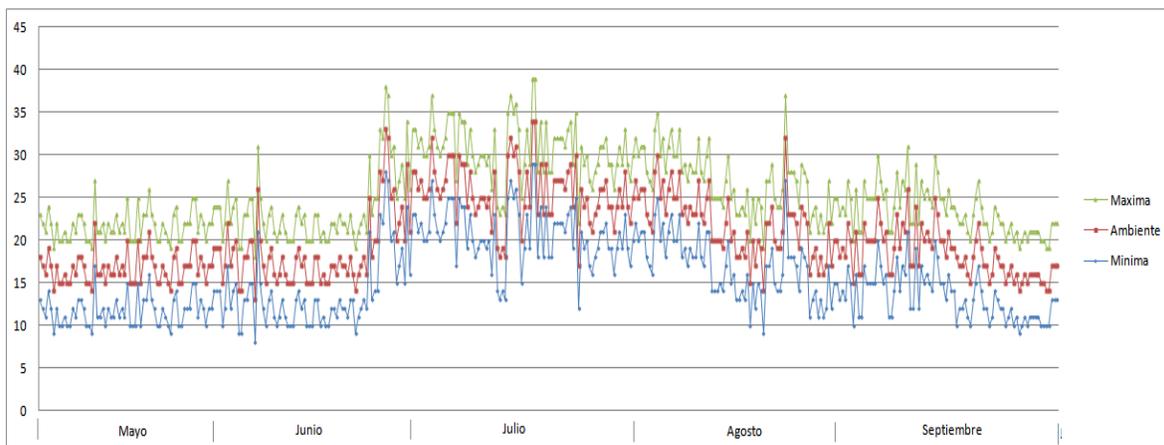


Figura 21. Temperaturas de ambiente, máximas y mínimas, reportadas durante el desarrollo de la investigación en el invernadero.

Fuente: Autor, (2013).

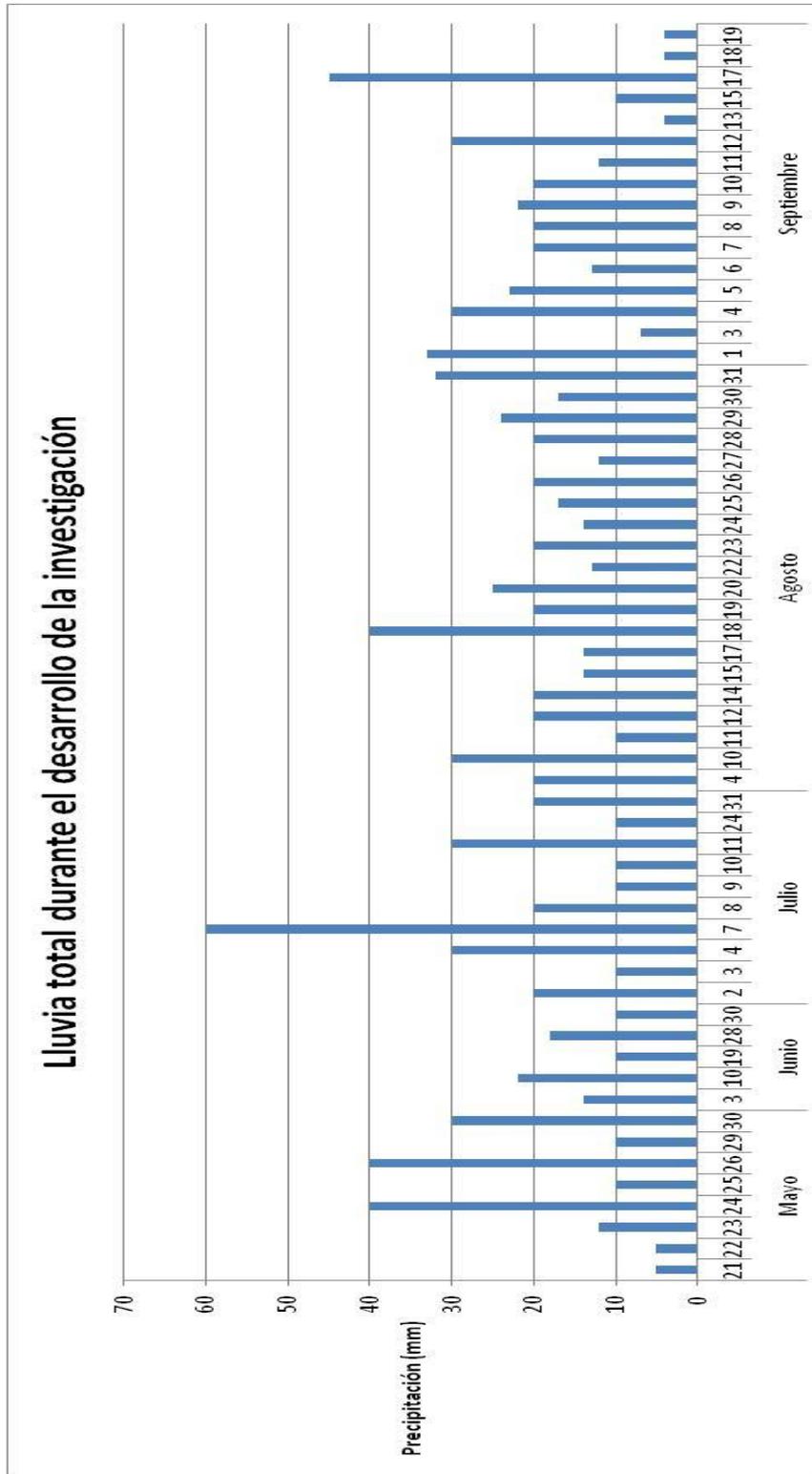


Figura 22. Temperaturas de ambiente, máximas y mínimas, reportadas durante el desarrollo de la investigación en el invernadero.

Fuente: Autor, (2013).

Cuadro 21. Kilogramos de frijol obtenidos por cada unidad experimental de la evaluación en campo.

kg de frijol en campo					
ICTA Altense con Poliacrilato			Cultivar con Poliacrilato		
A1 x B2	Kg/m ²	Kg/ha	A1 x B1	Kg/m ²	Kg/ha
T1	0.19	1,860	T2	0.14	1395
T1	0.20	1,953	T2	0.18	1767
T1	0.20	2,047	T2	0.17	1674
T1	0.21	2,140	T2	0.16	1581
T1	0.20	2,047	T2	0.19	1860
T1	0.33	3,256	T2	0.15	1488
T1	0.31	3,070	T2	0.14	1395
T1	0.31	3,070	T2	0.17	1674
T1	0.25	2,512	T2	0.18	1767
T1	0.36	3,628	T2	0.15	1488
T1	0.36	3,628	T2	0.14	1395
T1	0.24	2,419	T2	0.17	1674
T1	0.24	2,419	T2	0.19	1860
T1	0.20	1,953	T2	0.20	1953
T1	0.22	2,233	T2	0.18	1767
ICTA Altense sin Poliacrilato			Cultivar sin Poliacrilato		
A2 x B2	Kg/m ²	Kg/ha	A2 x B1	Kg/m ²	Kg/ha
T3	0.14	1395	T4	0.15	1488
T3	0.15	1488	T4	0.09	930
T3	0.15	1488	T4	0.16	1581
T3	0.14	1395	T4	0.09	930
T3	0.20	2047	T4	0.07	744
T3	0.20	1953	T4	0.01	121
T3	0.14	1395	T4	0.19	1860
T3	0.15	1488	T4	0.13	1302

ICTA Altense sin Poliacrilato			Cultivar sin Poliacrilato		
A2 x B2	Kg/m2	Kg/ha	Kg/m2	Kg/ha	A2 x B2
T3	0.17	1674	T4	0.07	744
T3	0.20	2047	T4	0.08	837
T3	0.22	2233	T4	0.17	1674
T3	0.28	2791	T4	0.09	930
T3	0.26	2605	T4	0.19	1860
T3	0.25	2512	T4	0.10	1023
T3	0.14	1395	T4	0.07	651

Fuente: Autor, (2013).

Cuadro 22. Kilogramos de frijol obtenidos por cada unidad experimental de la evaluación en invernadero

Kg de frijol en invernadero					
ICTA Altense con Poliacrilato			Cultivar con Poliacrilato		
A1 x B2	Kg/m2	Kg/ha	A1 x B1	Kg/m2	Kg/ha
T1	0.14	1395	T2	0.21	2140
T1	0.16	1581	T2	0.26	2605
T1	0.15	1488	T2	0.22	2233
T1	0.11	1116	T2	0.23	2326
T1	0.15	1488	T2	0.20	2047
T1	0.14	1395	T2	0.24	2419
T1	0.19	1860	T2	0.25	2512
T1	0.18	1767	T2	0.26	2605
T1	0.20	2047	T2	0.20	1953
T1	0.24	2419	T2	0.17	1674
T1	0.13	1302	T2	0.18	1767
T1	0.15	1488	T2	0.20	2047
T1	0.17	1674	T2	0.24	2419
T1	0.19	1860	T2	0.26	2605
T1	0.22	2233	T2	0.24	2419

ICTA Altense sin Poliacrilato			Cultivar sin Poliacrilato		
A2 x B2	Kg/m ²	Kg/ha	A2 x B1	Kg/m ²	Kg/ha
T3	0.11	1116	T4	0.15	1488
T3	0.08	837	T4	0.09	930
T3	0.10	1023	T4	0.16	1581
T3	0.11	1116	T4	0.09	930
T3	0.14	1395	T4	0.07	744
T3	0.12	1209	T4	0.01	121
T3	0.09	930	T4	0.19	1860
T3	0.08	837	T4	0.13	1302
T3	0.16	1581	T4	0.07	744
T3	0.08	837	T4	0.08	837
T3	0.13	1302	T4	0.17	1674
T3	0.08	837	T4	0.09	930
T3	0.07	744	T4	0.19	1860
T3	0.09	930	T4	0.10	1023
T3	0.11	1116	T4	0.07	651

Fuente: Autor, (2013).

Cuadro 23. Peso de cada unidad experimental de frijol en kilogramos de la evaluación en campo.

Fecha	Tratamiento	Material	Peso (lb)	Peso (onz)	Total (kg) 14% HRm
19/08/2013	C.P.	ICTA Altense	1	14	0.79
09/08/2013	C.P.	ICTA Altense	2		0.84
09/08/2013	C.P.	ICTA Altense		11	0.29
12/08/2013	C.P.	ICTA Altense	2	4	0.95
12/08/2013	C.P.	ICTA Altense	2	4	0.95
				Σ Peso	3.82
19/08/2013	S.P.	ICTA Altense	2	8	1.05
09/08/2013	S.P.	ICTA Altense	2	15	1.24

Fecha	Tratamiento	Material	Peso (lb)	Peso (onz)	Total (kg) 14% HRm
12/08/2013	S.P.	ICTA Altense		10	0.26
12/08/2013	S.P.	ICTA Altense		9	0.24
				Σ Peso	2.80
19/08/2013	C.P.	Cultivar Parramos	1	4	0.53
09/08/2013	C.P.	Cultivar Parramos		12	0.32
12/08/2013	C.P.	Cultivar Parramos	2	2	0.90
12/08/2013	C.P.	Cultivar Parramos	1	12	0.74
				Σ Peso	2.48
19/08/2013	S.P.	Cultivar Parramos		11	0.29
09/08/2013	S.P.	Cultivar Parramos		8	0.21
29/08/2013	S.P.	Cultivar Parramos		12	0.32
12/08/2013	S.P.	Cultivar Parramos	2		0.84
				Σ Peso	1.66

• C.P: Con poliacrilato de potasio

• S.P. Sin poliacrilato de potasio

Fuente: Autor, (2013).

Cuadro 24. Peso de cada unidad experimental de frijol en kilogramos de la evaluación en invernadero.

Fecha	Tratamiento	Material	Peso (lb)	Peso (onz)	Total (kg) 14% HRm
09/08/2013	C.P.	ICTA Altense		10	0.26
09/08/2013	C.P.	ICTA Altense		6	0.16
09/08/2013	C.P.	ICTA Altense	3	13	1.61
09/08/2013	C.P.	ICTA Altense	1	3	0.50
				Σ Peso	2.53
19/08/2013	S.P.	ICTA Altense		14	0.37
09/08/2013	S.P.	ICTA Altense		14	0.37
09/08/2013	S.P.	ICTA Altense	1	1	0.45
12/08/2013	S.P.	ICTA Altense		14	0.37
				Σ Peso	1.56
19/08/2013	C.P.	Cultivar Parramos		14	0.37
09/08/2013	C.P.	Cultivar Parramos		8	0.21
09/08/2013	C.P.	Cultivar Parramos		7	0.18
09/08/2013	C.P.	Cultivar Parramos		9	0.24
12/08/2013	C.P.	Cultivar Parramos	2	4	0.95
12/08/2013	C.P.	Cultivar Parramos	3	6	1.42
				Σ Peso	3.38
19/08/2013	S.P.	Cultivar Parramos		13	0.34

Fecha	Tratamiento	Material	Peso (lb)	Peso (onz)	Total (kg) 14% HRm
09/08/2013	S.P.	Cultivar Parramos		7	0.18
09/08/2013	S.P.	Cultivar Parramos		4	0.11
12/08/2013	S.P.	Cultivar Parramos	2	3	0.92
				Σ Peso	1.56

• C.P: Con poliacrilato de potasio

• S.P. Sin poliacrilato de potasio

Fuente: Autor, (2013).



Figura 23. Peso de 1gr, 2gr y 3gr de poliacrilato de potasio a hidratar.

Fuente: Autor, (2013).

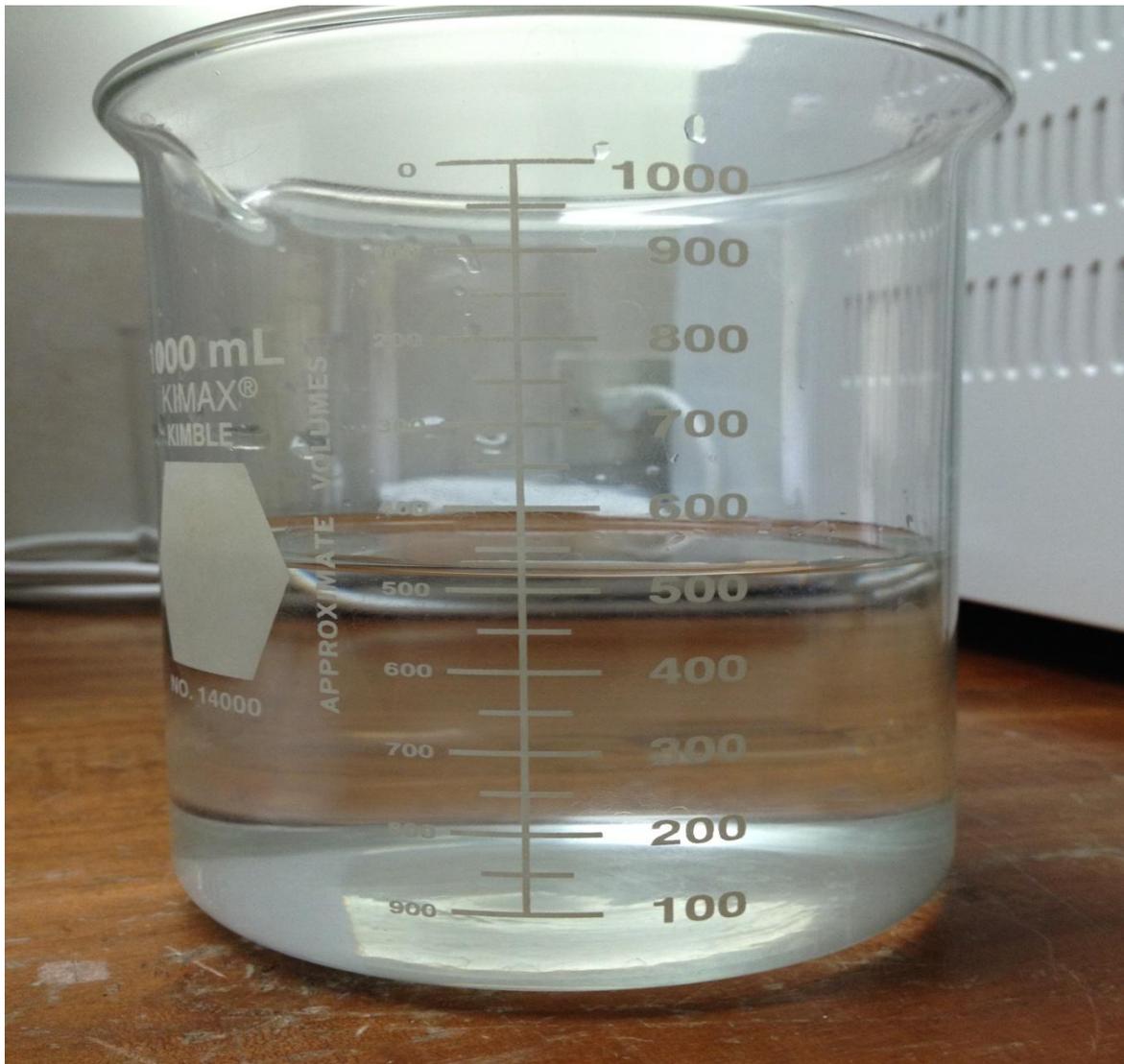


Figura 24. Medida de volumen de agua con beaker de 1000ml.

Fuente: Autor, (2013).



Figura 25. Hidratación del poliacrilato de potasio por una hora

Fuente: Autor, (2013).



Figura 26. Secado de poliacrilato de potasio hidratado en papel absorbente.

Fuente: Autor, (2013).



Figura 27. Peso del poliacrilato de potasio luego de haberse hidratado y secado

Fuente: Autor, (2013).