

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN RIEGOS

EFFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA SOBRE EL RENDIMIENTO DE GRADO DE MAÍZ
BLANCO RESILIENTE A SEQUÍA; JALPATAGUA, JUTIAPA
TESIS DE GRADO

LUIS FERNANDO RUEDA GUZMÁN
CARNET 21666-12

JUTIAPA, NOVIEMBRE DE 2018
SEDE REGIONAL DE JUTIAPA

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN RIEGOS

EFFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA SOBRE EL RENDIMIENTO DE GRADO DE MAÍZ
BLANCO RESILIENTE A SEQUÍA; JALPATAGUA, JUTIAPA
TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR
LUIS FERNANDO RUEDA GUZMÁN

PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN RIEGOS EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO

JUTIAPA, NOVIEMBRE DE 2018
SEDE REGIONAL DE JUTIAPA

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.

VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO

VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS

SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ

SECRETARIO: MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA

DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JOSÉ MANUEL BENAVENTE MEJÍA

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

LIC. WILLIAN JOSE CAMEY VELA

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

ING. RONI OSMAN CARRILLO AGUILAR

Guatemala 24 de noviembre de 2018

Consejo de Facultad
Ciencias Ambientales y Agrícolas
Presente

Estimados miembros del Consejo:

Por este medio hago constar que he asesorado el trabajo de graduación del estudiante Luis Fernando Rueda Guzmán, carné 2166612, titulada: "Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento de grano de maíz blanco resiliente a sequía, Jalpatagua, Jutiapa".

La cual considero que cumple con los requisitos establecidos por la facultad, previo a su autorización de impresión.

Atentamente,



Ing. Willian José Camey Vela
Colegiado no. 5224
Cod. URL 22725



Universidad
Rafael Landívar
Tradición Jesuita en Guatemala

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
No. 061101-2018

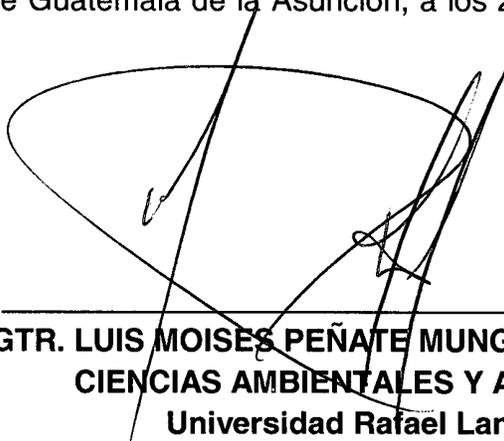
Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante LUIS FERNANDO RUEDA GUZMÁN, Carnet 21666-12 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN RIEGOS, de la Sede de Jutiapa, que consta en el Acta No. 06213-2018 de fecha 16 de noviembre de 2018, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

EFFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA SOBRE EL RENDIMIENTO DE GRADO DE MAÍZ BLANCO RESILIENTE A SEQUÍA; JALPATAGUA, JUTIAPA

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN RIEGOS en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 21 días del mes de noviembre del año 2018.



MGTR. LUIS MOISÉS PEÑATE MUNGUÍA, SECRETARIO
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar



AGRADECIMIENTOS

A:

Dios que me dio la vida, la sabiduría y la bendición de superarme.

La Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas por ser parte de mi formación.

Ing. Willian José Camey Vela, por su asesoría, revisión y corrección de la presente investigación.

Ing. Roni Osman Carrilo Aguilar, por su apoyo, asesoría, revisión y corrección de la presente investigación.

Ing. Walter Amado Valdez de León, por su apoyo y asesoría de la presente investigación.

DEDICATORIA

A:

Dios: Quién siempre me da su infinito amor, fortaleza para superar las diferentes etapas de la vida y me bendice con las personas que me rodean.

Mis padres: Edwin Rueda Medrano y Leticia Guzmán Nova, por su inmenso amor, por su tiempo, consejos oportunos y por su ejemplo a seguir, los amo y admiro profundamente.

Mi hija: Fernanda Margarita Rueda Bonilla mi mayor bendición, por ser la razón de mi esfuerzo, mi alegría y la motivación constante de superación.

Mi esposa: Margarita Bonilla de Rueda; por ser mi amiga, mi confidente, mi complemento, gracias mi amor por estar ahí en todo momento y apoyarme siempre, te amo con todo mi corazón.

Mis Hermanos: Edwin Rueda y Douglas Rueda por su compañía y cariño que me han brindado a travez de la vida.

Mis amigos: Hugo Valiente, Francisco Zepeda, Eileen Garrido, Dulce Saravia, Melissa Ramírez y José Martínez, por su apoyo y compañía.

Índice general

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	2
2.1 Importancia económica del Maíz (<i>Zea mays</i>) para Guatemala	2
2.1.1 Comercio exterior.....	3
2.1.2 Producción nacional de maíz blanco	4
2.1.3 Producción a nivel departamental y municipal	5
2.2 El cultivo de Maíz.....	6
2.2.1 Origen	6
2.2.2 Clasificación taxonómica.....	6
2.2.3 Características morfológicas	7
2.2.4 Requerimientos para su desarrollo	7
2.2.5 Labores culturales.....	11
2.3 Factores críticos para el cultivo	14
2.3.1 Estrés biológico	14
2.3.2 Sequía y precocidad.....	15
2.3.3 Efectos de la temperatura y sequía	15
2.3.4 Duración del área foliar	16
2.3.5 Altura de planta	16
2.3.6 Días a la floración.....	16
2.3.7 Período de llenado de grano.....	16
2.3.8 Área foliar	17
2.4 Mejoramiento genético.....	17
2.4.1 Variedad ICTA B-9 ^{QPM}	18
2.5 Antecedentes.....	19
2.5.1 Conmemoran día del Maíz con pérdidas de 51 mil hectáreas.....	19
2.5.2 Descripción QPM.....	19
2.5.3 Beneficio, Impacto Social de QPM.....	20
2.5.4 Pérdidas por sequía serán de Q 631 millones.....	20

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	22
3.1 Definición y justificación del trabajo.....	22
4. OBJETIVOS.....	24
4.1 Objetivo general	24
4.2 Objetivos específicos.....	24
5. HIPÓTESIS ALTERNA.....	25
6. METODOLOGÍA.....	26
6.1 Localización del trabajo	26
6.2 Material experimental.....	27
5.2.1 Variedad ICTA B-9 ^{QPM}	27
6.3 Factores a estudiar	27
6.4 Descripción de los tratamientos	27
6.5 Diseño experimental.....	28
6.5.1 Modelo Estadístico.....	28
6.6 Unidad experimental.....	28
6.6.1 Parcela bruta.....	28
6.6.2 Parcela neta.....	30
6.6.3 Croquis de campo.....	31
6.7 Variables de respuesta.....	32
6.7.1 Rendimiento de grano en kg/ha.....	32
6.7.2 Altura de planta en metros	32
6.7.3 Número de hileras por mazorca.....	32
6.7.4 Número de granos por hilera.....	33
6.8 Análisis de la información.....	33
6.8.1 Análisis estadístico	33
6.8.2 Análisis económico.....	33
6.9 Manejo experimental.....	35

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	37
7.1 Rendimiento de grano en kg/ha.....	37
7.2 Altura de planta en metros.....	38
7.3 Número de hileras por mazorca.....	39
7.4 Número de granos por hilera	41
7.5 Análisis Económico.....	42
7.5.1 Presupuestos parciales	42
7.5.2 Análisis de dominancia.....	43
7.5.3 Tasa marginal de retorno	44
7.5.4 Relación beneficio costo y rentabilidad.....	45
8. CONCLUSIONES.....	46
9. RECOMENDACIONES.....	47
10. ANEXOS	50
11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	61

Índice de tablas

Tabla 1. Características productivas del Maíz en Guatemala.....	2
Tabla 2. Comercio exterior de Maíz blanco, del año 2005 al 2013	3
Tabla 3. Producción nacional de Maíz blanco, período 2007 – 2013.....	4
Tabla 4. Estimaciones de producción de Maíz blanco por departamento en Guatemala. Año 2012/2013	5
Tabla 5. Clasificación taxonómica del Maíz.....	6
Tabla 6. Estados fenológicos del Maíz	10
Tabla 7. Cantidad de nutrimentos requeridos por tonelada de grano de Maíz.....	14
Tabla 8. Características de la variedad ICTA B-9 ^{QPM}	18
Tabla 9. El precio promedio por quintal de Maíz blanco en la región del territorio nacional hasta el 30 de julio. (en quetzales por quintal)	21
Tabla 10. Descripción de los tratamientos evaluados	27
Tabla 11. Distribución de la parcela bruta	29
Tabla 12. Distribución de la parcela neta.....	30
Tabla 13. Análisis de varianza para la variable rendimiento de grano en kg/ha	37
Tabla 14. Análisis de varianza para la variable altura de planta en (metros).....	38
Tabla 15. Análisis de varianza para la variable número de hileras por mazorca.....	40
Tabla 16. Análisis de varianza para la variable respuesta número de granos por hilera.....	41
Tabla 17. Presupuestos parciales para tratamientos.....	43
Tabla 18. Análisis de dominancia para tratamientos	44
Tabla 19. Tasa marginal de retorno	44
Tabla 20. Relación beneficio costo y rentabilidad para tratamientos	45

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación del municipio de Jalpatagua, departamento Jutiapa.	26
Figura 2. Croquis de campo del experimento.....	31
Figura 3. Rendimiento de grano en kg/ha.	38
Figura 4. Altura de planta en metros.....	39
Figura 5. Número de hileras por mazorca.....	40
Figura 6. Número de granos por hilera.	42

EFFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA SOBRE EL RENDIMIENTO DE GRADO DE MAÍZ BLANCO RESILIENTE A SEQUÍA, JALPATAGUA, JUTIAPA.

Resumen

La investigación evaluó el efecto de 6 densidades de siembra de maíz de grano blanco (*Zea mays*) sobre el rendimiento en kg/ha, utilizando la variedad ICTA B9^{QPM} con alto contenido de proteínas, resiliente a la sequía. Se realizó en el municipio de Jalpatagua Jutiapa. Se evaluaron las densidades de 45,454 plantas/ha, 41,666 plantas/ha, 38,461 plantas/ha, 55,555 plantas/ha, 62,500 plantas/ha y como testigo la densidad de 50,000 plantas/ha. Se utilizó el diseño de bloques completamente al azar con seis tratamientos y cinco repeticiones cada uno. Las variables evaluadas fueron: rendimiento en kg/ha, altura de planta en metros, número de hileras por mazorca, número de granos por hilera. El análisis económico se realizó a través de presupuestos parciales, análisis de dominancia, tasa marginal de retorno y la relación beneficio/costo para cada uno de los tratamientos. Derivado de los resultados, se concluyó que entre las densidades evaluadas estadísticamente, ninguna presentó efecto significativo sobre el rendimiento en kg/ha, pero cuantitativamente, la de mayor rendimiento fue la de 62,500 plantas/ha con 6,101.74 kg/ha, las variables de número de granos por hilera y número de hileras por mazorca no presentaron diferencia significativa entre tratamientos, por lo tanto, no provocan efecto sobre el rendimiento. En el análisis económico la relación beneficio/costo identificó que el tratamiento 1 (45,454 plantas/ha) obtuvo el mayor valor siendo Q0.90. Por lo tanto, para efecto de investigación, a través de la tasa marginal de retorno se determinó validar el tratamiento que obtuvo una TMR de (304.19%), siendo T5 con una densidad de 62,500 plantas/ha.

1. INTRODUCCIÓN

Fuentes, M., Van Etten, J., Ortega, A., y Vivero, J. (2005) mencionaron que el cultivo de maíz en Guatemala es de gran importancia económica, esto se debe a que cumple con dos puntos de consideración prioritaria: Parte fundamental de la alimentación del guatemalteco y es el cultivo con mayor superficie sembrada en el país. La producción de maíz ha ido en aumento a lo largo de los años, para el 2009 se obtuvo un área cosechada de 821,061 (ha) hectáreas, equivalente a 1,625,826 (TM) toneladas métricas. Para el año 2013 el área cosechada fue de 861,832 (ha), equivalente a 1,795,178 (TM). MAGA Y DIPLAN (2013) se registró un aumento considerado en la producción del cultivo. Del total registrado en el año 2013, el maíz blanco es quien tiene mayor porcentaje de participación. En el informe de situación del Maíz Blanco, se obtuvo un registro sobre la producción total de Maíz Blanco de 1,514,035.34 (TM) toneladas métricas, es decir del total registrado, el 84.34% corresponde al Maíz Blanco, mientras que el restante 15.66% corresponde a Maíz Amarillo.

Para el año 2013, el departamento de Jutiapa tuvo una cosecha total de 122,763.99 (TM), colocándolo en el tercer puesto entre los departamentos con mayor producción de Maíz Blanco. A lo largo de los años se han registrado pérdidas en la producción del maíz, por causas de sequías, exceso de calor, entre otras. En el artículo elaborado por Pocasangre (2015), se registró pérdidas en siete departamentos que afectaron un área de siembra de 51 mil hectáreas perjudicando a 70 mil familias; las pérdidas son causadas por la variabilidad del clima y los períodos de sequía. Además, Palacios (2015), asegura que las pérdidas por sequía en promedio oscilan entre los Q631 millones.

El cultivo del maíz es considerado uno de los principales focos para estudios en potenciar capacidades en el mejoramiento del rendimiento y producción. Con la presente investigación se pretende desarrollar procesos que fomenten y refuercen las actividades, mejoren el rendimiento y productividad en el cultivo de maíz blanco en la región de Jalpatagua, departamento de Jutiapa, el cual es afectado por la sequía prolongada y la falta de recurso hídrico, así como contribuir a la seguridad alimentaria y calidad de vida de las personas, por medio de la disponibilidad y calidad de alimentos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Importancia económica del Maíz (*Zea mays*) para Guatemala

Según BANGUAT (2004), el sector agropecuario es uno de los principales impulsores de la economía guatemalteca, en la participación laboral tiene un 50% para el ámbito agrícola, generando un 75% de las divisas. Aproximadamente el 80% de la población tiene una participación directa o indirecta con actividades agrícolas. En el Producto Interno Bruto (PIB) tiene una participación aproximadamente del 25%.

MAGA y DIPLAN (2013) establecieron que el cultivo de Maíz generó 57,554,000 jornales de empleo directo en el campo, así como 205,550 plazas permanentes. En los aspectos productivos del cultivo de Maíz, para el año 2013 registró un área cosechada de 861,832 (ha) hectáreas con una producción equivalente a 1,795,178 (TM) toneladas métricas (Tabla 1).

Tabla 1.

Características productivas del maíz en Guatemala

Año Agrícola	Área Cosechada (hectáreas)	Producción (toneladas métricas)
2009	821,061	1,625,826
2010	821,270	1,638,265
2011	838,493	1,675,251
2012	846,878	1,723,482
2013	861,832	1,795,178

(MAGA y DIPLAN, 2013)

MAGA y DIPLAN (2013), indican que la producción del cultivo se encuentra distribuida de la siguiente manera: Petén con un 18%, Alta Verapaz 10%, Quiché 8%, Jutiapa 7%, Huehuetenango 6%, San Marcos 5%, Retalhuleu 5% y los otros 15 departamento suman el 41% restante.

2.1.1 Comercio exterior.

MAGA y DIPLAN (2013), indican que la partida arancelaria para el maíz blanco es 1005.90.30 del SAC, para el maíz amarillo su partida arancelaria corresponde a 1005.90.20 del SAC. Los derechos arancelarios de importación del maíz blanco son de un 0% dentro, y 20% fuera de contingente, sobre el valor CIF del amarillo es de un 0% dentro, y 15% fuera de contingente.

A pesar de que en su mayoría el cultivo es para consumo local, para el año 2013 Guatemala importó 685,733.90 (TM) toneladas métricas con un valor de 198,216,503.00 US\$, los márgenes de exportación para el mismo año fueron de 8,219.92 (TM) toneladas métricas con valor un de 2,923,286.00 US\$ (tabla 2).

Tabla 2.

Comercio exterior de maíz blanco, del año 2005 al 2013

Año	Importación		Exportación	
	TM	US\$	TM	US\$
2005	78,206.93	11,642,516.00	457.09	129,831.00
2006	80,426.15	12,117,790.00	8.78	8,375.00
2007	58,143.62	14,280,914.00	4,094.29	1,120,682.00
2008	19,558.90	6,337,491.00	11,977.73	3,074,409.00
2009	39,092.91	10,661,570.00	2,153.46	490,675.00
2010	24,745.31	9,913,228.00	2,127.54	615,932.00
2011	41,547.83	15,508,903.00	14,164.00	3,649,547.00
2012	36,393.62	13,387,669.00	2,568.63	841,108.00
2013	18,422.06	5,866,619.00	8,214.93	2,915,975.00

(MAGA y DIPLAN, 2013)

2.1.2 Producción nacional de maíz blanco

Según el Informe del MAGA (2013), sobre la situación del maíz blanco, en los últimos años ha tenido un incremento la producción a nivel nacional, del año 2012 al 2013 obtuvo un incremento del 2.6% en comparación al año 2011 y 2012. La producción ha ido en aumento durante los últimos años (Tabla 3).

Tabla 3.

Producción Nacional de Maíz Blanco, período 2007 – 2013

Año	Área cosechada (Hectáreas)	Producción (Toneladas métricas)
2007/2008	618,511.17	1,434,486.50
2008/2009	768,963.24	1,544,835.11
2009/2010	737,789.65	1,460,178.27
2010/2011	737,978.02	1,468,215.52
2011/2012 p	753,475.56	1,476,061.01
2012/2013 e	761,010.31	1,514,038.52

p/ Cifras preliminares e/ Cifras estimadas (MAGA, 2013)

MAGA (2013), indica que a pesar del crecimiento continuo en la producción, es necesario importar maíz blanco para lograr cubrir la demanda total y estacional. Las cosechas se ven disminuidas a mediados de Marzo a Agosto, por lo que ocasiona una escasez de Mayo a Julio, en estos meses los mercados utilizan el maíz importado y almacenado, los hogares son más vulnerables a la inseguridad alimentaria por el limitado recurso para la compra de maíz.

2.1.3 Producción a nivel departamental y municipal

Con base a la estructuración geográfica y de los resultados del último Censo Agropecuario, se estimaron los datos en la producción a nivel departamental y municipal, según (MAGA, 2013) (tabla 4).

Tabla 4.

Estimaciones de producción de Maíz Blanco por departamento en Guatemala. Año 2012/2013

Departamento		Producción de Maíz Blanco (Toneladas Métricas)		
		Total	1ª Cosecha	2ª Cosecha
1	Petén	311,162	180,899	130,263
2	Alta Verapaz	158,611	92,211	66,400
3	Jutiapa	122,764	71,371	51,393
4	Quiché	87,461	50,847	36,614
5	Retalhuleu	83,863	48,755	35,108
6	El resto de los 17 departamentos	750,174	436,126	314,048
Total República		1,514,035	880,209	633,826

Estimaciones de DIPLAN con base en cifras del IV Censo Nacional Agropecuario y de estimaciones del Banco de Guatemala.

MAGA (2013), indica que aproximadamente, el 40% de la producción nacional se encuentra concentrada en tres departamentos que son: Petén con un 21%, Alta Verapaz con un 11% y Jutiapa con un 8%.

2.2 El cultivo de Maíz

2.2.1 Origen

La planta de maíz tiene sus orígenes en América (Marroquín, 1995). Se ha encontrado una diversidad de especies silvestres y nativas como también domésticas. El nombre proviene de las Antillas, los nativos lo nombraban así al referirse a este tipo de gramínea que era cultivada como alimento y forraje para el ganado. El maíz, el trigo y el arroz son uno de los cereales más cultivados en el mundo. Además, el origen no se tiene muy concretado, pero se considera que pertenece a una zona de Mesoamérica, donde se han encontrado hallazgos en dichas regiones.

2.2.2 Clasificación taxonómica

Para una mejor identificación de la planta a estudiar, se presenta la siguiente clasificación taxonómica (tabla 5).

Tabla 5.

Clasificación taxonómica del maíz

Reino	<i>Plantae</i>
Subreino	Tracheobionta
Subdivisión	Spermatophyta
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Subclase	Commelinidae
Orden	Cyperales
Familia	Poaceae/Gramineae
Género	<i>Zea</i>
Especie	<i>Zea mays</i>

(Southern Weed Science Society, 1998)

2.2.3 Características morfológicas

- a. Hojas** de gran tamaño, alargadas, alternas, lanceoladas y paralelinervias. Presentan una formación vellosa en el haz, y la hoja rodea al tallo, las puntas son afiladas y cortantes. (Maroto, 1998)
- b. Tallo** similar a la forma de caña, simple y macizo en el interior, puede alcanzar una longitud promedio de 4 metros de altura, robusto y sin ramificaciones. (Maroto, 1998)
- c. Raíces** fasciculada, que le permite un perfecto anclaje, en ciertos casos sobresalen nudos al nivel del suelo y por lo general suelen ocurrir en las raíces secundarias o adventicias. (Maroto, 1998)
- d. Inflorescencia**, planta monóica, con presencia de inflorescencia masculina y femenina separada dentro de la misma planta. La inflorescencia masculina es panícula, de coloración amarillenta que posee aproximadamente de 20 a 25 millones de granos de polen, cada flor panícula posee tres estambres donde se forma el polen. La inflorescencia femenina al ser fecundada por el polen es denominada Mazorca, en ella se encuentran las semillas que son los granos de maíz, se encuentran agrupadas a lo largo de un eje, está cubierta por hojas de una coloración verde, termina en una formación vellosa de color amarillo oscuro formado por estilos. (Maroto, 1998)
- e. Grano** tiene una cubierta de la semilla que se denomina Pericarpio, es sólida, y por debajo se encuentra la capa aleurona, la cual le da el color al grano. Los colores pueden ser blanco, amarillo y morado. En el interior se encuentra el endosperma, el cual es el 85% a 90% del peso del grano, el embrión está formado por la radícula y la plúmula. (Maroto, 1998)

2.2.4 Requerimientos para su desarrollo

Según ICTA (2013), El maíz se cultiva en altitudes que van desde los 0 hasta los 4,000 msnm (metros sobre el nivel del mar). Existe un gran número de genotipos los cuales están adaptados a condiciones tropicales, subtropicales y templadas. Se cultiva desde países con climas fríos, hasta climas más cálidos. En Guatemala el cultivo se siembra en altitudes que van desde 0 hasta 3,100

msnm. En cada altitud las condiciones son diferentes en relación a temperatura, humedad, precipitación, entre otros

a. Requerimiento de agua: es un cultivo con alta exigencia de agua, dependiendo de las fases fenológicas así será su demanda. En la fase de germinación, requiere menor cantidad de agua, manteniendo una humedad constante. En fase de crecimiento vegetativo requiere mayor demanda de agua. En fase de germinación es indispensable el agua, ya que de ella depende el desarrollo, la polinización y crecimiento de granos (ICTA, 2013).

La disponibilidad de agua para el cultivo es fundamental, de ello depende la profundidad y anclaje de las raíces, esto influirá en la cantidad de agua disponible que absorberá en dicha profundidad y de la efectividad con la que las raíces puedan extraer la humedad del suelo. El cultivo del maíz tiene dos fases críticas en las que demanda una mayor cantidad de agua, estas suceden durante la fase de pre y post floración. La limitación de agua en esta fase tiene consecuencias graves para el cultivo, afectando negativamente el rendimiento a causa del estrés que ocasiona en la fisiología de la planta, por otra parte la falta de agua en las etapas iniciales posterior a la siembra afectan significativamente a la población de plantas, causando la muerte de plántulas y a raíz de esto disminución de rendimiento (ICTA, 2013).

Los requerimientos dependerán de las diferentes etapas fenológicas por la que se encuentre el cultivo, en la fase vegetativa requiere 300 mm, en la fase de floración 200 mm y en la fase reproductiva 200 mm para un total de 700 mm. La reducción del agua en los períodos durante la prefloración, floración y post floración, provoca pérdidas de un 25% a 50% en el cultivo. En Guatemala el maíz se siembra en regiones con precipitación pluvial desde 400 mm hasta los 3,000 mm (ICTA, 2013).

Requiere un mínimo de 500 a 700 mm bien distribuidos durante el ciclo del cultivo, sin embargo, a pesar de que esa cantidad no es suficiente, los siguientes factores atribuyen indirectamente en la disponibilidad de agua para la planta: la poca profundidad del suelo, el escurrimiento, la evaporación sea muy grande por las altas temperaturas, o la escasa humedad relativa (ICTA, 2013).

- b. *Requerimiento de luz (Fotoperíodo):*** el cultivo del maíz es considerado una planta cuantitativa de días cortos. El fotoperíodo influye en el tiempo necesario para la floración, si este excede un valor mínimo, esto retrasa la floración. En promedio es necesario un fotoperíodo mínimo de 13.5 horas; se considera un valor crítico entre 11 y 12 horas (ICTA, 2013).
- c. *Requerimiento de temperatura:*** para su óptima producción requiere temperaturas medias en los meses calurosos, este valor se encuentra entre 21 a 27°C, con período libre de heladas ciclo agrícola variable de 120 a 180 días. La temperatura óptima para su germinación es de 15 °C. En fase de desarrollo su temperatura óptima es de 24 y 30°C; temperaturas superiores disminuyen la capacidad de absorción de agua en las raíces. En temperaturas superiores a los 30°C los procesos de fotosíntesis se ven afectados y estos disminuyen, y a una temperatura de 45°C se desactiva dicho proceso (ICTA, 2013).
- d. *Requerimientos edáficos:*** el cultivo del maíz se puede desarrollar en diferentes condiciones edáficas del suelo, se dificulta su desarrollo en suelos excesivamente arcillosos (pesados) debido a tienen una facilidad a inundarse, y muy arenosos (suelos sueltos) debido a tienen tendencia a secarse fácilmente. Los mejores son los que presentan suelos francos (textura media), fértiles, bien drenados, profundos y con una alta retención de agua (Fuentes, 2002).

Tiene un rango amplio de condiciones favorables para su siembra, se puede cultivar en suelo con un pH de 5.5 a 8, el rango óptimo oscila a una ligera acides en un pH de 6 y 7. Se recomiendan estos tipos de suelo debido a que rangos menores o mayores a los indicados aumentarían o disminuirían los límites de la disponibilidad de ciertos elementos y se esto llega a causar toxicidad o carencia de algún elemento. Con un pH inferior a 5.5, existe problemas de toxicidad por elementos como Al y Mn, con carencias de P y Mg. Con pH superior a 8, existe ausencia de disponibilidad de Fe, Mn y Zn. El maíz es tolerante a los contenidos de sales en el suelo (Fuentes, 2002).

- e. Ciclo vegetativo:* dependiendo de la zona así será la variedad de maíz con características similares. Generalmente los productores siembran desde septiembre hasta la mitad de enero, buscando que la siembra coincida con el inicio de la época lluviosa, para obtener un mayor grado de producción y germinación. El ciclo del cultivo puede llegar hasta los 270 días, pero esto dependerá de la variedad y del propósito.
- f. Etapas fenológicas:* la planta de maíz posee dos estados fenológicos: en el primero se encuentran los estados vegetativos y en el segundo los estados reproductivos (tabla 6)

Tabla 6.

Estados fenológicos del maíz

Estados Vegetativos	Estados Reproductivos
VE emergencia	R1 sedas
V1 primera hoja	R2 ampolla
V2 segunda hoja	R3 Grano lechoso
V3 tercera hoja	R4 Grano pastoso
V(n) enésima hoja	R5 Dentado
VT Panoja	R6 Madurez

(Fassio et al., 1998)

Durante los estados fenológicos del maíz sucede una serie de eventos especiales para algunos estados, y estos son los siguientes:

f.1. V3. El punto de crecimiento de la planta se encuentra bajo tierra, las bajas temperaturas pueden aumentar el tiempo entre la aparición de las hojas y el daño por heladas en este estado tiene muy poco efecto en el crecimiento y en el rendimiento final (Fassio et al., 1998).

f.2. V6. En este estado es recomendable el completar la fertilización, el sistema de raíces nodales se encuentra bien distribuido en el suelo. Se pueden observar síntomas de deficiencias de macro o micro nutrientes (Fassio et al., 1998).

f.3. V9. Se encuentran varias mazorcas rudimentarias que se encuentran formadas, la panoja se desarrolla rápidamente en el interior de la planta. Inicia una rápida acumulación de biomasa,

absorción de nutrientes y agua que continuará hasta el término del estado reproductivo (Fassio et al., 1998).

f.4. V12. Se determina el tamaño potencial de la mazorca y el número de óvulos por mazorca. Es indispensable el riego y la nutrición en la planta, dado que se está formando el tamaño de la mazorca y el número de óvulos (Fassio et al., 1998).

f.5. V15. Estado en el que se determina el rendimiento, las hojas aparecen cada uno o dos días y las sedas están comenzando a crecer en las mazorcas superiores (Fassio et al., 1998).

f.6. R1. En este estado se determina el número de óvulos fertilizados. Los óvulos no fertilizados no producen grano y mueren. El estrés ambiental afecta grandemente a la polinización y cuaje, principalmente el estrés hídrico que deseca las sedas y los granos de polen. Del inicio de este estado hasta R5 se produce un rápido llenado de granos por lo que se presenta también ataques de gusano, por lo que son indispensables los controles (Fassio et al., 1998).

f.7. R5. Los granos comienzan a secarse desde la parte superior donde se forma una capa blanda de almidón. El estrés y las heladas causan reducción en el peso de los granos. Al llegar el estado R6 donde el grano alcanza su peso máximo y es cosechado (Fassio et al., 1998).

2.2.5 Labores culturales

Para el cultivo del maíz se recomiendan las siguientes características:

- a. Selección del terreno:** ubicación accesible lo más cercano a caminos y vías de transporte, con suelo de textura franca y un pH de 5.5 a 8, precipitación en un rango de 900 a 1,400 mm por el ciclo, topografía que sea plana con una pendiente no menor a 5 grados con luminosidad expuesta a luz solar (ICTA, 2013).
- b. Análisis de suelo:** se recomienda realizarlo entre 15 a 30 días antes de la siembra. El muestreo se debe hacer a una profundidad de 20 cms, se debe de tomar en cuenta las condiciones homogéneas del terreno debido a que si existen diferencias de textura por manejo con otro cultivo u otro tipo de diferencias, es indispensable realizar un muestreo por separado para esa área que es diferente.

Cada área muestreada debe estar conformada en promedio de 5 a 10 sub muestras de suelo y una vez obtenidas esta sub muestras conformaran la muestra compuesta (ICTA, 2013).

c. Preparación del suelo: se utiliza la labranza convencional, esta dependerá del suelo y de la labranza del agricultor, se encuentran las siguientes:

a.1. Labranza convencional. Es la práctica tradicional en la que se utiliza implementos operados por un tractor o con tracción animal para realizar las diferentes tareas agrícolas. Suele estar conformado por un paso de arado y dos de rastra. Se puede usar el paso de rastra pesada como el Row Plow y dos pasos cruzados de rastra liviana. Luego se realiza el surqueo con maquinaria o con tracción animal y se realiza la siembra (ICTA, 2013).

a.2. Labranza de conservación. Se utiliza para la conservación del suelo por medio del manejo de residuos del cultivo anterior, o rastrojos como en el mantillo superficial que protege al suelo. Se utilizan dos técnicas: La primera se denomina Labranza mínima, incluye una o más operaciones mecánicas sin incorporación total del rastrojo o residuo superficial, remueve y afloja el suelo solo donde se va a sembrar, previo a la siembra se remueve y destruye la maleza utilizando un herbicida quemante; La segunda es la Labranza Cero, en ella no se incorpora el rastrojo y se siembra con máquina sembradora o punta de chuzo, es chapeado el terreno de manera manual o mecánica. Al momento de la siembra se aplica un herbicida quemante (ICTA, 2013).

d. Épocas de siembra: para la planicie costera del pacífico de Guatemala, se siembra en dos épocas: La primera durante mayo a junio y la de segunda a finales de septiembre. En las zonas con áreas húmedas se siembra en dos épocas: una en los meses de marzo y abril, la otra en época de temporada o lluvia. En las planicies del norte, franja transversal del norte, costa del caribe o atlántico y la boca costa hay siembras la mayor parte del año, se exceptúa marzo y abril y algunas veces en mayo que son períodos sin lluvia.

e. ***Distanciamiento de siembra:*** el disponer de nuevos genotipos de maíz posibilita el disponer que estos materiales puedan tolerar mayores densidades de siembra que es una cualidad de los genotipos modernos que pueden contribuir al aumento del rendimiento. Bolaños y Barreto (1991), indican que una de las razones fundamentales de los bajos rendimientos de maíz en condiciones tropicales está relacionada a bajas densidades. La densidad ideal en la cosecha para un genotipo, es aquella que produce el mayor rendimiento de grano cuando el cultivo se desarrolla en condiciones favorables sin limitaciones de suelo y clima, situación poco frecuente en los campo de los productores.

De acuerdo a diferentes evaluaciones se han encontrado densidades óptimas que favorecen a que los genotipos puedan mostrar su potencial de rendimiento y puedan adaptarse a las condiciones de manejo de los agricultores.

Para siembras manuales, las distancias recomendadas son de 75 a 80 cm. entre surcos y 40-50 cm por postura, colocado dos y tres granos por postura en forma alterna. Bajo este sistema, se necesitan 25 ó 30 libras de semilla por manzana. Si la siembra es mecanizada, se utilizan las mismas distancias de siembra entre surco (75-80 cm) y se gradúa la sembradora a manera de colocar cinco semillas por metro lineal.

f. Requerimientos nutricionales

El requerimiento nutricional del maíz se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7.

Cantidad de nutrimentos requeridos por tonelada de grano de maíz

Nutriente	Kg ton ⁻¹
Nitrógeno	22.0
Fósforo	4.0
Potasio	19.0
Calcio	3.0
Magnesio	3.0
Azufre	4.0
Boro	0.020
Cloro	0.444
Cobre	0.013
Hierro	0.125
Manganeso	0.189
Molibdeno	0.001
Zinc	0.053

(ICTA, 2013)

g. Fertilización

El ICTA (2013), recomienda 100 kg de N/ha, 40 kg de P₂O₅/ha y 0 kg de K₂O/ha (4.5 qq de 20-20-0 por manzana) distribuida en dos aplicaciones. La primera aplicación a la siembra o en los primeros 10 días después de siembra y 67 kg de Urea al 46% (1.5 qq/mz) a los 35 a 40 días después de la siembra.

2.3 Factores críticos para el cultivo

2.3.1 Estrés biológico

El estrés biológico es causado por las alteraciones en las condiciones ambientales, las cuales pueden reducir o influir de manera adversa en el crecimiento o desarrollo de la planta en sus funciones normales; la deformación biológica es la función reducida o cambiada. Cuando las

condiciones del ambiente son favorables la planta responde en su manera más óptima, e influye de máxima manera en algún factor y este factor no le estresa. Dardón (1997)

Los cambios ambientales de algún tipo, puede ocasionar una respuesta por parte de la planta que sea menor a la óptima a esto se le denomina Estrés. Al reducirse los niveles de luz en la planta, como respuesta inmediata la fotosíntesis se reduce, los niveles bajos de luz estresan, esto daría un resultado de deformación en la planta estimulando la elongación del tallo (Dardón, 1997).

2.3.2 Sequía y precocidad

Es indispensable la humedad durante la floración para obtener un máximo rendimiento, la deficiencia de humedad en ese período ocasiona una reducción irreversible en el rendimiento. Los tallos de maíz pierden materia seca a medida que el grano madura cuando el ambiente es desfavorable con sequía extrema durante el período de secado de grano. Existen patrones de concentración y acumulación de nutrientes y materia seca con o sin presión de sequía. Estas presiones redujeron la concentración de nitrógeno y fósforo en las hojas, aumentándose en el tallo y panículas (Dardón, 1997).

En las plántulas sin presión de sequía la acumulación de materia seca procedió a paso continuo a partir de los 40 días post siembra hasta alcanzar la madures filológica. Períodos de 10 o 12 días no afectarán el rendimiento de grano, pero períodos de 24 días en el principio de floración redujeron el rendimiento en un 27% (Dardón, 1997).

2.3.3 Efectos de la temperatura y sequía

Temperaturas extremadamente altas y humedad deficiente, pueden ser muy dañinas para el maíz. Las plantas son susceptibles a las altas temperaturas y la humedad baja puede matar las hojas y la espica, evitando la polinización. El daño por efecto del calor y sequía se puede presentar de diversas maneras, temperaturas superiores a 30 °C tienden a provocar inflorescencias masculinas más temprana que la femenina. Bajo condiciones de temperatura menores de 20 °C inflorescencia femenina aparece más temprano que la masculina (Dardón, 1997).

Temperaturas elevadas pueden secar la espiga o pueden matar los granos de polen después de ser esparcidos, además interfiere con la polinización al ocasionar marchitamiento rápido de los estigmas acelerando, por lo tanto, la pérdida de su receptividad al polen, esto se refleja en un llenado muy deficiente de las mazorcas (Dardón, 1997).

2.3.4 Duración del área foliar

La Duración del Área Foliar (DAF) se define como la integral del IAF en un cierto período de tiempo. Rendimiento en grano tiende a estar correlacionado positivamente con la DAF durante el período de llenado del grano. Tanto el desarrollo como la permanencia del área foliar depende principalmente del agua disponible en el suelo (Fassio et al., 1998).

2.3.5 Altura de planta

La importancia de medir la altura de la planta se debe a un parámetro que determina el grado de desarrollo del área foliar y el tamaño final de la planta. En ciertos casos el mayor tamaño de una planta es más importante que la duración del período de llenado de grano en la determinación del rendimiento. El rendimiento potencial del grano en anthesis está en función del crecimiento previo de la planta por lo que las plantas se desarrollan con menor competencia tiene rendimientos potenciales más altos (Fassio et al., 1998).

2.3.6 Días a la floración

La floración temprana aumenta al rendimiento a través de un aumento en el número de días disponibles para el llenado del grano. Contrario a esto, una anticipación en la floración ocasiona una reducción en el rendimiento a causa de la menor duración de los estadios vegetativos previo a la floración (Fassio et al., 1998).

2.3.7 Período de llenado de grano

Si las condiciones climáticas son favorables, la duración del período de llenado de grano es de aproximadamente 55 días, con diferencias variantes que van desde los 53 a 61 días. Una parte de

la variación en rendimiento de los genotipos de maíz es atribuible directamente con las diferencias en el período de llenado de grano efectivo. Al incrementar el rendimiento aumenta indirectamente el período de llenado de grano, en el caso contrario un decremento en el rendimiento baja el período de llenado de grano (Fassio et al., 1998).

2.3.8 Área foliar

Determina la disponibilidad de carbohidratos para completar las distintas funciones de desarrollo en la planta, La Tasa de Asimilación Neta es directamente proporcional al índice de área Foliar hasta valores de 2.7, declinando rápidamente a valores superiores. La posición de las hojas va a determinar su contribución a la Tasa de Asimilación Neta. Alrededor del 50% de los carbohidratos acumulados en el grano de maíz son producidos por las hojas del tercio superior de la planta, el 30% por las del tercio medio y el restante 20% por las hojas ubicadas en la parte basal. El rendimiento del grano/ha es correlacionado con la producción por unidad de área foliar y por unidad de energía interceptada (Fassio et al., 1998).

2.4 Mejoramiento genético

El principal objetivo del mejoramiento genético es el de introducir diversidad genética, como principal actividad el escoger dentro de una población a los individuos que puedan ofrecer mejores características, logrando así una evolución acelerada de dicha población seleccionada. Es necesario que existan variaciones no solo fenotípicas, sino también a nivel genético. El mejoramiento en plantas tiene como finalidad primordial, crear variedades de alta producción por unidad de superficie en un determinado medio y con ciertos procedimientos culturales, procurando obtener a través del mejoramiento las siguientes características:

- Resistencia a plagas y enfermedades.
- Mejoramiento y fácil adaptación.
- Promover el aumento nutritivo de proteínas, almidones, aceites, etc. (ICTA, 2015).

2.4.1 Variedad ICTA B-9^{QPM}

Es una variedad de polinización libre, de grano blanco y con una altura de planta aproximada de 2.00 y 2.20 m (metros), con un tipo de grano semicristalino. Posee un ciclo de 95 días. Tiene un rendimiento promedio de 3.90 tm/ha. Esto dependerá de las condiciones ambientales y del manejo agronómico. Afectado la mazorca en el número de granos e hileras debido a malformaciones. Aporta el 90% de la calidad de las proteínas que contiene la leche bovina, tomando en cuenta que el maíz común contiene solo el 40%. Es ideal para zonas con sequías y recomendada para altitudes de 0 a 1,200 msnm (tabla 8) (ICTA, 2015).

Tabla 8.

Características de la variedad ICTA B-9^{QPM}

Características de la variedad.	
Zona de cultivo	Zonas de humedad limitada
Genotipo	ICTA B-9 ^{QPM}
Altura de planta (m)	2.00 a 2.20
Altura de mazorca (m)	1.00
Ciclo (días)	95
Rendimiento tm/ha	3.90
Tipo y color de grano	Semicristalino blanco
QPM	Alta calidad de proteínas
Número de hileras	16

(ICTA, 2015)

2.5 Antecedentes

2.5.1 Conmemoran día del Maíz con pérdidas de 51 mil hectáreas

“El maíz tiene un significado cultural, histórico y religioso en el país, por lo que su conservación y uso sostenible es mandatorio. El maíz es la base de la alimentación de la población guatemalteca, y parte de la diversidad biológica” (Pocasangre, 2015).

“En Guatemala se conmemora el Día Nacional del Maíz cada 13 de agosto, según el Decreto 13-2014 del Congreso de la República, el cual declara al maíz como Patrimonio Cultural Intangible de la Nación, ya que es uno de los símbolos más valiosos arraigados de la naturaleza y cultura guatemalteca” (Pocasangre, 2015).

“Sin embargo debido a las variaciones climáticas, este año al menos siete departamentos están afectados por la sequía temporal. Las estimaciones indican que son unas 70 mil familias con pérdidas de 51 mil hectáreas de siembras” (Pocasangre, 2015).

“Los daños son irreversibles en Jutiapa, Jalapa, Chiquimula, Santa Rosa, Alta Verapaz, Retalhuleu y Suchitepéquez, según datos del ministerio de Agricultura, quien contempla invertir Q45 millones en alimentos para atender a 110 mil familias durante dos meses” (Pocasangre, 2015).

“Debido al desarrollo de la agricultura tradicional, solo en Huehuetenango se reportan por lo menos 48 clases de maíz adaptados a diferentes condiciones de suelo, temperatura y humedad. De conservarse apropiadamente ese germoplasma, se tendrá materia prima para enfrentar el cambio climático” (Pocasangre, 2015).

2.5.2 Descripción QPM.

En 1970, CIMMYT, Villegas y Vasal definieron QPM como variedad de maíz con calidad protéica, es decir con alto contenido de dos aminoácidos importantes para la nutrición.

El maíz, que es un ingrediente básico en la dieta de los habitantes de muchos países en desarrollo, contiene bajas cantidades de lisina y triptófano, dos aminoácidos componentes de las proteínas sintetizadas por los seres vivos. Esto significa que las personas que basan su dieta en el maíz, sin acceso a otros alimentos, tienen propensión a padecer desnutrición.

Se creó el maíz con alta calidad protéica o QPM, por sus siglas en inglés, ya que el grano contiene alto niveles de lisina y triptofano, además de la textura y el sabor que a los consumidores les gusta.

2.5.3 Beneficio, Impacto Social de QPM

Este producto es un instrumento en la lucha contra la hambruna en el mundo. El QPM ha mostrado ser un elemento particularmente eficaz que mejora la nutrición de los niños.

Impacto en la sociedad: En México, se cuenta con 3 mil hectáreas para producir semillas de la mencionada especie. A la vez se siembra en 11 países más, entre ellos: China, Brasil, Guatemala, El Salvador y Ghana.

Villegas y Vasal (2002), en un estudio realizado en Etiopía reveló que el peso de los niños que habían comido QPM había aumentado 15% en comparación con aquellos que habían comido maíz normal. Los autores crearon un producto que ofrece una mejor nutrición a millones de consumidores.

2.5.4 Pérdidas por sequía serán de Q 631 millones

“El representante de la FAO, Diego Recalde León, asegura que las pérdidas son similares a las del año pasado. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en Guatemala indicó que la que la cifra de afectados alcanzaría los 275 mil, una cifra similar a las del 2014” (Fuentes et al., 2005) (tabla 9).

“En julio el precio del maíz aumentó a un 8.9 por ciento, al pasar de Q134 en junio a Q146 y se debe a que en esta fecha la mayoría de familias compran el grano y solo parte de familias en la Región Sur han iniciado con la cosecha”.

Costo del maíz:

Tabla 9.

El precio promedio por cada 45.45 kg de maíz blanco en la región del territorio nacional hasta el 30 de julio. (En quetzales por kilogramos)

Región	Maíz blanco
Norte	Q150.00
Costa Sur	Q120.00
Oriente	Q160.00
Occidente	Q150.00
Central	Q150.00
Nacional	Q146.00

(Fuentes et al., 2005)

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 Definición y justificación del trabajo

La seguridad alimentaria ha tenido una decaída en los últimos años, el maíz forma parte fundamental de la dieta guatemalteca, además de ser el cultivo que mayor superficie sembrada ocupa en todo el país. Estos dos aspectos posicionan al cultivo como punto prioritario para estudios y mejoramientos del mismo (Fuentes et al., 2005).

Según MAGA y DIPLAN (2013), para el año 2009 se obtuvo un área cosechada de 821,061 (ha) hectáreas, con una producción de 1,625,826.64 (TM) toneladas métricas. Para el año 2013 el área cosechada fue de 861,832.82 (ha) hectáreas, con una producción total de 1,795,178.26 (TM) toneladas métricas. En el informe de situación del Maíz Blanco, elaborado por MAGA (2013). Se obtuvo un registro sobre la producción total de Maíz Blanco para el año 2013 de 1,514,035.34 (TM) toneladas métricas, es decir del total registrado por el Agro en Cifras 2013, el 84.34% corresponde al Maíz Blanco mientras que el restante 15.66% corresponde a Maíz Amarillo.

En el año 2013, Jutiapa tuvo una cosecha total de 122,763.99 (TM), colocándolo en el tercer puesto entre los departamentos con mayor producción de Maíz Blanco. Una de las problemáticas en Guatemala son sus prolongadas canículas, para el año 2014, se cuantificó una pérdida de aproximadamente 90,719 (kg) kilogramos de maíz por efecto de la sequía, teniendo un costo de pérdida por Q 631,000,000.00 como efecto colateral el maíz tuvo un alza en el precio de 8.9% (Palacios, 2015).

En el año 2015, fueron afectadas alrededor de 70,000 familias, por la pérdida de 51,000 hectáreas de siembra, a causa de sequías prolongadas, los daños fueron irreversibles para los departamentos de Jutiapa, Jalapa, Chiquimula, Santa Rosa, Retalhuleu y Suchitepéquez, como medida de mitigación el Ministerio de Agricultura y Ganadería invirtió alrededor de Q 45,000,000.00 para poder asegurar la alimentación del guatemalteco (Pocasangre, 2015).

Según el INSIVUMEH (2015), durante el periodo de lluvia del año 1,960 al 2013, se tiene una precipitación pluvial promedio para los meses de Junio de 270 mm, Julio de 176 mm, y para los meses de Agosto 223 mm y Septiembre de 223 mm, sumando nos da una cantidad de 892 mm. El requerimiento de agua para el cultivo de maíz ICTA B-9^{QPM} oscila entre 500 a 700 mm por hectárea durante el ciclo, estos bien distribuidos para obtener su máximo rendimiento.

Para el corredor seco, el ICTA ha generado variedades de maíz con resiliencia a sequía, tal es el caso de la variedad ICTA B-9^{QPM}, con este tipo de evaluaciones lo que se pretendió es tener datos que nos permitan aprovechar el máximo de producción que la variedad nos puede dar.

Con la presente investigación se pretendió desarrollar procesos que fomenten y refuercen las actividades de producción, mejoren el rendimiento y productividad del cultivo de maíz blanco en la región de Jalpatagua, departamento de Jutiapa, el cual es afectado por la sequía prolongada y la falta de recurso hídrico, para así contribuir a la seguridad alimentaria y calidad de vida de las personas y agricultores por medio de la disponibilidad y calidad de alimentos. Para beneficiar a las familias guatemaltecas y contribuir en la seguridad alimentaria del país. Por lo que se evaluaron 6 densidades de maíz, del material genético ICTA B-9^{QPM}, con resiliencia a sequía, para determinar con cuál se logró el mayor rendimiento, y mejorar la eficiencia del uso del agua de lluvia para los períodos de siembra.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de densidad de siembra sobre el rendimiento de grano de maíz blanco resiliente a sequía, Jalpatagua, Jutiapa.

4.2 Objetivos específicos

Determinar la densidad de siembra que produzca el mayor rendimiento en kg/ha de grano seco de maíz blanco variedad ICTA B-9^{QPM}.

Determinar efecto de la altura de planta para cada uno de los tratamientos en base al rendimiento kg/ha.

Determinar efecto del número de hileras de cada tratamiento sobre el rendimiento en kg/ha.

Determinar efecto de número granos por hilera sobre el rendimiento en kg/ha.

Realizar presupuestos parciales, análisis de dominancia, Tasa marginal de retorno y relación beneficio costo para cada uno de los tratamientos.

5. HIPÓTESIS ALTERNA

Ha: Al menos una densidad de siembra tendrá efecto significativo sobre el rendimiento de maíz de grano blanco, VAR ICTA B-9^{QPM}, resiliente a sequía, en el corredor seco de Jalpatagua, Jutiapa.

6. METODOLOGÍA

6.1 Localización del trabajo

La investigación se realizó en el municipio de Jalpatagua que pertenece al departamento de Jutiapa. Este Municipio se encuentra situado al oriente del país en el Departamento de Jutiapa, a 102 kilómetros de la Ciudad de Guatemala, sobre la ruta de la carretera interamericana (CA- 2). Las coordenadas geográficas corresponden a la latitud $14^{\circ} 08' 02''$ y longitud de $90^{\circ} 00' 35''$ a una altitud de 557.41 msnm, hace que predomine un clima cálido. El acceso a la Cabecera Departamental se hace por la ruta N-3, vía El Amatlán, que a su vez se intersecta con la ruta CA-1, para hacer un recorrido de 35 kilómetros en carretera totalmente asfaltada.

La extensión territorial del Municipio es de 204 kilómetros cuadrados, cuyas colindancias son: Al norte, con los municipios de San José Acatempa y Quezada; al este, con los municipios de Jutiapa, Comapa y la República de El Salvador; al sur, con los municipios de Conguaco y Moyuta; y al oeste, con los municipios de Oratorio y Moyuta (figura 1)



Figura 1. Ubicación del municipio de Jalpatagua, departamento Jutiapa (Google Maps, 2016).

6.2 Material experimental

5.2.1 Variedad ICTA B-9^{QPM}

Es una variedad nueva de grano blanco que se recomienda para la zona del corredor seco debido a la resiliencia a sequías y su alto contenido de proteínas (QPM).

6.3 Factores a estudiar

En la presente investigación se evaluaron seis densidades de siembra de maíz blanco sobre el rendimiento, resiliente a sequía, en el corredor seco.

6.4 Descripción de los tratamientos

Se evaluaron las densidades de siembra que aparecen en la tabla 10.

Tabla 10.

Descripción de los tratamientos evaluados

Número de tratamiento	Descripción	Distanciamiento
T1	Densidad de 45,454 plantas/ha	0.80 m entre surco y 0.55 m entre planta a 2 plantas/postura.
T2	Densidad de 41,666 plantas /ha	0.80 m entre surco y 0.60 m entre planta a 2 plantas/postura.
T3	Densidad de 38,461 plantas/ha	0.80 m entre surco y 0.65 m entre planta a 2 plantas/postura.
T4	Densidad de 55,555 plantas/ha	0.80 m entre surco y 0.45 m entre planta a 2 plantas/postura.
T5	Densidad de 62,500 plantas/ha	0.80 m entre surco y 0.40 m entre planta a 2 plantas/postura.
Tratamiento Testigo	Densidad de 50,000 plantas/ha	0.80 m entre surco y 0.50 m entre planta a 2 plantas/postura.

6.5 Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con seis tratamientos y cinco repeticiones cada uno.

6.5.1 Modelo Estadístico.

El modelo estadístico que se utilizó será el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$$

$i=1,2,\dots,t$
 $j=1,2,\dots,r$

Donde:

Y_{ij} = Variable de respuesta medida en la unidad experimental

μ = Media general

T_i = Efecto del tratamiento i

β_j = Parámetro, efecto del bloque j

E_{ij} = Error experimental asociado a la ij -ésima unidad experimental (De Mendiburo, s.f.)

6.6 Unidad experimental

6.6.1 Parcela bruta

El número total de unidades experimentales es de 30, se determinó utilizando los datos del número de tratamiento y número de repeticiones, con la siguiente fórmula

Unidad experimental (UE) = Número de Tratamientos x Número de Bloques.

Unidad experimental (UE) = 6 tratamientos x 5 repeticiones

Unidad experimental (UE) = 30

Con base de los resultados anteriores se estableció 30 unidades experimentales con una dimensión de 3.20 m de ancho por 5 m de largo, con un área por unidad experimental de 16 metros cuadrados.

La parcela bruta estuvo conformada por 4 surcos de plantas, con una dimensión total de 3.20 m de ancho y 5 m de largo. Un total de 16 m² por parcela (tabla 11).

Tabla 11.

Distribución de la parcela bruta

DISTANCIAMIENTOS (m)				
ÁREA (m ²)	ENTRE SURCO	ENTRE PLANTA	DENSIDAD/PARCELA	DENSIDAD/ha.
16	0.80	0.55	72	45,455
16	0.80	0.60	64	41,666
16	0.80	0.65	56	38,461
16	0.80	0.45	88	55,555
16	0.80	0.40	96	62,500
16	0.80	0.50	80	50,000

6.6.2 Parcela neta.

Estuvo constituida por los 2 surcos centrales de la parcela bruta, teniendo una dimensión de 1.6 m de ancho por 5 m de largo. Con un total de 8 m²

Tabla 12.

Distribución de la parcela neta

DISTANCIAMIENTOS					
(m)					
ÁREA (m ²)	ENTRE SURCO	ENTRE PLANTA	DENSIDAD/P ARCELA	ELIMINACIÓN	DENSIDAD/ PARCELA NETA
8	0.8	0.55	36	16	20
8	0.8	0.60	32	16	16
8	0.8	0.45	44	16	28
8	0.8	0.65	28	16	12
8	0.8	0.40	48	16	32
8	0.8	0.50	40	16	24

6.6.3 Croquis de campo

A continuación, se presenta la distribución al azar en campo de las unidades experimentales.

BLOQUE V

501	502	503	504	505	506
T: 1	T: 3	T: 6	T: 4	T: 2	T: 5

BLOQUE IV

406	405	404	403	402	401
T: 1	T: 3	T: 4	T: 5	T: 2	T: 6

BLOQUE III

301	302	303	304	305	306
T: 3	T: 5	T: 2	T: 6	T: 1	T: 4

BLOQUE II

206	205	204	203	202	201
T: 1	T: 5	T: 4	T: 2	T: 3	T: 6

BLOQUE I.

101	102	103	104	105	106
T: 2	T: 4	T: 1	T: 3	T: 5	T: 6

Figura 2. Croquis de campo del experimento

6.7 Variables de respuesta

6.7.1 Rendimiento de grano en kg/ha

Se realizó la cosecha de maíz en sacos, se procedió a pesar en una báscula la cantidad de maíz producida en cada tratamiento. Se consideró el rendimiento (kg/ha) del grano de maíz seco. Se tomó en cuenta el área de la parcela neta y el área que tiene una hectárea en metros cuadrados. Dato que se usó para obtener el rendimiento en (kg) de maíz por hectárea, su fórmula fue la siguiente:

$$\text{Rendimiento de grano seco de maíz (kg/ha)} = \frac{(\text{kg}) \text{ de grano seco por área de parcela neta} \times (10,000 \text{ m}^2)}{\text{área de parcela neta (m}^2\text{)}}$$

Nota: Dependiendo de las condiciones climáticas de la región donde se llevó a cabo el análisis, se puede considerar los datos del rendimiento total del grano, donde se incluye el grano sano más el grano dañado.

6.7.2 Altura de planta en metros

Previo a que se realizó la cosecha, de cada unidad experimental, se tomaron al azar cinco plantas, a las mismas se procedió a determinar el promedio de altura, para ello se utilizó un metro graduado en cm.

6.7.3 Número de hileras por mazorca

Al momento de la cosecha se tomaron cinco mazorcas al azar de cada unidad experimental y se les determinó el número de hileras en cada una. Se obtuvo el promedio de hileras por mazorca.

6.7.4 Número de granos por hilera

A las mazorcas mencionadas en la variable anterior, se les determinó el número promedio de granos por hilera (se tomó dos hileras de cada mazorca).

6.8 Análisis de la información

Para el análisis de la información obtenida se procedió a utilizar los siguientes métodos.

6.8.1 Análisis estadístico

Para el análisis de variables bajo estudio se utilizó el paquete estadístico InfoStat (versión 2017).

- a. Análisis de covarianza.* No se realizó debido a que no fue necesario realizar un ajuste para tratamientos.
- b. Prueba de Tukey.* No se realizó la prueba múltiple de medias Tukey al 5 % a los tratamientos ya que no presentaron significancia estadística.

6.8.2 Análisis económico

Se tomaron todos los costos totales de cada tratamiento en Quetzales por hectárea y sus ingresos como variables de respuesta, por lo cual se utilizaron las siguientes fórmulas:

- a. Presupuesto parcial:* se llaman presupuestos parciales, porque con este enfoque solamente se toman en consideración los costos asociados con la decisión de usar o no un tratamiento. Estos son los costos que permiten diferenciar un tratamiento del otro, y se denominan; costos que varían, y se llaman así porque varían de un tratamiento a otro. El resto de costos no se ven afectados por la decisión de usar un tratamiento en particular, y permanecen constantes (CIAGROS, 2001).

- b. *Análisis de dominancia:*** esta se realiza clasificando las tecnologías, incluyendo la tecnología que el productor usa normalmente, ordenándolas de menor a mayor, en base a los costos, conjuntamente con sus respectivos beneficios netos. Moviéndose de la tecnología de menor a la de mayor costo, la tecnología que cueste mas que la anterior, pero rinda un menor beneficio neto se dice que es “dominada y es excluida del análisis (CIMMYT, 1988).
- c. *Análisis marginal de retorno:*** *este es un procedimiento para reducir las tasas marginales de retorno entre tecnologías, procediendo paso a paso, de una tecnología de bajo costo a la siguiente tecnología de costo mayor, y comparando las tasas de retorno contra una tasa de retorno mínima aceptable. El procedimiento es útil para hacer recomendaciones a productores y para seleccionar tecnologías alternativas. El principio económico que soporta el análisis beneficioso para el productor para así continuar invirtiendo hasta el punto donde el retorno de cada unidad extra invertida sea igual a su costo (CIMMYT, 1988).*
- d. *Relación beneficio costo y rentabilidad:*** esta razón indica el retorno en dinero obtenido por cada unidad monetaria invertida. Por definición, resulta de dividir el ingreso bruto entre el costo total. En el caso de analizar factibilidad de tecnologías nuevas a través de presupuestos parciales, este índice se puede calcular tomando en cuenta solo los costos variables y no los costos totales (que incluyen los costos fijos) pues la mayor parte de las veces los únicos costos que son afectados por la introducción de la tecnología, cuando la relación es igual a uno el agricultor no gana ni pierde al realizar el cambio tecnológico, Relaciones mayores indican ganancia y menores indican perdida (Herrera et al., 1994).

6.9 Manejo experimental

Las labores de la presente investigación iniciaron de mayo a octubre del año 2017.

- Limpieza de terreno: se realizó la limpieza de la unidad experimental de forma manual eliminando todas las malezas que se encontraron en el terreno.
- Mecanización del suelo: se realizó paso de arado a 0.30 m de profundidad y dos pasadas de rastra a 0.25 m. Para la implementación de los surcos se colocaron estacas y pita, de acuerdo a las densidades de siembra y croquis de campo del experimento.
- Colocación de Pluviómetro: se colocó en la parcela del experimento para tener un monitoreo de la precipitación que cae en dicho lugar, y la frecuencia de lluvia en días, el cual se mide en litros o mm por metro cuadrado. Dando inicio la toma de datos en el mes de junio y terminando en octubre.
- Siembra: se realizó la siembra de maíz de grano blanco de forma directa utilizando chuzo para perforar el suelo y colocar dos granos por postura. Para el trazo de los surcos se colocó pita para definir un distanciamiento uniforme entre surcos. Los distanciamientos entre posturas dependieron del tipo de tratamiento a estudiar según el cuadro 11. Dando inicio en las semanas 3 y 4 (ver figura 26).
- Fertilización: se realizó utilizando 3 fórmulas químicas, 18-12-12 + 2MgO+ 2.4 S, 27-0-25 y 38.5 N + 7 S. Las cuales se distribuyeron en tres aplicaciones durante el ciclo del cultivo. Estas se realizaron en la semana 4, 7 y 11 (ver figura 26).
- Manejo de malezas: el control se realizó de forma manual y químico, el cual dependió de la población y el tipo de malezas, utilizando un herbicida preemergente Atrazina y un herbicida quemante; Paraquat. Labor que se realizó en las semanas 1, 3, 8 y 12 (ver figura 26).
- Manejo fitosanitario: durante el proceso de ejecución de la investigación se tomó registro de las presentes plagas y enfermedades que afectaron al cultivo durante el tiempo de la investigación. Para el control de larvas se utilizó el insecticida (Organofosforado, Piretroide profenofos, Cypermethrin). Para la prevención y control de mancha de asfalto producida por la interacción sinérgica de tres hongos: *Phyllachora maydis*, *Monograpghella maydis* y *Coniothyrium phyllacorae*, se utilizó el fungicida Triazol, Estrobilurina, Cyproconazole, Azoxystrobin.

- Aplicaciones foliares: para ayudar al desarrollo y mejorar el estado fenológico del cultivo de maíz se utilizó un foliar (5-10-5 + EM) en tres aplicaciones.
- Cosecha: labor que se realizó entre la semana 22, 23 y 24 (ver figura 26).
- Toma de datos: se tomaron los datos para obtener las variables de respuesta de la investigación, los resultados se tabularon y serán expresados en rendimiento y cantidad de kg/ha para cada unidad experimental.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1 Rendimiento de grano en kg/ha

A continuación, se presenta en la Tabla 13 el Análisis de varianza para la variable rendimiento de grano en kg/ha, en el cual se determinó que no existe significancia estadística para tratamientos. Por lo tanto, se interpreta que no existe una diferencia real entre tratamientos, es decir que es indistinto utilizar cualquiera de los tratamientos. El valor del coeficiente de variación es de 18.14% indicando que la información es confiable y que el experimento se realizó bajo un manejo agronómico adecuado.

Tabla 13.

Análisis de varianza para la variable rendimiento de grano en kg/ha

F.V	GL	CM	Fc	P-valor
Modelo	9	4441283.43	4.79	0.0017
Tratamiento	5	997474.24	1.08	0.4030 NS
Bloque	4	8746044.93	9.41	0.0002
Error	20	926747.63		
Total	29			

C.V. 18.14%

P- valor < 0.01 existe alta significancia estadística (**)

P- valor > 0.05 no existe significancia estadística (NS)

C.V.= Coeficiente de variación en porcentaje

En la figura 3, se presenta el comportamiento de cada tratamiento, en donde se observa que el tratamiento 5 presenta mayor rendimiento siendo este de 6,101.74 kg/ha con una densidad de 62,500 plantas/ha. El tratamiento con menor rendimiento es el testigo con una producción de 4,825.00 kg/ha y una densidad de 50,000 plantas/ha. Con esto podemos interpretar que a mayor densidad de plantas por hectárea se logra obtener un mayor rendimiento con esta variedad ICTA B9^{QPM} resiliente a la sequía en comparación al testigo y el resto de los tratamientos.

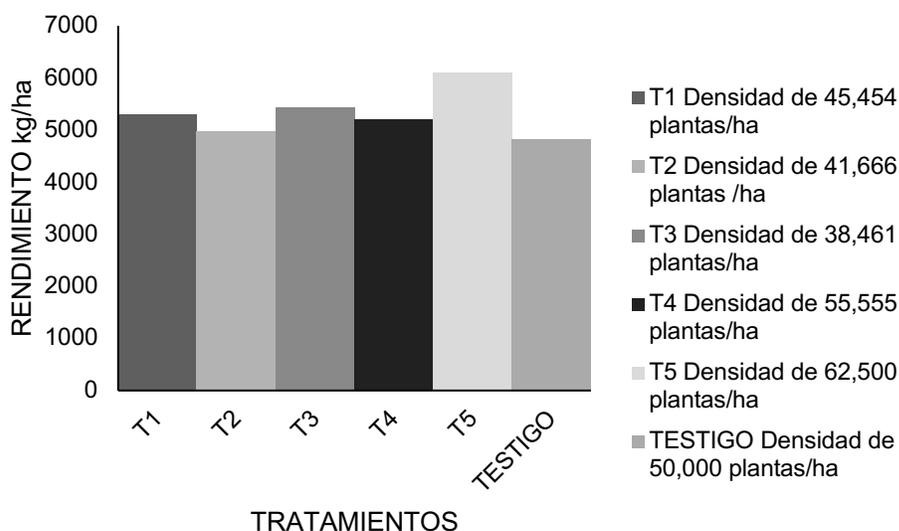


Figura 3. Rendimiento de grano en kg/ha.

7.2 Altura de planta en metros

En la Tabla 14 se presenta el análisis de varianza para la variable de altura de plantas en metros, en donde no se obtuvo significancia estadística para tratamientos esto quiere decir que la densidad de plantación no influye en cuanto a la altura de la planta. El coeficiente de variación se considera aceptable siendo de 4.66 %.

Tabla 14.

Análisis de varianza para la variable altura de planta en (metros)

F.V	GL	CM	Fc	P-valor
Modelo	9	0.04	4.01	0.0047
Tratamiento	5	4.6E-03	0.48	0.7867 NS
Bloque	4	0.08	8.42	0.0004
Error	20	0.01		
Total	29			

C.V= 4.66%

P- valor < 0.01 existe alta significancia estadística (**)

P- valor > 0.05 no existe significancia estadística (NS)

C.V.= Coeficiente de variación en porcentaje

En la figura 4, se presenta el comportamiento de la altura de planta de acuerdo a las diferentes densidades de siembra que se evaluaron, en donde observamos que el tratamiento 5 presenta mayor altura de planta, siendo esta de 2.14 m, la menor medida, de 2.07 m la presentan los tratamientos 2 y 6 respectivamente.

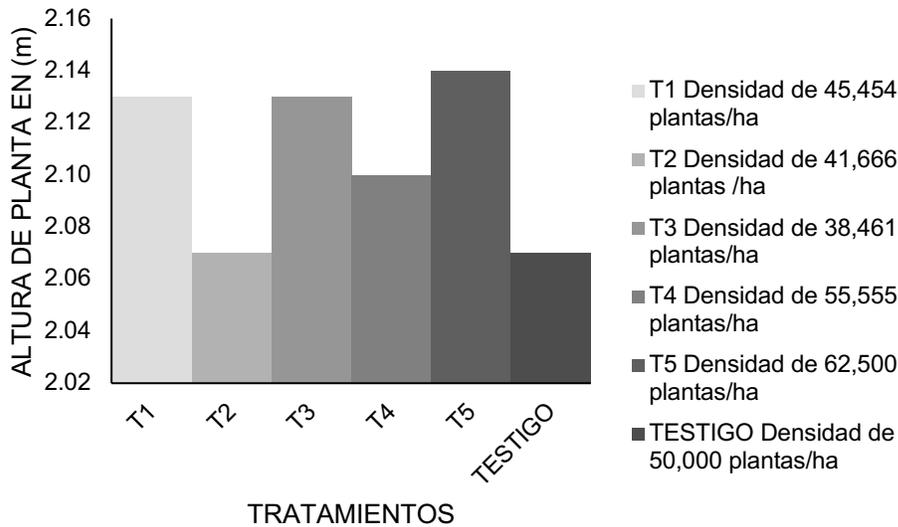


Figura 4. Altura de planta en metros.

7.3 Número de hileras por mazorca

Se presenta en la Tabla 15, el análisis de varianza para la variable número de hileras por mazorca, en el cual se observa que no existe significancia estadística entre los tratamientos, por lo que para esta evaluación y bajo sus condiciones las diferentes densidades no influyeron en el número de hileras por mazorca. El coeficiente de variación es de 6.16% por lo que se considera confiable la información.

Tabla 15.

Análisis de varianza para la variable número de hileras por mazorca

F.V	GL	CM	Fc	P-valor
Modelo	9	1.86	2.2	0.0770
Tratamiento	5	1.87	2.15	0.1017 NS
Bloque	4	1.83	2.10	0.1188
Error	20	0.87		
Total	29			

C.V= 6.16%

P- valor < 0.01 existe alta significancia estadística (**)

P- valor > 0.05 no existe significancia estadística (NS)

C.V.= Coeficiente de variación en porcentaje

En la figura 5, se observa el comparativo de medias de número de hileras por mazorca obtenidas en las diferentes densidades que se evaluaron. El tratamiento 2 presentó el máximo potencial de número de hileras por mazorca con una media de 16 siendo el número de hileras una característica genética de la variedad. “El ingeniero Martínez afirmó que el numero de hileras por mazorca puede verse afectado por malformación de la mazorca debido a condiciones ambientales adversas como altas temperaturas y estrés por sequía”. (H. Martínez, coordinador del programa de maíz del ICTA, comunicación telefónica, 28 de septiembre de 2018).

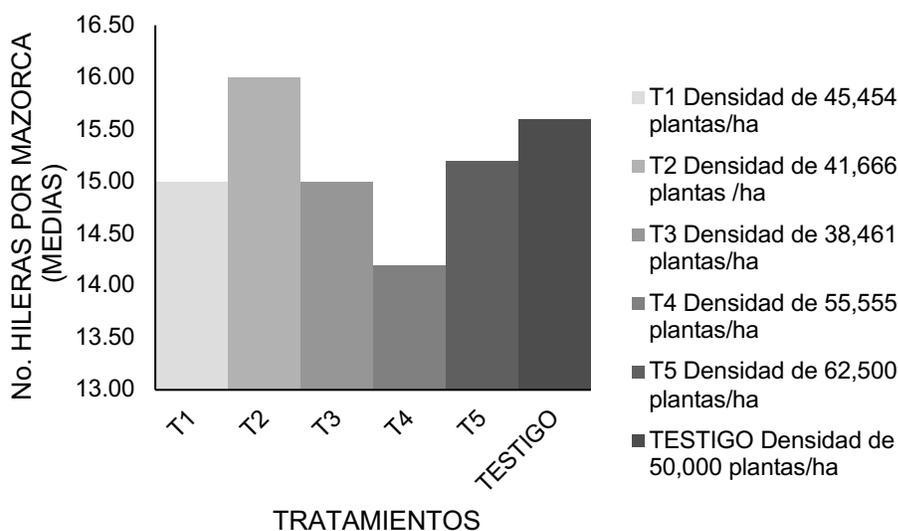


Figura 5. Número de hileras por mazorca

7.4 Número de granos por hilera

En la Tabla 16 se realizó el análisis de varianza para dicha variable en donde no se obtuvo significancia estadística para tratamientos, por lo tanto, las densidades de plantación evaluadas no influyeron significativamente en el número de granos por hilera. El coeficiente de variación es confiable, lo que nos permite asegurar que la información fue obtenida y analizada correctamente.

Tabla 16.

Análisis de varianza para la variable respuesta número de granos por hilera

F.V	GL	CM	Fc	P-valor
Modelo	9	14.25	1.80	0.1302
Tratamiento	5	13.31	1.69	0.1840 NS
Bloque	4	15.42	1.95	0.1420
Error	20	7.90		
Total	29			

C.V= 7.63%

P- valor < 0.01 existe alta significancia estadística (**)

P- valor > 0.05 no existe significancia estadística (NS)

C.V.= Coeficiente de variación en porcentaje

En la figura 6, se observa que el tratamiento que presenta mayor número de granos por hilera es T3. Siendo este el de menor densidad de plantación por hectárea; al interpretar los resultados se determina que a menor densidad de plantación se obtiene mayor cantidad de granos por hileras dado a un mayor desarrollo longitudinal de la mazorca. El número de granos por hilera es característica genotípica de la variedad, la cual puede ser afectada por malformaciones de la mazorca, debido a condiciones ambientales adversas como altas temperaturas y estrés por sequía.

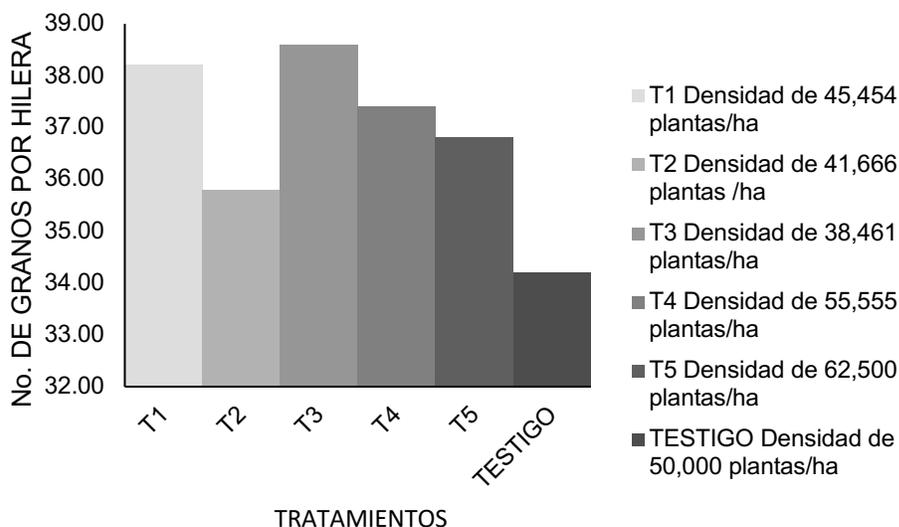


Figura 6. Número de granos por hilera.

7.5 Análisis Económico

El análisis económico se realizó en base a presupuestos parciales, análisis de dominancia, tasa marginal de retorno, rentabilidad y relación beneficio costo, con los resultados obtenidos en la producción de cada tratamiento evaluado, el maíz se comercializó en un precio promedio ponderado de Q 2.04 /Kg de acuerdo a los precios registrados por el MAGA en los meses de octubre y noviembre del 2017.

7.5.1 Presupuestos parciales

En la Tabla 17 se presenta el resultado de los presupuestos parciales en los tratamientos evaluados con el fin de determinar los ingresos de cada densidad en comparación con el tratamiento testigo, el cual no genera cambio en la inversión del agricultor, el tratamiento 3 (densidad de 38,461 plantas/ha), presenta el mayor valor dentro del análisis, siendo este de Q 7,705.88. Así mismo, podemos observar que los tratamientos 1, 2 y 3 presentan menor costo variable que el testigo y aun así superan a este en los ingresos netos ya que obtuvieron mayor rendimiento.

Tabla 17.

Presupuestos Parciales para Tratamientos

Tratamientos	Rendimiento Promedio Kg/ha	Rendimiento Ajustado (10%)	Ingreso Bruto Q/ha	Costo Varían Q/ha	Ingreso Neto Q/ha
Densidad de 45,454 plantas/ha	5,298.12	4,768.31	Q 9,727.35	Q 2,673.89	Q 7,053.46
Densidad de 41,666 plantas /ha	4,979.09	4,481.18	Q 9,141.61	Q 2,451.06	Q 6,690.55
Densidad de 38,461 plantas/ha	5,429.41	4,886.47	Q 9,968.40	Q 2,262.51	Q 7,705.88
Densidad de 55,555 plantas/ha	5,202.33	4,682.10	Q 9,551.48	Q 3,268.10	Q 6,283.38
Densidad de 62,500 plantas/ha	6,101.74	5,491.57	Q11,202.79	Q 3,676.65	Q 7,526.15
TESTIGO					
Densidad de 50,000 plantas/ha	4,825.00	4,342.50	Q 8,858.70	Q 2,941.32	Q 5,917.38

Precio promedio ponderado Q 2.04 /Kg de Maíz

7.5.2 Análisis de dominancia

En la Tabla 18 se presenta los resultados del análisis de dominancia, en donde se determinó que los tratamientos dominados fueron T2 (41,666 plantas/ha) y T testigo (50,000 plantas/ha), los cuáles se excluyeron del análisis, ya que la utilización de estos tratamientos incrementó sus costos variables sin aumentar sus ingresos netos. Mientras que los no dominados son T3 (38461 plantas/ha), T1 (45,454 plantas/ha), T4 (55,555) y T5 (62,500 plantas/ha), aunque los costos de estas densidades aumenten su efecto será reflejado proporcionalmente al incremento de sus ingresos netos.

Tabla 18.

Análisis de dominancia para tratamientos

Tratamientos	Costo Varían Q/ha	Ingreso Neto Q/ha	
Densidad de 38,461 plantas/ha	Q 2,262.51	Q 7,705.88	NO DOMINADO
Densidad de 41,666 plantas /ha	Q 2,451.06	Q 6,690.55	DOMINADO
Densidad de 45,454 plantas/ha	Q 2,673.89	Q 7,053.46	NO DOMINADO
TESTIGO Densidad de 50,000 plantas/ha	Q 2,941.32	Q 5,917.38	DOMINADO
Densidad de 55,555 plantas/ha	Q 3,268.10	Q 6,283.38	NO DOMINADO
Densidad de 62,500 plantas/ha	Q 3,676.65	Q 7,526.15	NO DOMINADO

7.5.3 Tasa marginal de retorno

Según la Tabla 19, el análisis marginal de retorno para tratamientos no dominados determinó que la TMR mayor fue de 304.19% correspondiente al T5 (62,500 plantas/ha). En tal sentido el análisis de la investigación determinó que la opción de implementar dicho tratamiento generaría un incremento económico en los beneficios netos por cada hectárea producida siendo de Q 1,242.77. Indicando que este es económicamente rentable.

Tabla 19.

Tasa marginal de retorno

Tratamiento	Costos totales que varían		Beneficio neto		TMR
	Q/ha	Q/cambio	Q/ha	Q/ha	%
Densidad de 38,461 plantas/ha	Q 2,262.51	0	Q 7,705.88	0	0
Densidad de 45,454 plantas/ha	Q 2,673.89	Q 411.38	Q 7,053.46	-Q 652.43	-158.60%
Densidad de 55,555 plantas/ha	Q 3,268.10	Q 594.20	Q 6,283.38	-Q 770.07	-129.60%
Densidad de 62,500 plantas/ha	Q 3,676.65	Q 408.55	Q 7,526.15	Q1,242.77	304.19%

7.5.4 Relación beneficio costo y rentabilidad

En la Tabla 20 se describe la relación beneficio costo y rentabilidad para tratamientos evaluados. Donde las densidades 45,454 plantas /ha, 38,461 plantas/ha y 41,666 plantas/ha obtuvieron mayores valores de la relación beneficio costo siendo estos valores de 0.90, 0.82 y 0.72 respectivamente. También son los de mayor rentabilidad en su orden siendo de 90.44%, 81.87% y 72.21%. La densidad de 55,555 plantas/ha fue la que obtuvo menor valor de relación beneficio costo (-0.009) y rentabilidad (-8.65).

Tabla 20.

Relación Beneficio Costo y Rentabilidad para Tratamientos

Tratamiento	Kg/ha	Costo (Q)	Ingresos (Q)	Utilidad (Q)	Rentabilidad (%)	Relación Beneficio Costo (Q)
Densidad de 45,454 plantas/ha	5,298.12	Q 5,675.42	Q 10,808.16	Q 5,132.75	90.44	0.90
Densidad de 41,666 plantas /ha	4,979.09	Q 5,898.25	Q 10,157.34	Q 4,259.10	72.21	0.72
Densidad de 38,461 plantas/ha	5,429.41	Q 6,086.80	Q 11,076.00	Q 4,989.20	81.97	0.82
Densidad de 55,555 plantas/ha	5,202.33	Q 11,617.41	Q 10,612.75	-Q 1,004.65	-8.65	-0.09
Densidad de 62,500 plantas/ha	6,101.74	Q 12,025.96	Q 12,447.55	Q 421.59	3.51	0.04
TESTIGO						
Densidad de 50,000 plantas/ha	4,825.00	Q 8,349.31	Q 9,843.00	Q 1,493.69	17.89	0.18

8. CONCLUSIONES

Estadísticamente ninguna de las seis densidades evaluadas presenta diferencia en el rendimiento en kg/ha de grano blanco variedad ICTA B-9^{QPM}.

La densidad de 62,500 plantas/ha, obtuvo el mayor rendimiento de maíz blanco variedad ICTA B-9^{QPM}, siendo de 6,101.74 kg/ha; seguida de las densidades 38,461 plantas/ha, 45,454 plantas/ha, 55,555 plantas/ha, 41,666 plantas/ha y 50,000 plantas/ha; cuyos rendimientos son 5,429.41 kg/ha, 5,298.12 kg/ha, 5,202.33 kg/ha, 4,979.09 kg/ha y 4,825 kg/ha respectivamente.

En la variable altura de planta, no se obtuvo significancia estadística entre tratamientos, esto indica que la altura no influyó en el rendimiento. Pero la mayor altura de planta la obtuvo la densidad de 62,500 plantas/ha con 2.14 m; seguida de las densidades de 38,461 plantas/ha y 45,454 plantas/ha que alcanzaron 2.13 m, la densidad de 55,555 plantas/ha con 2.10 m, las densidades de 41,666 y 50,000 plantas/ha con 2.07 m.

Para la variable número de hileras por mazorca, estadísticamente ninguno de los tratamientos evaluados presentó un efecto diferente sobre el rendimiento de la variedad.

Según el análisis de varianza para la variable número granos por hilera, no presenta diferencia entre tratamientos.

La relación beneficio costo identificó que los tratamientos T1 (45,454 plantas /ha), T3 (38,461 plantas/ha) y T2 (41,666 plantas/ha) obtuvieron los mayores como sigue 0.90, 0.82 y 0.72.

El análisis de dominancia determinó que el tratamiento que generó el mayor valor positivo de tasa marginal de retorno fue el T5 (62,500 plantas/ha) con 304.19%.

9. RECOMENDACIONES

Partiendo de los resultados obtenidos para cada una de las variables estudiadas, no se recomienda la validación de ninguna densidad evaluada, ya que estadísticamente ninguna presentó efecto significativo sobre el rendimiento en kg/ha.

Con base en los resultados del análisis económico, se recomienda validar el tratamiento que obtuvo una mayor tasa marginal de retorno (304.19%), siendo T5 con una densidad de 62,500 plantas/ha y un rendimiento de 6,101.74 kg/ha.

Para determinar el potencial de rendimiento de grano de la variedad ICTA B9^{QPM} en futuras investigaciones se recomienda evaluar los distanciamientos de 0.75 m entre surco por 0.10 m y 0.20 m entre planta para obtener mayores densidades a las evaluadas en esta investigación, ya que estas no presentaron diferencia estadística.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BANGUAT. (2004). *Folleto de estadísticas agrícolas* (Hojas electrónicas). Recuperado 03 septiembre, 2016, de https://www.banguat.gob.gt/cuentasnac/CNT_TOMO_I.pdf
- CIAGROS (2001). *Análisis económico de experimentos agrícolas con presupuestos parciales*. Recuperado 25 de octubre, 2016, de <http://www.geocities.ws/mrhdz/pparciales.PDF>.
- CIMMYT. (1988). *La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: un manual metodológico de evaluación económica* (México Df). Recuperado 24 de octubre, 2016, de <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/1063/9031.pdf>
- Dardón, O. (1977). *Características agronómicas y evaluación del potencial de rendimiento de siete variedades de maíz (Zea mays L.), en el departamento de Jutiapa*. [Tesis. Usac]. Recuperado 03 de septiembre, 2016, de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_0342.pdf
- De Mendiburo, F. (s.f.). *Diseño de Bloques Completos al azar : DBCA*. Recuperado 8 septiembre, 2016, de <https://tarwi.lamolina.edu.pe/~fmendiburu/index-filer/academic/metodos1/Bloques.pdf>
- MAGA Y DIPLAN. (2013). *El agro en cifras 2013* (Dirección de Planeamiento). Recuperado 05 septiembre, 2016, de http://web.maga.gob.gt/diplan/download/informacion_del_sector/agro_en_cifras/El%20Agro%20en%20Cifras%20-%202013.pdf
- Fuentes, M., y ICTA. (2002). *EL CULTIVO DEL MAÍZ EN GUATEMALA: Una guía para su manejo agronómico* (Informe). Recuperado 03 septiembre, 2016, de <http://www.funsepa.net/guatemala/docs/cultivoMaizManejoAgronomico.pdf>
- Fuentes, M., Van Etten, J., Ortega, A., & Vivero, J. (2005). *Maíz para Guatemala: Propuesta para la Reactivación de la Cadena Agroalimentaria del Maíz Blanco y Amarillo*. Recuperado 07 septiembre, 2016, de https://www.researchgate.net/profile/Jose_Vivero_Pol/publication/268397019_Maiz_para_Guatemala_Propuesta_para_reactivacion_de_cadena_agroalimentaria_del_maiz_blanco_y_amarillo/links/54b7c5270cf2c27adc4715dd/Maiz-para-Guatemala-Propuesta-para-reactivacion-de-cadena-agroalimentaria-del-maiz-blanco-y-amarillo.pdf?origin=publication_detail
- Fuentes L, ICTA B-7 (2006). *Guatemala*, Recuperado 07 septiembre, 2016, de http://www.icta.gob.gt/fpdf/recom_/g_basicos/ictab7.PDF
- Fassio, A., Carriquiry, A., Tojo, C., & Romero, R. (1998). *Maíz: Aspectos sobre fenología* (Montevideo, Uruguay). Recuperado 05 septiembre, 2016, de

<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807135855.pdf>

- Herrera, F., Velasco, C., Denen, H., & Radulovich, R. (1994). *Fundamentos de Análisis Económico: Guía para investigación y Extensión Rural* (Informe técnico no. 232). Recuperado 24 octubre, 2016, de http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/2208/Fundamentos_de_analisis_economico.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- ICTA (2013). Aspectos generales y guía para el manejo agronómico del maíz en Guatemala. Semillas para el Desarrollo GCP-RLA-182SPA
- ICTA (2015). Características fenotípicas variedad ICTA B-9^{QPM}, Programa de maíz.
- CIMMYT, Villegas, E., & Vasal, S. (1970). *Maíz con calidad proteica o QPM*. Recuperado 02 septiembre, 2016, de <https://innovationmatchmx.com/announcement/maiz-con-calidad-proteica-o-qpm/>
- MAGA. (2013). *Informe de situación del Maíz Blanco*. Recuperado 02 octubre, 2016, de [http://web.maga.gob.gt/download/informe_situacion_maiz_blanco\(2\).pdf](http://web.maga.gob.gt/download/informe_situacion_maiz_blanco(2).pdf)
- Marroquín R. (1995) Manejo del cultivo el elote dulce (*Zea mays* var. Saccharata) bajo el sistema de riego por goteo, en la agropecuaria Popoyan S.A. Informe Técnico. Bárcenas, Villa Nueva, Gt. Escuela Nacional Central de Agricultura. 70 p.
- Moroto, J. (2002). *Horticultura Herbácea Especial* (5ª ed.). Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Palacios, B. (5 de Mayo de 2015). Pérdidas por sequía serán de Q631 millones. El Periodico. Recuperado 28 septiembre, 2016, de <http://elperiodico.com.gt/2015/08/05/economia/perdidas-por-sequia-seran-de-q631-millones/>
- Pocasangre H. (13 de agosto de 2015). Conmemoración Día del Maíz con pérdidas de 51 mil hectáreas. Prensa Libre. Recuperado 26 septiembre, 2016, de <http://www.prensalibre.com/guatemala/comunitario/celebran-dia-del-maiz-con-perdidas-de-51-mil-hectareas>

10. ANEXOS

Presupuesto de maíz por hectárea para una densidad de 50,000 platas

Rubro	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Total
1 Renta de tierra				
1.1 Arrendamiento del terreno	ha	1	Q 1,000.00	Q 1,000.00
2 Maquinaria, Equipo y Servicios				Q -
2.1 Arado	ha	1	Q 300.00	Q 300.00
2.2 Rastreado	ha	2	Q 500.00	Q 1,000.00
2.3 Desgranado	Quintal	106	Q 3.00	Q 318.00
3 Mano de obra	Jornal	4	Q 60.00	Q 240.00
3.1 Limpieza Manual de Malezas	Jornal	2	Q 60.00	Q 120.00
3.2 Siembra	Jornal	2	Q 60.00	Q 120.00
3.3 Control Químico de Malezas	Jornal	2	Q 60.00	Q 120.00
3.4 Primera Fertilización	Jornal	2	Q 60.00	Q 120.00
3.5 Control Químico de Malezas	Jornal	2	Q 60.00	Q 120.00
1er Control Fitosanitario + Fert.				
3.6 Foliar	Jornal	2	Q 60.00	Q 120.00
2do. Control Fitosanitario +Fert.				
3.7 Foliar	Jornal	2	Q 60.00	Q 120.00
3.8 Segunda Fertilización	Jornal	2	Q 60.00	Q 120.00
3.9 Control Químico de Malezas	Jornal	2	Q 60.00	Q 120.00
3.1 Tercera Fertilización	Jornal	2	Q 60.00	Q 120.00
3.11 Dobra	Jornal	2	Q 60.00	Q 120.00
3.12 Cosecha	Jornal	5	Q 60.00	Q 300.00
3.13 Desgranado	Jornal	5	Q 60.00	Q 300.00
4 Insumos				Q -
4.1 Semilla ICTA B9 QPM	Libra	33	Q 6.82	Q 225.06
4.2 Tratador de semilla	Litro	1	Q 105.00	Q 105.00
Fertilizante 18-12-				
4.3 12+2MgO+2.4 S	Quintal	4	Q 185.00	Q 740.00
4.4 Fertilizante 27-0-25	Quintal	4	Q 185.00	Q 740.00
4.5 Fertilizante 38.5 N + 7 S	Quintal	4	Q 180.00	Q 720.00
4.6 Atrazina 80 WP	400 gr	9	Q 25.00	Q 225.00
4.7 Herbicida	Litro	7.5	Q 40.00	Q 300.00
4.8 Insecticida	Litro	0.7	Q 160.00	Q 112.00
4.9 Fertilizante Foliar	Litro	2.1	Q 80.00	Q 168.00
4.10 Fungicida	Litro	0.35	Q 675.00	Q 236.25
Costo total				Q 8,349.31

Costos que varían en quetzales por hectárea

Tratamientos	Costo de Semilla Q/ha	Costo de Fertilizante Q/ha	Costo de Insumos Q/ha	suma de C.V
Densidad de 45,454 plantas/ha	Q 204.60	Q 1,999.98	Q 469.32	Q 2,673.89
Densidad de 41,666 plantas/ha	Q 187.55	Q 1,833.30	Q 430.21	Q 2,451.06
Densidad de 38,461 plantas/ha	Q 173.12	Q 1,692.28	Q 397.11	Q 2,262.51
Densidad de 55,555 plantas/ha	Q 250.06	Q 2,444.42	Q 573.62	Q 3,268.10
Densidad de 62,500 plantas/ha	Q 281.32	Q 2,750.00	Q 645.33	Q 3,676.65
TESTIGO Densidad de 50,000 plantas/ha	Q 225.06	Q 2,200.00	Q 516.26	Q 2,941.32

MES/DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
JUNIO	6	4	3		8	6		4		10	3	9	9.5	15	3	1.5	8	8	1		11							15	12		
JULIO	22	14			3	4					1			50		12	15														24
AGOSTO	16						8		22		20				8						7		13							9	
SEPTIEMBRE								20				38		22				24		22			18	21	18	7	28	32	17	21	16
OCTUBRE	26	14		10																											

Precipitación pluvial del mes de junio a octubre del 2017.



Fotografía del pluviómetro.



Fotografía del trazo de parcela.



Fotografía de la siembra de maíz.



Fotografía de la aplicación del herbicida paraquat.



Fotografía del control de malezas.



Fotografía de la Germinación.



Fotografía de la germinación de toda la parcela.



Fotografía del monitoreo de campo.



Fotografía del cultivo con 8 hojas verdaderas.



Fotografía del daño ocasionados por Gusano Cogollero.



Fotografía del control de plagas.



Fotografía de segunda Fertilización.



Fotografía del control de malezas.



Fotografía de la tercera Fertilización.



Fotografía de la medición de la altura de planta.



Fotografía de la cosecha.



Fotografía del rendimiento por parcelas.



Fotografía del pesado de los rendimientos.

11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividad	Mes 1		Mes 2					Mes 3					Mes 4					Mes 5				Mes 6			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Semana																									
Estructuración área trabajo	x	x									x					x									
Preparación del suelo	x	x																							
Limpia	x		x					x				x													
Arado		x																							
Rastra		x																							
Siembra			x																						
Re siembra				x																					
Dobla																	x								
Prácticas culturales				x	x			x			x			x				x							
Fertilización				x			x			x															
Toma de datos																			x	x	x	x			
Cosecha																						x	x	x	