

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Análisis de rendimiento del híbrido doble de maíz (*Zea mays* L.)  
HB-83 Mejorado bajo cuatro arreglos topológicos.

Trabajo de graduación presentado por Danny Alexis Alonzo Zecaida  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en  
Tecnología Agrícola y Pecuaria.

Guatemala

2020



Análisis de rendimiento del híbrido doble de maíz (*Zea mays* L.)  
HB-83 Mejorado bajo cuatro arreglos topológicos.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Análisis de rendimiento del híbrido doble de maíz (*Zea mays* L.)  
HB-83 Mejorado bajo cuatro arreglos topológicos.

Trabajo de graduación presentado por Danny Alexis Alonzo Zecaida  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en  
Tecnología Agrícola y Pecuaria.


Guatemala

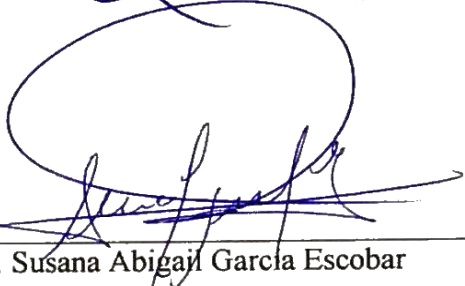
2020


Vo. Bo.:

(f)   
\_\_\_\_\_  
Ing. Luis Estuardo Guevara Vargas

Tribunal Examinador

(f)   
\_\_\_\_\_  
Ing. Luis Estuardo Guevara Vargas

(f)   
\_\_\_\_\_  
Inga. Susana Abigail Garcia Escobar

(f)   
\_\_\_\_\_  
Ing. Santos Danilo Carrillo Barrera

Fecha de aprobación: Guatemala, 17 de enero de 2020

# ÍNDICE

	Página
LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE CUADROS .....	ix
RESUMEN .....	x
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVOS .....	2
A. General .....	2
B. Específicos .....	2
III. JUSTIFICACIÓN .....	3
IV. MARCO TEÓRICO .....	4
A. Cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.) .....	4
B. Importancia del maíz en Guatemala .....	10
C. Manejo agronómico del cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.) .....	11
D. Características del híbrido doble comercial HB 83 Mejorado .....	25
E. Arreglos topológicos .....	26
V. METODOLOGÍA .....	27
A. Ubicación .....	27
B. Material experimental .....	27
C. Diseño experimental .....	28
D. Croquis de campo .....	28
E. Tratamientos .....	28
F. Factor estudiado .....	31
G. Modelo estadístico .....	31
H. Manejo del experimento .....	32
I. Variable de respuesta .....	35
J. Análisis de la información .....	35
K. Hipótesis .....	35

VI. RESULTADOS .....	36
A. Rendimiento en grano .....	36
B. Análisis de la varianza .....	36
C. Prueba de Tukey.....	36
VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	38
VIII. CONCLUSIONES .....	39
IX. RECOMENDACIONES.....	40
X. BIBLIOGRAFÍA .....	41
XI. GLOSARIO .....	43

# LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Representación gráfica de la dirección de toma de muestra del suelo tipo zigzag .....	12
Figura 2: Vista satelital de Campo Experimental Agrícola de Universidad del Valle Campus Sur. ....	27
Figura 3: Croquis de campo para el diseño experimental.....	28
Figura 4: Tratamiento 1.....	29
Figura 5: Tratamiento 2.....	29
Figura 6: Tratamiento 3.....	30
Figura 7: Tratamiento 4.....	30
Figura 8: Rendimiento de grano ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en la evaluación de cuatro arreglos topológicos en la variedad de maíz ICTA HB-83.....	37

## LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1: Clasificación taxonómica del maíz .....	4
Cuadro 2: Fases de desarrollo de la planta de maíz y su duración aproximada en condiciones del Trópico Bajo y Altiplano.....	7
Cuadro 3: Eventos cardinales en la fenología del maíz tropical, rango en tiempo termal para su ocurrencia y comentarios críticos.....	8
Cuadro 4: Requerimiento hídrico (mm) del maíz.....	9
Cuadro 5: Densidad de plantas por hectárea y manzana resultante de la combinación de distancias entre plantas y surcos.....	13
Cuadro 6: Herbicidas químicos recomendados por la literatura para el control de malezas en el cultivo del maíz. ....	19
Cuadro 7: Tratamientos evaluados .....	28
Cuadro 8: Tabla de Análisis de Varianza .....	31
Cuadro 9: Requerimiento nutricional del cultivo de maíz según IICA.....	33
Cuadro 10: Análisis de suelo del área experimental.....	33
Cuadro 11: Comparación entre requerimiento del cultivo y suministro de nutrientes presentes en el suelo. ....	34
Cuadro 12: Plan de fertilización para 16 parcelas de 20 m <sup>2</sup> .....	34
Cuadro 13: Datos de rendimiento en kg*ha <sup>-1</sup> .....	36
Cuadro 14: Cuadro de Análisis de la Varianza.....	36
Cuadro 15: Prueba de medias Tukey para los rendimientos en grano de maíz para la variedad ICTA HB-83.36	

## RESUMEN

Este trabajo de graduación consistió en un análisis de rendimiento del híbrido doble de maíz, ICTA HB-83 Mejorado, sometido a cuatro arreglos topológicos distintos de siembra. Fuentes López (2002) indica que el rendimiento comercial promedio obtenido a través de parcelas de validación en el 2002 de ICTA HB-83 Mejorado fue el equivalente a 11,000 kg ha<sup>-1</sup>, dependiendo de las condiciones ambientales y manejo agronómico este puede tener potencial de producción hasta de 14,000 kg ha<sup>-1</sup>. Sin embargo, según MAGA (2017) en su último reporte de El Agro en Cifras 2016, refleja datos en donde los rendimientos en maíz blanco son bajos si se comparan al potencial de producción del maíz ICTA HB-83 Mejorado. Los arreglos topológicos fueron tomados de validaciones de campo realizadas en México por parte de Fundación Produce Sinaloa, A.C. que inició en el otoño-invierno de 2004-2005, estos reemplazaron la forma tradicional de siembra, la cual es muy similar a la que ICTA recomienda para el trópico bajo de Guatemala (Fuentes López, 2002). Estos fueron evaluados para determinar si hubo una diferencia significativa entre los cuatro arreglos topológicos, incluyendo la forma tradicional, y de esta manera encontrar el que generó un mejor rendimiento para el híbrido ICTA HB-83 Mejorado. Este estudio se llevó a cabo en el Campo Experimental Agrícola de Universidad del Valle Campus Sur, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Donde se hicieron siembras de maíz ICTA HB-83 Mejorado en parcelas experimentales con el empleo de arreglos topológicos, y al momento de la cosecha se analizaron los rendimientos en kg ha<sup>-1</sup> empleando el análisis estadístico de ANOVA y prueba de Tukey. Los resultados indican que, de los 4 tratamientos evaluados, el tratamiento 1, que consiste en sembrar en surcos de 80 cm con doble hilera (60 y 20 cm) y 20 cm entre plantas (125,000 p\*ha<sup>-1</sup>) colocando una semilla por postura, provocó cambios significativos en el rendimiento en grano de maíz; es decir, se obtuvo una diferencia estadísticamente significativa si se le compara con cualquiera de los otros tres arreglos topológicos evaluados. Este arreglo topológico de siembra es el que generó el mejor rendimiento para el híbrido ICTA HB-83 Mejorado, con una producción de 8,668.75 kg ha<sup>-1</sup>. Por tanto, este método de siembra es una herramienta tecnológica para el híbrido doble ICTA HB-83 Mejorado para esta zona, ya que puede mejorar la producción de los pequeños y medianos productores de la región en tiempos en los que el maíz es el tema vital para la seguridad alimentaria de la comunidad.

# I. INTRODUCCIÓN

El cultivo del maíz (*Zea mays* L.) forma parte del grupo de granos básicos que constituyen la base de la dieta de la población guatemalteca por su alto contenido energético y de proteínas, cuya parte consumida es la semilla sexual. En Guatemala, las principales especies de granos básicos son el maíz, frijol negro, arroz y sorgo. Estos granos revisten una importancia especial por sus implicaciones culturales, socioeconómicas y alimentarias. El maíz enfrenta una serie de factores limitantes para su producción, entre los que destacan la alta incidencia de plagas y enfermedades, así como la insuficiencia en componentes tecnológicos de la producción, como son la fecha y densidad de siembra empleada, el arreglo topológico en que se cultiva, el manejo de la cosecha entre otros, factores por los cuales se abate el rendimiento unitario. A través del tiempo los agricultores, al igual que los investigadores, han buscado afanosamente elevar los niveles de producción y de calidad de los diferentes cultivos con que trabajan. Dentro de esta corriente de investigación llama la atención el aprovechamiento de los recursos superficie y planta, o lo que genéricamente se ha dado por llamar arreglo topológico; así pues, diferentes autores buscan en una tarea permanente, aumentar el rendimiento y mejorar el aprovechamiento del terreno. Con la finalidad de generar información para el manejo agronómico de la variedad de maíz blanco ICTA HB-83 Mejorado, en esta investigación se evaluaron cuatro arreglos topológicos para el cultivo de la misma bajo las condiciones edafoclimáticas del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa. Se esperaba encontrar un arreglo topológico que potencializara el rendimiento de la variedad ICTA HB-83 Mejorado comparado con el método tradicional de siembra sugerido por ICTA. Esto se logró mediante un diseño experimental en bloques completos al azar compuesto de cuatro tratamientos correspondiente a un arreglo topológico distinto con cuatro repeticiones cada una, luego de un análisis de varianza se determinó que uno de los arreglos topológicos obtuvo rendimientos estadísticamente significativos, por lo que se aplicó una prueba de medias para encontrar el arreglo topológico que obtuvo un mejor rendimiento, el cual fue siembra en surcos de 80 cm con doble hilera (60 y 20 cm) y 20 cm entre plantas para una densidad de 125,000 p\*ha<sup>-1</sup> donde se obtuvo un rendimiento en grano de 8,668.75 kg ha<sup>-1</sup>, el cual es mayor al rendimiento promedio del maíz blanco en Guatemala, esto según MAGA (2017).

## II. OBJETIVOS

### A. General

Analizar el rendimiento del híbrido ICTA HB-83 Mejorado bajo cuatro arreglos topológicos en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa a fin de incrementar la productividad del cultivo.

### B. Específicos

1. Determinar si hay una diferencia significativa en el rendimiento del híbrido ICTA HB-83 Mejorado entre los cuatro arreglos topológicos.
2. Encontrar el arreglo topológico de siembra que genere el mejor rendimiento para el híbrido ICTA HB-83 Mejorado

### III. JUSTIFICACIÓN

El cultivo del maíz (*Zea mays* L.) constituye la base de la dieta de la población guatemalteca, convirtiéndolo en el principal cultivo de los granos básicos. Según MAGA (2017), en su último informe publicado de Cifras del Agro 2016, el área de cultivo se realiza en aproximadamente 883,890 hectáreas con una producción total de 4,187.28 millones de kg de maíz para el año agrícola 2016-2017, de los cuales el 4% de la producción corresponde al departamento de Escuintla. La importancia que representa el maíz dentro de los granos básicos es indudable desde distintos puntos de vista, principalmente porque garantiza la seguridad alimentaria y la sobrevivencia. Sin embargo, Fuentes López (2002) menciona que el rendimiento promedio de maíz en Guatemala es bajo, el equivalente a 1,700 kg ha<sup>-1</sup>. En los últimos años la productividad de maíz ha sido reportada en 4,742.85 kg ha<sup>-1</sup>. Este valor no difiere grandemente al valor de productividad reportado por Fuentes López en 2002. Bolaños & Barreto (1991) indican que una de las razones fundamentales de los bajos rendimientos de maíz en condiciones tropicales está relacionada a bajas densidades. Un distanciamiento adecuado produce una cobertura más temprana que permite lograr mayor eficiencia en la intercepción de la luz, del suelo, nutrientes y por ende un mejor rendimiento en el cultivo; según los arreglos topológicos tienen un papel importante en la producción de maíz y debido a la gran diversificación de los suelos y las variedades de semillas de maíz, estos pueden llegar a ser diferentes en cada zona donde se ponen en práctica. Este trabajo se fundamenta en que no existe ninguna investigación que demuestre que cualquiera de los métodos de siembra validados en Sinaloa, México, para aumentar la densidad, y por ende, el rendimiento en el cultivo de maíz, puedan tener los mismos efectos en el municipio de Santa Lucía Cotz, por lo que existe la probabilidad de que no se esté aprovechando al máximo el potencial de rendimiento de la variedad comercial HB-83 Mejorado, al estar usando la forma tradicional de siembra. Por lo tanto, es imprescindible realizar ensayos donde se reflejen los resultados de rendimiento y de esta forma generar una recomendación técnica sobre qué tipo de arreglo topológico es ideal para las condiciones edafoclimáticas del municipio de Santa Lucía Cotz.

## IV. MARCO TEÓRICO

### A. Cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

#### 1. Características morfológicas, taxonómicas y bromatológicas del maíz.

La diversidad genética del maíz a nivel mundial es amplia. Hay más de 250 razas clasificadas y se encuentran alrededor de 10,000 entradas almacenadas en los principales bancos de germoplasma a nivel mundial. Mesoamérica es considerada centro de origen, donde se cultiva desde las épocas precolombinas. En Guatemala se han clasificado 13 razas de maíz, entre las cuales se pueden mencionar: raza Olotón, San Marceño, Quiché, Naltel, entre otros. Dentro de la diversidad de maíz existen cultivares de menos de 1 m de altura, 8-9 hojas y una madurez de 60 días y otros con más de 5 m de altura, 40-42 hojas y una madurez de 340 días (Fischer & Palmer, 1984). El maíz es una monocotiledónea perteneciente a la familia Gramínea, Tribu Maydae (Cuadro 1), con dos géneros: *Zea* ( $2n=20$ ) y *Tripsacum* ( $2n=36$ ). El género *Zea* tiene además de la especie *Z. Mays* (maíz común), cuatro especies conocidas como Teosintles (*Z. mexicana*, *Z. luxurians*, *Z. diploperennis* y *Z. perennis*). Es una gramínea anual, robusta, de 1-4 m de altura, determinada, normalmente con un solo tallo dominante, pero puede producir hijos fértiles, hojas alternas en ambos lados del tallo, pubescentes en parte superior y glabras en parte inferior, monoica con flores masculinas en espiga superior y flores femeninas en jilotes laterales; potándrica con la floración masculina ocurriendo normalmente 1-2 días antes que la femenina, polinización libre y cruzada con exceso de producción de polen: 25-30 mil granos por óvulo, granos en hileras incrustados en el olote, mazorca en su totalidad cubierta por hojas; grano cariopsis; metabolismo fotosintético C4 (Kiesselbach, 1949); (Purseglove, 1972); (Fischer & Palmer, 1984).

Cuadro 1: Clasificación taxonómica del maíz

<b>Reino</b>	Vegetal
<b>División</b>	Tracheophyta
<b>Subdivisión</b>	Pteropsidae
<b>Clase</b>	Angiospermae
<b>Subclase</b>	Monocotyledoneae
<b>Grupo</b>	Glumiflora
<b>Orden</b>	Graminales
<b>Familia</b>	Graminae
<b>Tribu</b>	Maydeae
<b>Género</b>	<i>Zea</i>
<b>Especie</b>	<i>Mays</i>
<b>Variedades</b>	Diversas

El grano de maíz es una fruta completa (cariopsis) con una semilla. La semilla, que consiste fundamentalmente en el embrión y el endospermo, se encuentra incrustada en el pericarpio, que es parte del ovario. En promedio, el pericarpio ocupa 5.5%, el endospermo 82%, el embrión 11.5% y el pedicelo solamente 1% del total, respectivamente. El grano contiene alrededor de 1.5-1.6% de N, 0.3% de P, 0.35% de K, 0.03% de Ca, 0.12% de S, 0.17% de Mg, correspondiente con 75% de carbohidratos, 10% de proteína, 5% de lípidos y 10% de agua (Kiesselbach, 1949); (Purseglove, 1972). El endospermo que forma la mayor parte del grano 80-85% contiene en su superficie una capa llamada aleurona, cuyo espesor está formado por una célula, capa que es muy rica en proteínas y grasas. El contenido de proteína promedio en el maíz es de 8-10%, aproximadamente la mitad o las tres cuartas partes se hallan en la porción de gluten corneo. El germen constituye 10-15% del peso del grano, encierra la quinta parte del total de proteínas del grano entero. El maíz contiene cuatro tipos de proteínas: prolaminas, principalmente en forma de zeína, globulina, glutelina y albumina. La zeína aporta casi la mitad de la proteína total del grano entero y aproximadamente la mitad de las contenidas en el endospermo. Los hidratos de carbono equivalen a 73% del grano de maíz y está formado por hidratos de carbono bajo la forma de almidón, azúcar y fibra (celulosa). El almidón se encuentra principalmente en el endospermo, el azúcar en el germen y la fibra o celulosa en la cubierta (Fuentes López, 2002).

## 2. Crecimiento y fases de desarrollo

La planta de maíz presenta diferente comportamiento a las condiciones agroclimáticas. El conocer las características fenológicas establece el marco temporal que forma el rendimiento y sus componentes. Bolaños & Edmeades (1993) *Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. I. Responses in grain yield, biomass and radiation utilization*, indican que, en los puntos cardinales de germinación, iniciación floral, floración y madurez fisiológica se delimitan respectivamente las fases vegetativas, reproductiva y de llenado de grano. La duración de cada una de estas fases depende del genotipo, del fotoperíodo y de la temperatura.

### a. Fase vegetativa

En esta fase la semilla germina y se establecen las plántulas; se expande el follaje y se forma la capacidad fotosintética del cultivo, la cual controla la producción de biomasa. La biomasa total producida por el cultivo está altamente correlacionada con el tamaño final de la mazorca, ya que, ésta ocupa cerca del 40% del peso total (Bolaños & Barreto, 1991)

### b. Fase reproductiva

Esta fase determina la formación de la mazorca y por tanto el número de mazorcas por planta y el número de granos por mazorca, esto es, la fracción cosechable de la biomasa. En el caso del maíz las flores masculinas se producen en la inflorescencia terminal (espiga) y las flores femeninas en las axilas laterales (mazorcas), por lo que existe una distancia entre ambas y el pólen debe viajar más de un metro para fecundar los estigmas. Además, existe un período que va de uno a dos días, entre la emisión del polen y la salida de los estigmas en la floración. Ambos aspectos, hacen que la polinización y la producción de granos sea una fase extremadamente sensitiva a los estreses ambientales (Bolaños & Barreto, 1991; Bolaños & Edmeades, 1993a y b)

### c. Fase de llenado de grano

Esta fase se inicia inmediatamente después de la polinización y determina el peso final del grano y de la mazorca. El peso del grano está correlacionado con la duración y la cantidad de radiación interceptada durante esta fase, y es afectada por estreses hídricos y nutricionales (Fischer & Palmer, 1984). La fase de llenado está marcada por tres fases: 1) Fase de arresto que puede durar de 10 a 20 días; 2) Fase lineal que es la fase de acumulación de materia seca y tiene una duración aproximada 35 días para maíces del Trópico bajo; y 3) Fase de acumulación lenta con una duración de 7 a 14 días que concluye con la aparición de la capa negra y madurez fisiológica. Se denomina que el grano está en la etapa de capa negra”, cuando éste cesa de alimentarse de la planta, formándose una capa de color negro que evita la entrada de nutrientes al grano, aspecto que da nombre a esta fase. La madurez fisiológica se alcanza cuando el grano está cerca de los 32-35% de humedad.

### 3. Duración del desarrollo de una planta de maíz

Los diferentes genotipos que se cultivan en Guatemala adaptadas a las condiciones agroecológicas del Trópico con humedad favorecida y limitada provienen de poblaciones mejoradas como la Población Tuxpeño, Esto, La Posta y otras. Las plantas provenientes de la población Tuxpeño sembradas en ambiente tropical (23 a 35°C) a los 28 días después de la siembra (dds) suspenden la formación de hojas y el meristemo apical se convierten la inflorescencia masculina (espiga). En este momento culmina la Fase vegetativa y se inicia la Fase reproductiva. La inflorescencia femenina superior (mazorca) se forma aproximadamente a los 38 dds, es decir, de 10 a 11 días después de la iniciación de la espiga. La antesis (emisión de polen) y la salida de los estigmas de las flores femeninas, ocurre cerca de los 55-60 dds y la madurez fisiológica a los 100 dds. En promedio estos genotipos producen 22 hojas, más de 600 óvulos por mazorca a la floración, pero solo se cosechan 450 granos con un peso de 400 mg/grano (Fischer & Palmer, 1984; Bolaños & Edmeades, 1993a y b)

En el Cuadro 2 se presentan las fases de desarrollo del cultivo del maíz y su duración aproximada para el caso de maíces adaptados a las condiciones del Trópico Bajo. Se ejemplifica con la población Tuxpeño, cultivada en un ambiente tropical con temperaturas promedio de 23 a 25°C. Los datos observados en las condiciones del Altiplano Medio y Occidental corresponden a las localidades de Chimaltenango y Quetzaltenango, respectivamente (Fuentes López, 2002).

### 4. Eventos cardinales de desarrollo del cultivo

Para el desarrollo normal de la planta de maíz se requieren condiciones climatológicas adecuadas que favorezcan el normal desarrollo. La fenología de la planta de maíz pasa por los siguientes eventos cardinales y el requerimiento de la acumulación de unidades de calor o grados Celsius que se conoce como tiempo Termal. En el Cuadro 3 se presentan los eventos de desarrollo y unidades de calor requeridas para condiciones del Trópico Bajo (Edmeadea, Lafitt, & Chapman, 1992a)

Cuadro 2: Fases de desarrollo de la planta de maíz y su duración aproximada en condiciones del Trópico Bajo y Altiplano.

	Fase vegetativa	Fase reproductiva			Fase llenado de grano	
	G	IE	IJ	A	EE	MF
<b>Trópico Bajo (0-1000 msnm)</b>						
Días Después siembra	3	28	38	55	57	100-110
T termal (°Cd)	50-150	350	450	550	550	1650
Duración (días)	28	28-32			55	
<b>Altiplano Medio (1500-2000 msnm) *</b>						
Días Después siembra	8	50	61	95-100	100	180
Duración (días)	50	45-50			80-85	
<b>Altiplano occidental (&gt;2000 msnm) *</b>						
Días Después siembra	8-10	55	65	100-110	108-115	200-210
Duración (días)	55	55-60			92-100	
G = Germinación	IJ= Iniciación de Jilotes			EE= Emisión de Estigmas		
IE= Iniciación de Espigas	A= Antesis			MF= Madurez Fisiológica		

## 5. Requerimiento para el crecimiento del cultivo.

### a. Requerimientos de luz solar

El maíz es una planta determinada cuantitativa de días cortos. Esto significa que el progreso hacia floración se retrasa progresivamente a medida que el fotoperíodo excede de un valor mínimo. En general, para la mayoría de germoplasma de maíz tropical el fotoperíodo crítico oscila entre 11 y 14 horas y en promedio 13.5 horas. La mayoría de los materiales tropicales tienen mucha sensibilidad al fotoperíodo que puede influir en el retraso en la iniciación de la espiga (Bolaños & Edmeades, 1993).

### b. Requerimiento de agua

El requerimiento mínimo que las plantas de maíz necesitan para cumplir las diferentes fases de crecimiento se presenta en el Cuadro 4. La disponibilidad de agua en cantidades adecuadas al requerimiento de la planta posibilita que el cultivo pueda desarrollarse adecuadamente y que posibilite potenciar rendimiento. La utilización del agua está en función del desarrollo fenológico de la planta y se correlaciona con otras variables muy importantes como lo es la capacidad de campo, evapotranspiración y temperatura. La cantidad de agua accesible al cultivo en un momento dado depende de la profundidad explorada por las raíces, de la cantidad de agua disponible hasta dicha profundidad y de la efectividad con que las raíces pueden extraer la humedad del suelo en los distintos niveles (Fuentes López, 2002).

En general, el cultivo del maíz dispone de una fase crítica que demandan la mayor cantidad de agua. Este período ocurre durante la fase de pre y post floración. La limitación de agua en esta fase puede afectar negativamente al rendimiento debido al estrés que provoca en la fisiología de la planta. También la falta de agua en las etapas iniciales posterior a la siembra puede afectar significativamente la población de plantas, lo que causa la muerte de plántulas y por consiguiente pérdida de población que se reflejará en disminución del rendimiento.

Cuadro 3: Eventos cardinales en la fenología del maíz tropical, rango en tiempo termal para su ocurrencia y comentarios críticos.

Evento	Tiempo Termal (°Cd)	Comentarios
Siembra		Inicio de la germinación. Se requiere humedad y temperatura adecuada.
Emergencia	50-150	Emergencia del coleóptilo arriba de la superficie del suelo
Iniciación de hojas	20-24	La semilla trae 5 a 6 hojas iniciadas. Plastocrono es el intervalo de iniciación de hojas sucesivas. Transición de estado fotoinsensible a uno fotosensible (Inductivo), ocurre 4 días antes que IE.
Iniciación de la espiga	300-400	Ocurre cuando la iniciación de las hojas ha terminado y marca el comienzo de la fase reproductiva. Se retrasa si el fotoperíodo en fase inductiva excede el valor crítico. Ocurre aproximadamente al 40% del tiempo entre emergencia y emisión de los estigmas.
Iniciación de los jilotes	400-500	Meristemos laterales se inician en sucesión acropetal y se convierten en jilotes en sucesión basipetal en las axilas de las hojas excepto las 6-8 hojas superiores. Meristemos inferiores pueden convertirse en hijos.
Emergencia de hojas	34-44	Después de la Iniciación, las hojas crecen hasta que la punta se encuentra visible y luego hasta que está totalmente expandida: Los aurículas y la lígula (el collar) se encuentran visibles.
Emergencia de la espiga		La aparición de la espiga ocurre 40 a 80 °Cd después de la expansión de la última hoja (hoja bandera).
Antesis	500-1100	Cuando las primeras anteras derramando polen se encuentran visibles.
Emisión de estigmas	500-1100	Cuando los primeros estigmas se encuentran visibles. Normalmente ocurre 1-2 días después de la antesis.
Fase lineal de llenado de grano		12-20 días después de la polinización, el llenado de grano comienza la fase lineal de crecimiento. El grano puede acumular 6-7 mg/día durante esta fase.
Grado de lechosidad del grano		Monitoreado con la desaparición de la línea lechosa. Durante esta fase el contenido de humedad del grano es un indicador del desarrollo fenológico.
Madurez fisiológica	1000-2000	Ocurre cuando cesa el aumento de peso de grano y coincide con la formación de una capa negra en la región placentar del grano, 1-2 días después de la desaparición de la línea lechosa y con humedad cerca de 33-35%. La senescencia de las hojas de la mazorca sirve de indicadores visuales.

El efecto particularmente de la sequía afecta la habilidad de la planta de maíz a producir grano en tres fases críticas del crecimiento vegetativo: a) Al inicio del ciclo de cultivo, en estado de plántula puede matar a estas plantas y reducir la densidad de población; b) en fase de floración y c) en fase de llenado de grano. Se han realizado diferentes estudios en maíces tropicales para simular y cuantificar potencialmente el efecto de la reducción del grano por efecto de sequía. La reducción de agua en el cultivo del maíz durante el período de prefloración, floración y postfloración provoca pérdidas de 25%, 50% y 21%, respectivamente. Heisey & Edmeades (1999) informan que el momento crítico de estrés de sequía de maíz se ubica entre los 7 días previos al inicio de la floración y 15 días posterior a esta. En esta etapa la reducción de rendimiento es mayor y puede ser 2 o 3 veces mayor que en otra fase de crecimiento. Se indica también que en esta fase el número de granos puede reducirse hasta en 45%.

El umbral mínimo de precipitación desde el cual puede esperarse cosecha de granos es de 150 mm. Según Laffite (1994), el maíz necesita por lo menos 500 a 700 mm de precipitación bien distribuida durante el ciclo de cultivo. Sin embargo, aun esa cantidad de lluvia no es suficiente si la humedad no puede ser almacenada en el suelo debido a la poca profundidad de éste o del escurrimiento, o si la demanda evaporativa es muy grande por las temperaturas elevadas y la escasa humedad relativa.

Cuadro 4: Requerimiento hídrico (mm) del maíz.

Cultivo	Fase			Total (mm)
	Vegetativa	Floración	Reproductiva	
Maíz	300	200	200	700

#### c. Influencia de la temperatura

El desarrollo vegetativo y reproductivo de la planta de maíz en la zona Tropical está muy relacionada con la altitud (msnm) en donde se encuentra la plantación. Dependiendo de la ubicación de la zona, esta manifestará diferente comportamiento relacionado a la temperatura ambiental. En Guatemala, la zona del Trópico bajo presenta temperaturas promedio de 25 °C y que pueden manifestar extremos de 35-40°C en ciertos períodos del año. Para las condiciones de altiplanicie, la temperatura promedio es de 18 °C y pueden presentarse temperaturas mínimas cercanas a 0°C en ciertas épocas del año. Localidades con menor temperatura posibilita que el desarrollo vegetativo sea más largo y viceversa en condiciones de mayor temperatura. (Fuentes López, 2002)

Cuando las condiciones de temperatura son mayor al promedio (>35°C) durante el desarrollo vegetativo y especialmente en la fase de reproducción, posibilita que la planta entre en un proceso de defensa debido al estrés que provoca este efecto y ocurra disminución de la tasa de fotosíntesis, posibilita la reducción del número de óvulos y viabilidad del polen, efecto negativo en la fase de llenado de grano y puede repercutir en pérdida de rendimiento. Lo contrario puede ocurrir al observarse bajas temperaturas que pueden causar daños a la parte vegetativa y reproductiva, por consiguiente, también afectar el rendimiento. (Fuentes López, 2002)

#### d. Requerimientos del suelo

El cultivo de maíz se desarrolla bajo diferentes condiciones de suelo. La mayor dificultad de desarrollo del cultivo se encuentra en los suelos excesivamente pesados (arcillosos) y los muy sueltos (arenosos). Los primeros por su facilidad a inundarse y los segundos por la tendencia a secarse excesivamente. Sin embargo, las mejores condiciones se pueden encontrar en suelos que presenten buenas condiciones tales como textura media (francos), fértiles, bien drenados, profundos y con elevada capacidad de retención del agua. El maíz se puede cultivar con buenos resultados en suelos que presenten pH de 5.5 a 8, aunque el óptimo corresponde a una ligera acidez (pH entre 6 y 7). Un pH fuera de estos límites suele aumentar o disminuir la disponibilidad de ciertos elementos y se produce toxicidad o carencia. Con un pH inferior a 5.5, a menudo hay problemas de toxicidad por Al y Mn, con carencias de P y Mg. Con un pH superior a 8 (o superior a 7 en suelos calcáreos), tiende a presentarse carencias de Fe, Mn y Zn. (Laffite, 1994). El maíz es medianamente tolerante a los contenidos de sales en el suelo o en las aguas de riego. Las sales retrasan la nacencia de las semillas, sin afectar sus porcentajes de emergencia (un contenido de sales totales solubles de 0.5% en el suelo, o bien, 15.3 g\*L<sup>-1</sup> en la solución del suelo). Las plantas mueren cuando la concentración alcanza valores de 1.15% o 43 g\*L<sup>-1</sup>. (Fuentes López, 2002)

## B. Importancia del maíz en Guatemala

Según Fuentes López (2002), el cultivo del maíz (*Zea mays* L.) forma parte del grupo de los granos básicos que constituyen base de la dieta de la población guatemalteca por su alto contenido energético y de proteínas, cuya parte consumida es la semilla sexual. En Guatemala, las principales especies de granos básicos son el maíz, frijol negro, arroz y sorgo. Estos granos revisten una importancia especial por sus implicaciones culturales, socioeconómicas y alimentarias.

Los granos básicos son la principal fuente de carbohidratos (65%) y de proteína (71%) en la dieta de los Guatemaltecos. El principal cultivo de los granos básicos es el maíz. La contribución del maíz en la ingesta per cápita de energía y proteína es alta: 37.7% y 36.5%, respectivamente, comparado con el frijol negro que presenta valores de 9.5% y 22.9%. El consumo promedio per cápita de maíz por año es de 114 kg. Sin embargo, este valor bajo condiciones de menor ingreso económico familiar puede hasta duplicarse. El área de cultivo se realiza en aproximadamente 500,000 hectáreas para el cultivo solo y 165,000 hectáreas asociado con frijol, sorgo, ajonjolí y otros. En los últimos años se ha logrado disponer de un nivel de autosuficiencia del mercado de 96% para el caso del maíz de grano blanco, con potencial de lograr el autoabastecimiento de la demanda actual. Sin embargo, para el caso del maíz de grano amarillo se ha optado por la vía de la importación. Actualmente el área maicera dedicada a este color de grano se estima en 1% y con tendencia a desaparecer (Fuentes López, 2002).

La importancia que representa el maíz dentro de los granos básicos es indudable desde distintos puntos de vista, por tener altas implicaciones en el contexto agro socioeconómico de una gran mayoría de la población, principalmente para garantizar la seguridad alimentaria y la sobrevivencia. Los productos y subproductos que se obtienen del maíz son utilizados tanto por la población rural como urbana, siendo estos demandados para el

consumo humano, animal, transformación industrial y otros usos variados dentro o fuera de las fincas productoras. (Fuentes López, 2002)

## C. Manejo agronómico del cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

El manejo agronómico del cultivo depende de la zona en donde se realiza la actividad y está influenciada por aspectos climatológicos (precipitación, humedad relativa, temperatura), altitud sobre el nivel del mar, topografía, épocas de siembra y aspectos socioeconómicos de los agricultores. Esta situación provoca variabilidad en los componentes del rendimiento que influyen significativamente a través de localidades (Bolaños, y otros, 1997). Se presentan alternativas tecnológicas factibles de utilizar en los diferentes sistemas de producción de maíz a nivel nacional.

### 1. Preparación del terreno

Según Fuentes López (2002), se puede realizar de acuerdo con las siguientes alternativas:

#### a. Labranza convencional

Es la práctica tradicional con la utilización de maquinaria agrícola o tracción animal para la realización de las diferentes tareas agrícolas. Esta práctica agronómica, consiste en la realización de un paso de arado y dos pasos de rastra. También se puede utilizar el uso de un paso de rastra pesada (*row-plow*) y dos pasos cruzados de rastra liviana. Posterior a la labranza convencional, se realiza el surqueo que puede efectuarse con maquinaria o implementos de tracción animal, se realizar la siembra.

#### b. Labranza de conservación

Es una tecnología que contribuye a la conservación del suelo a través del manejo de residuos del cultivo anterior o rastrojos como mantillo superficial. Esta práctica no requiere de la remoción del suelo. Bajo este sistema se identifican dos alternativas:

#### c. Labranza mínima

En este tipo de labranza se consideran todas aquellas que incluyen una o más operaciones mecánicas sin incorporación total del rastrojo o residuo superficial. Previo a la siembra se destruye la maleza presente en el terreno. Se aplica un herbicida quemante para el control de la maleza.

#### d. Labranza cero

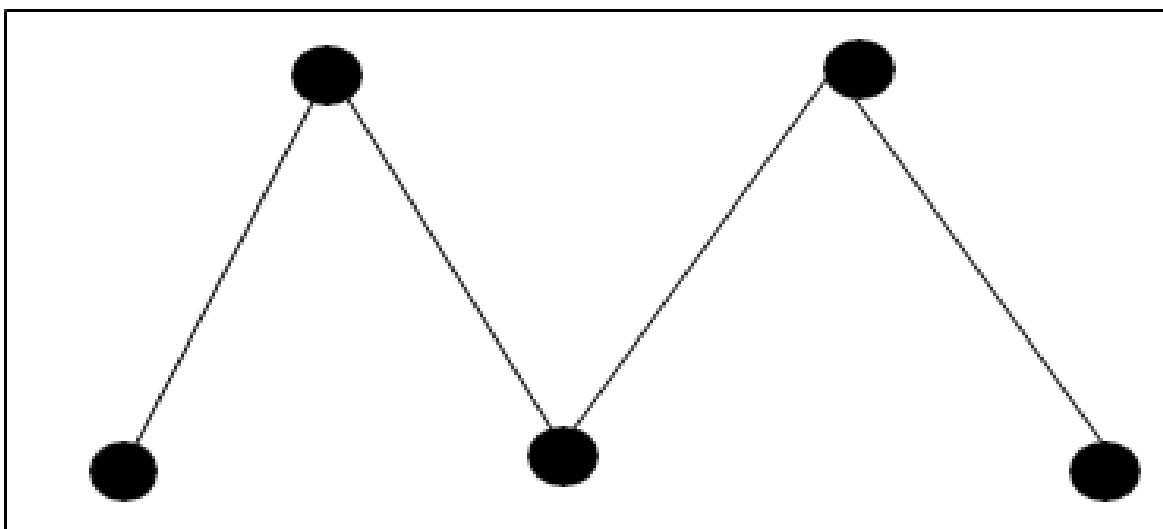
Con esta labranza solo se prepara una franja angosta o corte hecho por los discos de la máquina sembradora o por la punta del chuzo. Una semana antes de la siembra, el terreno es chapeado de manera manual (machete) o mecánica (chapeadora). Al momento de la siembra se aplica herbicida quemante.

### 2. Análisis de suelo

Se recomienda previo a realizar la siembra la toma de una muestra de suelo que sea representativa del área en donde se realizará la siembra de maíz. El muestreo se realizará a una profundidad de 20 cm y en zigzag (Figura 1). El muestreo debe de considerar condiciones homogéneas del terreno, si existen diferencias debido

a textura, manejo con otros cultivos u otro tipo de diferencias es importante definir esa área por separado de las otras. En cada área a muestrear deben de considerarse varias submuestras (5-10) y a partir de estas sub- muestras conformar una muestra compuesta. Inmediatamente de realizar el muestreo del suelo, conducir la muestra al laboratorio de suelo para el análisis respectivo. Los resultados del análisis de laboratorio permitirán planificar las fertilizaciones y ser más eficientes en el uso. (Fuentes López, 2002)

Figura 1: Representación gráfica de la dirección de toma de muestra del suelo tipo zigzag



### 3. Época de siembra

Según Fuentes López (2002), para la zona del Trópico bajo del país, se marcan dos épocas de siembra. La de primera, que se realiza durante mayo a junio que constituye la principal época de siembra y la de segunda en septiembre. Para el caso particular de zonas con áreas húmedas, por ejemplo, el parcelamiento Nueva Concepción, Escuintla, se recomiendan dos épocas de siembra una en los meses de marzo y abril (siembra de fuego) y otra en época de temporal. En zonas en donde se dispone de riego es factible la siembra en cualquier época del año.

### 4. Tratamiento a la semilla

Debido a problemas de plagas en el suelo que afectan el comportamiento de la germinación y estado de plántula de la semilla de maíz en las etapas iniciales del ciclo de cultivo y que incide negativamente en disponer de menor población de plantas por unidad de área, se recomienda aplicar producto químico insecticida que posibilita proteger a la semilla a partir del momento de la siembra y 10-15 días posteriores. Esta práctica favorece a disminuir la pérdida de plantas y favorece a disponer de buen vigor en la germinación. A nivel comercial existen diferentes opciones, entre las cuales se pueden mencionar a: Semevin (Thiodicarb) y Marshall (Carbosulfan). Se recomienda atender las recomendaciones del fabricante referente a la dosis y modo de aplicación previo a su uso en la semilla.

## 5. 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 campos de los productores. De acuerdo con 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 centímetros (cm.) entre surcos y 40-50 centímetros por postura, colocado dos y tres granos por postura en forma alterna. Bajo este sistema, se necesitan 25 o 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. (Fuentes López, 2002)

Cuadro 5: Densidad de plantas por hectárea y manzana resultante de la combinación de distancias entre plantas y surcos

No. Plantas por		Distancias entre surcos (cm)	
		75	80
Ha	Mz	Distancia entre posturas (cm)*	
53,333	37,322	50	47
57,000	39,888	46	44
60,000	41,987	44	42

\* = 2 plantas por postura

## 6. Manejo de la fertilización

Fuentes López (2002) indica que el maíz es exigente en los principales nutrientes, especialmente nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y azufre. En la mayoría de los suelos en donde se cultiva esta planta no es necesario aplicarle elementos menores tales como cobre, zinc, boro, hierro, magnesio y molibdeno, debido a que por lo general los suelos del país disponen de estos elementos o porque la demanda de estos es mínima.

### a. Nitrógeno (N)

El maíz absorbe la mayor parte del nitrógeno en forma nítrica (NO<sub>3</sub>), si bien, cuando la planta es joven las raíces pueden tomar del suelo más rápidamente las formas amoniacales. Inicialmente la absorción del N por parte de las plantas se realiza a un ritmo lento, pero cuando se aproxima el momento de la floración, la absorción de N crece rápidamente. Las deficiencias de este elemento se observan inicialmente como una clorosis marcada en las hojas más viejas de la planta y que se encuentran ubicadas debajo de la mazorca principal, si la deficiencia es severa las mismas llegan a cercarse prematuramente.

b. Fósforo (P)

La cantidad de fósforo presente en las plantas vivas es aproximadamente una décima parte de la del nitrógeno. Su presencia en el suelo en forma asimilable es de gran importancia en los estados de crecimiento vegetativo y cuando las raíces son pequeñas que no pueden llegar a las reservas de P del suelo, compiten en desventaja con los microorganismos. Una deficiencia de P en las etapas iniciales causará una formación deficiente de los órganos reproductores. Este elemento contribuye en el metabolismo de la planta joven una mejor utilización del N. La cantidad de P extraída por las plantas en condiciones normales de cultivo se acerca a los 10 kg por tonelada de grano cosechada. La deficiencia de fósforo en la planta causa enrojecimiento de las hojas y produce mazorcas pequeñas, torcidas, falta de granos debido a que la deficiencia de fósforo interfiere con la polinización y por consiguiente granos poco desarrollados.

c. Potasio (K)

El contenido de potasio en los tejidos de la planta depende principalmente de su edad. Las plantas jóvenes de maíz pueden tener entre un 4-6% de K<sub>2</sub>O sobre materia seca. En la planta adulta el porcentaje normal disminuye hasta un 2%. La velocidad de absorción del K por la planta es algo superior a la del N. La mayor parte de todo el K que necesita el maíz lo toma en los primeros 80 días de la planta. No obstante, en el primer mes, la velocidad de absorción potásica es relativamente lenta. Aunque el largo de la mazorca puede ser normal, los granos son pequeños y la punta de la mazorca es cónica, a veces faltan granos en la punta.

d. Azufre (S)

El contenido de azufre en los tejidos vegetales es similar al del fósforo. Las necesidades del azufre son pequeñas comparadas con las de otros elementos principales. La deficiencia de este nutriente se observa como una clorosis general o en ocasiones una clorosis intervenal de las hojas más nuevas de la planta. Al ocurrir deficiencia de azufre afecta la absorción de nitrógeno y provoca que la mazorca se quede pequeña y no llena adecuadamente.

## 7. Criterios para la aplicación de nutrientes en el maíz

A través de diferentes evaluaciones realizadas en el Sub-Programa de maíz en diferentes localidades de la zona del Trópico Bajo de Guatemala se ha generado información confiable que sirve de base para la interpretación y recomendación de fertilizantes para el cultivo del maíz. Así mismo, se ha documentado que la eficiencia de uso de los fertilizantes es baja en los sistemas de producción de maíz. La baja eficiencia del uso de fertilizantes está relacionada a la aplicación del fertilizante a la superficie del suelo al voleo o por posturas. Esta aplicación superficial de fuentes amoniacales puede conducir a pérdidas considerables por volatilización directa o por escorrentía y así contribuir a la baja eficiencia de uso (Larios, y otros, 1997)

a. Aplicación del fertilizante voleo vs. chuzo

Según Fuentes López (2002), se han realizado diferentes evaluaciones relacionadas al método de aplicación del fertilizante. La aplicación del fertilizante al voleo es la más generalizada por su facilidad y

rapidez. Sin embargo, al comparar esta metodología y aplicando el fertilizante por postura e incorporado, posibilita mejorar la eficiencia de uso del fertilizante e incrementa el rendimiento.

#### b. Dosis de nutrientes en el cultivo del maíz

Para Fuentes López (2002), inicialmente es deseable disponer de un análisis del suelo para determinar el contenido de los principales nutrientes del terreno, aunado a esto también se debe conocer la demanda nutricional del cultivo y de esta forma establecer la mejor fertilización para el terreno seleccionado. Para las condiciones del Trópico bajo de Guatemala por varios años se ha evaluado la respuesta del maíz a la fertilización con N, P, K y S, resultando respuestas significativas únicamente al N. Al relacionar estos resultados con los análisis económicos, se recomienda la aplicación de 100 kg de N\*ha<sup>1</sup>, 40 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>\*ha<sup>-1</sup>. y 0 kg de K<sub>2</sub>O\*ha<sup>-1</sup>, que equivale a la utilización de 4.5 qq de 20-20-0 por manzana, distribuida en dos aplicaciones. Como primera aplicación, en los primeros 10 días después de la siembra y 1.5 qq de Urea al 46% a los 35 a 40 días después de la siembra (dds). Estos niveles posibilitan maximizar los rendimientos del grano de maíz. Es importante indicar que las aplicaciones de los fertilizantes requieren que existe de suficiente humedad en el suelo.

### 8. Manejo fitosanitario del maíz

De acuerdo con el crecimiento fenológico del cultivo del maíz, este puede ser afectado por la presencia de plagas, enfermedades y malezas que pueden incidir negativamente, disminuyendo el potencial de rendimiento y productividad de este. Es importante conocer la fisiología y fenología de la planta, de las relaciones dinámicas entre sus etapas de crecimiento; así como las reacciones negativas o positivas ante la aplicación de los insumos y la implementación de prácticas culturales. Al disponer de un área de cultivo del maíz, es importante realizar un muestreo periódico en el campo que genera información valiosa con respecto a la presencia de plagas presentes, densidad poblacional, las condiciones del cultivo, las variables ambientales y la presencia y actividad de los enemigos naturales. Los métodos de muestreo varían de acuerdo con el cultivo y con su etapa fenológica, así como con las plagas, enfermedades o malezas. En el caso de problemas fitosanitarios es importante considerar los niveles de daño económico (NDE), el cual se define como la población plaga (insecto, maleza o enfermedad) en el cual el costo de su control iguala al beneficio económico esperado del mismo. La acción de control salva una parte del rendimiento, que se perdería de no haberse hecho el control. Al profundizar la práctica de muestreo para conocer en detalle lo que está sucediendo en el campo, se puede tomar una mejor decisión, así se minimiza el aumento de los costos de producción debido al excesivo uso de plaguicidas y se maximizan los ingresos. (Fuentes López, 2002)

#### a. Muestreo en el campo

Al iniciar un muestreo de campo se debe de considerar que los puntos a incluir sean representativos, a fin de garantizar que los datos sean típicos, las observaciones o mediciones se efectúan en varios sitios del campo escogidos al azar. Si deliberadamente se seleccionan lugares que el agrónomo piensa que son “representativos”, sin duda se introducirán sesgos en los resultados. Para describir un campo en particular, generalmente se promedian los datos recolectados. Si hay mucha variabilidad en el campo, es conveniente efectuar por separado mediciones en las distintas partes del campo y estimar el porcentaje de superficie que

corresponde a cada clasificación. Al identificar las áreas afectadas por un problema específico, es necesario hacer dentro de ellas otras observaciones para determinar la causa del problema (Laffite, 1994). El número de puntos de muestreo por campo comúnmente depende del tipo de datos requeridos, sin embargo, a menudo es aconsejable seleccionar por lo menos cinco a ocho sitios distintos. Se recomienda que los sitios puedan seleccionarse al caminar en zigzag a través del campo. Si el maíz está sembrado en surcos, por lo general es más fácil caminar cierto número de pasos a lo largo del surco y luego cruzar un número específico de surcos. Los puntos de muestreo no deben estar a menos de 10 pasos del borde del campo. Si el campo es pequeño e irregular, deberá ajustarse y disponer de datos que incluyan áreas buenas y malas, tratando de cubrir el máximo el campo. Todos los datos de los puntos de muestreo deben de ser anotados en una hoja de registro.

#### b. Las malezas en el cultivo del maíz

Las malezas son plantas adaptadas a crecer en las condiciones en que se siembran los cultivos y que, además de no ser objeto directo de las actividades agrícolas, perjudican las cosechas. Es decir, las malezas crecen espontáneamente en terrenos agrícolas y no tienen ningún valor de uso para el productor. Las malezas interfieren con los cultivos compitiendo por luz, agua y nutrimentos del suelo (competencia) o a través de la producción y excreción al medio ambiente de sustancias químicas tóxicas al cultivo (alelopatía). Algunas pueden ser hospedantes alternos de patógenos o insectos plagas de los cultivos y de esta forma ejercer un efecto negativo indirecto sobre la cosecha. También muchas malezas proveen refugio o alimento a los enemigos naturales de las plagas de los cultivos, por lo que su presencia puede beneficiar a la comunidad agrícola. Los hábitos de crecimiento y los ciclos de vida de las especies de malezas se asemejan a los de los cultivos con los cuales se asocian, dificultando su control. Conocer el comportamiento de la maleza y de los cultivos, provee los instrumentos básicos para conformar programas de su manejo y favorecer el desarrollo del cultivo. El principal conocimiento de los elementos dentro de la dinámica poblacional de las malezas se observa a través de la producción de semilla, su almacenamiento y conservación en el suelo, que son etapas críticas de su biología que determina su potencial de competencia con el cultivo. Según Fuentes López (2002) las principales malezas que se observan en campos de maíz son:

##### 1) *Cyperus rotundus* (Coyolillo)

Es una maleza considerada entre las más importantes por lo difícil de su control, sus altas poblaciones pueden presentar hasta 20 millones de plantas por hectárea y el desarrollo de tubérculos y bulbos basales que le permiten una activa propagación. Esta maleza pertenece a la familia de las Ciperáceas. Su dispersión y propagación se ve favorecida por el uso del arado o la rastra. El tallo erecto, de sección triangular, posee en la inflorescencia racimos de espigas de color rojizo a café púrpura. Los tubérculos poseen entre 3 y 10 yemas colocadas en espiral que pueden originar nuevas plantas o rizomas. En estado joven son blancos y blandos, que al madurar se vuelven ásperos y de color café. El bulbo basal es un tallo y produce una planta o un brote aéreo, raíces y rizomas subterráneos. La emisión de rizomas se produce a los 15 días, la formación de bulbos basales entre los 15 a 20 días y la brotación de estos entre los 20 a 25 días. A los 27 días la planta emite el tallo floral, a los 31 días ocurre la floración y a los 36 días la maduración. Esta maleza compite con el cultivo de maíz

debido a que produce un retardo de crecimiento y desarrollo inicial de las plántulas. Compite por la obtención de nutrientes, principalmente por el nitrógeno y por la disponibilidad de agua. Los primeros 20 días del desarrollo del cultivo del maíz son críticos cuando existen altas poblaciones de esta maleza y puede afectar el rendimiento provocando pérdidas del 40% (Gordón Mendoza, 2001).

## 2) *Rottboellia cochinchinensis* (Caminadora)

Es una gramínea anual originaria de la India. Está distribuida en la mayor parte de las zonas tropicales del mundo y algunas zonas templadas. Se adapta a diferentes tipos de suelos, puede alcanzar estados de desarrollo entre 1 a 4 metros de altura. Las hojas llegan a medir hasta 60 cm de largo por 3 cm de ancho y sus vainas están recubiertas por vellosidades o pubescencias que irritan la piel. Esta maleza se reproduce por semilla que se origina en una espiga y donde se presentan espiguillas sésiles (fértiles) y espiguillas pediceladas (estériles). Las semillas germinan de manera escalonada debido al fenómeno de latencia, que está relacionada con sustancias inhibitorias de la germinación. Una vez rota la latencia, las semillas emiten al término de cuatro a cinco días el coleóptilo, dando lugar al desarrollo vegetativo. El macollamiento se inicia aproximadamente en la tercera semana (cuando la maleza tiene 5 hojas). En las etapas más tempranas, la maleza produce de una a cinco macollas por día y continúa por 44 días, hasta alcanzar en promedio 100 macollos. Posteriormente, ocurre la formación de la hoja bandera y eventualmente la emergencia de la punta de la inflorescencia. El período de maduración de las espiguillas toma un mes. La maduración de la semilla puede apreciarse por el cambio de color verde a marrón de la porción de la espiguilla que se desprende. Las altas infestaciones de esta maleza pueden reducir el rendimiento del maíz hasta en un 80%. Además de la competencia con el cultivo, la caminadora es hospedante alternativo del virus del rayado fino del maíz (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1990).

## 3) *Sorghum halapense* (Zacate Jhonson)

Es una planta perenne, los tallos de tipo erectos miden hasta dos metros de alto y salen de rizomas de color morado, con escamas, sin ramificaciones; los mismos son glabros, sólidos y de nudos aplanados. Las hojas son planas, estrechas en la base, y son anchas hacia el centro, con orillas aserradas y una vena central ancha de color más claro que la hoja. Las vainas son más cortas que los entrenudos, glabras o con el collar pubescente. La inflorescencia es solitaria y terminal en forma de pirámide, la ramificación es verticilada. Las espiguillas se presentan de uno a cinco pares pegadas a las ramitas; la desarticulación ocurre en la base de cada entrenudo y en el ápice del pedicelo. Tiene espiguillas sésiles y pediceladas. El zacate Jhonson se produce por rizomas y semillas. Es una planta hospedera del hongo *Pyricularia oryzae*, causante del añublo del arroz y de la mosquita de la panoja del sorgo (*Cantarina sorghicola*).

## 4) *Amaranthus spinosus* L (Bledo)

Son plantas anuales o perennes de la familia Amaranthaceae. Es de vigoroso crecimiento, ramificada, de 0.40 a 1.5m de altura. Su tallo es rojizo y espinoso, se propaga por semilla sexual. Las plantas jóvenes son fácilmente destruidas con el control manual y puede resultar un serio problema al momento de la cosecha.

### 5) *Ipomoea* spp (Batatilla)

Son enredaderas anuales de la familia Convolvulaceae. De tallo cilíndrico, herbácea y trepador. Las hojas pueden ser de ovaladas a casi circulares o acorazonadas. Las flores son grandes y acampanadas, solitarias de varios colores (azul, rojo, blanco, púrpura). Se propaga por semilla sexual. Su carácter trepador dificulta su control. Puede resultar un problema al final del período del cultivo, llegando a causar graves inconvenientes al momento de la cosecha.

### c. Manejo de malezas en el cultivo del maíz

Las malezas compiten con las plantas de maíz durante su crecimiento. La mayor competencia se observa en los primeros 35-40 días después de la siembra. El manejo de las malezas ocupa una gran cantidad de mano de obra en los diferentes sistemas de producción de maíz, lo que provoca incremento en los costos de producción. Generalmente la deshierba se realiza con el paso de 2 o 3 limpiezas como promedio a lo largo del ciclo de cultivo, utilizando azadón o machete. En sistemas de producción de mayor disponibilidad de recurso, las limpiezas mecánicas se realizan con tracción animal o uso de cultivadoras. La eficacia del control depende de la maleza presente y factores agroclimáticos observados en la región. Existen diferentes opciones de control de malezas en los sistemas de producción de maíz, tales como:

#### 1) Control mecánico

El control de malezas mecánico consiste desde el uso de herramienta básica como machete, azadón, uso de equipo con tracción animal y utilización de maquinaria agrícola como arado, rastra y cultivadora. Dependiendo de las condiciones del suelo, es conveniente iniciar la preparación del suelo con un paso de arado, lo cual posibilita la desecación de tubérculos de coyolillo al quedar en la superficie. Generalmente, el cultivo del maíz requiere de dos limpiezas manuales o con el uso de maquinaria. El control manual, en su mayor parte, lo utilizan pequeños agricultores y de escaso recurso económico. Dependiendo de las condiciones agroclimáticas, tipo de suelo, se recomienda en general dos limpiezas, las cuáles se realizan entre los 15 dds y la segunda a los 30 dds.

#### 2) Control químico

El uso de herbicidas constituye una herramienta muy importante para el control de malezas. El uso de atrazinas en aplicaciones de preemergencia o postemergencia temprana al cultivo y las malezas es el más común. Esta práctica se complementa con controles de tipo manual o mecánico. En el Cuadro 6, se presenta un listado de opciones de tratamientos químicos recomendados en la literatura para el control de malezas en el cultivo del maíz.

#### 3) Control cultural

Esta práctica considera el uso de semilla de buena calidad, manejo adecuado de la fertilización y control de plagas adecuado que permita un desarrollo vigoroso del cultivo. La densidad de siembra debe ser óptima para lograr una buena población de plantas de crecimiento vigoroso y obtener a tiempo una buena cobertura del suelo. Otra práctica que posibilita el manejo de malezas y disminuir su presencia en los campos lo constituye

la siembra de leguminosas de cobertura, tal como la *Mucuna* spp. Esta leguminosa se siembra como un cultivo en relevo del maíz durante un ciclo de cultivo, produce suficiente biomasa y por la cobertura y sombreado que produce sobre la maleza, posibilita disminuir su presencia. Además, esta leguminosa contribuye al aporte de N al suelo por la fijación biológica y constituye un aporte significativo en materia orgánica al suelo.

d. Herbicidas para el control de malezas

En el Cuadro 6 se presentan alternativas de uso de herbicidas a nivel comercial utilizados para el control químico de malezas que posibilita el control de las principales malezas que compiten con el maíz.

Cuadro 6: Herbicidas químicos recomendados por la literatura para el control de malezas en el cultivo del maíz.

Nombre Común	Nombre comercial	Dosis	Tipo de maleza	Época de aplicación
Atrazina	Gesaprim 80 WP Atrazina	3 lb*mz <sup>-1</sup>	Hoja ancha y algunas gramíneas anuales	Pre o post emergencia temprana
Paraquat	Gramoxone	1.5-2 L*mz <sup>-1</sup>	Hoja ancha y algunas gramíneas anuales	Pre o post emergencia Juntamente con aplicación atrazina.
Glifosato	Round-up, Rival, Round-up Max, Glifosato	1-1.5 L*mz <sup>-1</sup>	Perenne, ciperáceas	Preemergencia
2,4-D Amina	2, 4-D Amina	1-1.5 L*mz <sup>-1</sup>	Hoja ancha	Pre o post emergencia temprana

e. Manejo de insectos en el cultivo del maíz

Se informará especialmente sobre las plagas primarias de mayor importancia económica que afectan al cultivo del maíz. Existen también plagas secundarias de poco interés económico. Sin embargo, cuando se realizan prácticas agronómicas y se abusa de la aplicación de los plaguicidas puede ocasionar presión sobre las plagas secundarias y estas convertirse en plagas de importancia económica.

1) *Phyllophaga* spp (Coleóptera: Scarabaeidae) (Gallina Ciega)

Se considera como una de las principales plagas del suelo. Varias especies de *Phyllophaga* se alimentan de material vegetativo en descomposición y solo unas pocas constituyen plagas de las raíces de las plantas. Existen especies de ciclo anual y bianual. El ciclo de vida inicia con la fase de huevo, generalmente se localizan de 10-14 huevos por postura. El estado larvario tiene una duración de 8-24 meses dependiendo de la especie, pasa por tres estadios. La longitud varía entre 25-40 mm, cuerpo en forma de “C” de color blanco cremoso, cabeza prominente café amarillenta, mandíbulas fuertes, patas traseras peludas y desarrolladas. Las larvas empupan en una celda que hacen en el suelo. La pupa es café claro. Los adultos de mediano a grandes son de color café oscuro a naranja café, emergen y vuelan poco después de las primeras lluvias y son atraídos fuertemente por la luz artificial. El daño lo producen las larvas en el tercer estadio y se manifiesta en el campo en forma de parches o manchas, generalmente al inicio de las siembras y especialmente en junio a octubre, con ciertas variaciones. La correcta preparación del suelo previo a la siembra posibilita a disminuir la presencia de larvas en el suelo. También se recomienda combinar esta práctica con el control químico en aplicaciones preventivas realizadas poco antes o al momento de la siembra, con insecticidas granulados al suelo. Se

recomienda el uso de insecticidas como el Volatón 5% granulado, a una dosis de 80 libras por manzana o Volatón 5% en polvo, a una dosis de 100 libras por manzana. Estos productos se aplican al voleo o incorporadas con el paso de la rastra o bien al momento de la siembra, aplicado en cada postura. Otra práctica muy conveniente es la utilización de insecticidas tratadores a la semilla que contribuyen a proteger la semilla entre 15-20 días posterior a la siembra (por ejemplo, el uso de: Semevin, Barredor, Marshall). La dosis varía según el producto y la concentración, se sugiere atender la recomendación del fabricante previo a su utilización en la semilla. Al observarse la presencia de posturas afectadas, se recomienda la aplicación dirigida de insecticida al pie de la planta y quitando la boquilla de la bomba aspiradora. Se puede utilizar aplicaciones de Volatón líquido, a una dosis de una o dos medidas Bayer por bomba de cuatro galones de agua. El uso de trampas de luz artificial para atraer a los adultos y el uso de fuego con el mismo fin, son otras alternativas de control. La destrucción de malezas con laboreo o herbicidas meses antes de la siembra puede ayudar a reducir los daños.

## 2) *Dalbulus maydis* (Homóptera: Cicadellidae) (Chicharrita del maíz)

Es un insecto de hábitos alimenticios chupador y con capacidad de transmitir enfermedades distintas con sintomatología parecida que constituyen limitantes de la producción de maíz. El insecto está distribuido a partir del sur de Estados Unidos, Centro y Sur América y El Caribe. Habita desde el nivel del mar hasta los 2000 msnm. Aparentemente, este insecto está restringido al género *Zea*. En los últimos años en Guatemala se ha cuantificado la dispersión de la población insectil en diferentes zonas maiceras. Ciclo de vida: Los huevos aparecen colocados en hileras pegadas de hasta 8, entre las venas de las hojas del cogollo y algunas veces entre las láminas de las hojas jóvenes. La ninfa, de color amarilla traslúcida, pasa por cinco estadios. Se alimenta de las bases de las hojas del cogollo, entre las hojas, o del tallo en la parte inferior de la planta. El adulto mide de 3-4 mm, es de color amarillo con dos manchas redondas de color negro sobre el vértice de la cabeza, sus alas delanteras son traslúcidas. Los adultos y ninfas chupan la savia de la base de las hojas. Son vectores del achaparramiento del maíz (CSS. MBS) y del Virus del Rayado Fino (Henríquez & Jeffers, 1995; Gordón, Camargo, Gracia, Franco, & González., 1995). La severidad del daño dependerá de lo temprano que ocurra la inoculación. En Guatemala la ampliación del período de siembra, las siembras tardías junto a condiciones de sequía favorecen el desarrollo de la plaga. El control de la plaga presenta diferentes dificultades, sobre todo por la facilidad que tiene el insecto para desarrollar resistencia a los insecticidas de uso común, por lo que la mejor alternativa que se presenta es el desarrollo de tolerancia genética en los cultivares a utilizar.

## 3) *Spodoptera frugiperda* (Lepidóptera: Noctuidae) (Gusano cogollero)

Esta plaga es considerada de amplia dispersión en la zona maicera, pero de importancia variable, ya que ciertas zonas son más susceptibles al daño que otras. El daño lo inicia la larva joven haciendo ventanitas en las hojas. Las larvas grandes se alimentan vorazmente del cogollo haciendo agujeros grandes e irregulares, dejan como huella abundante excremento. El cultivo es afectado en todas sus etapas, al nivel de plántula como cortador y al llenado de grano como elotero. La flor masculina puede ser dañada hasta resultar en una disminución del polen que incidirá negativamente en la producción. Ciclo de vida: Los huevos son colocados en grupo de hasta 300, en cualquier parte de la superficie foliar, cubiertos con escamas grises rosadas del

abdomen de la hembra en oviposición, lo que le da una apariencia de pelusa. La larva pasa por 5 a 6 estadios dependiendo de la temperatura y del tipo de alimento. Los primeros estadios son de color verde con manchas y líneas negras dorsales; después cambian a verde con líneas especulares y dorsales negras, café beige o casi negra. Cuando las larvas recién eclosionadas emigran a los cogollos, el canibalismo las reduce a una o dos por planta. En estadios avanzados pueden comportarse como gusano soldado, pasando a otras gramíneas u otros cultivos. Empupan en el suelo, raras veces en las hojas de las plantas hospederas. El adulto tiene una longitud de 32 a 38 mm; la hembra tiene alas delanteras de color gris a café gris, el macho es de color beige, con marcas oscuras y rayas pálidas en el centro de las alas traseras. Como alternativas de tipo cultural para el control del gusano cogollero se consideran la uniformidad en la fecha de siembra para evitar reinfestaciones, siembras en alta densidad en compensación por la mortalidad de plántulas, fertilización adecuada. El uso de labranza mínima reduce la infestación de esta plaga. El control químico, como alternativa inmediata del agricultor, se basa en el uso de insecticidas aplicados al suelo antes o a la siembra. Cuando se realiza el control preventivo al cogollo, se recomienda la utilización de Volatón 2.5% granulado en dosis de 10-15 Lb\*Mz<sup>-1</sup>.

#### 4) *Helicoverpa zea* (Lepidóptera: Noctuidade) (Gusano Elotero)

Es una plaga que afecta a ambos órganos sexuales de la planta, el gusano elotero es el insecto que más daño le causa a la mazorca. Los huevos son ovipositados en los estigmas en donde inicia su ciclo de vida. Las larvas comienzan a alimentarse de los estigmas o cabellos de la mazorca, hasta que sus mandíbulas y capacidad de movimiento le permiten penetrar a la mazorca, perforándola y haciendo túneles en las hileras de los granos. Estos túneles permiten que la humedad penetre a la mazorca y que esta se contamine con hongos y que los granos se pudran. El control se puede realizar con la aplicación de insecticidas líquidos tales como: Volatón líquido y Lannate en polvo. Las dosis son: 1-1.5 litros por manzana (L\*Mz<sup>-1</sup>).

#### 5) Araña Roja (Acarina: Tetranychidae)

En los últimos años esta plaga ha causado pérdidas económicas en el cultivo del maíz. Las principales características del género *Tetranychus* es de color verde manchado, produce abundante tela y se localiza en el envés de las hojas. Cuando las poblaciones son altas, aparecen también sobre el haz. Estos ácaros producen dos tipos de daño en el verano. En un ataque temprano las hojas de las plántulas tienden a perder la turgencia y presentan manchas amarillas. Si el ataque es severo, hay clorosis total, necrosis y retardo del crecimiento de las plántulas. En un ataque tardío, las hojas más afectadas con las medias y las bajas. Generalmente se clasificaban para los ácaros como plagas secundarias, sin embargo, por los desbalances climatológicos, uso inadecuado de plaguicidas dirigidas a otras plagas se han convertido en los últimos años como una plaga con potencial de daño económico. Es importante investigar sobre su biología, ecología y explorar el manejo integrado de la plaga que favorezca su control.

#### f. Manejo de enfermedades en el cultivo

La incidencia y severidad de las enfermedades en el maíz está relacionada con las condiciones climáticas que rodean al cultivo y al manejo que se provea al mismo. La precipitación pluvial, temperatura y humedad

relativa que favorecen al cultivo, también posibilita el desarrollo de hongos y bacterias y el manejo que se le da lo condicionaran para que pueda tolerar o no la incidencia de estas enfermedades.

#### 1) Enfermedades del follaje

Fuentes López (2002), presentan las principales enfermedades que se presentan en las diferentes zonas maiceras de Guatemala:

##### a) Achaparramiento del maíz

Esta enfermedad es causada por un complejo de patógenos. Entre los cuales están el espiroplasma del achaparramiento del maíz: *Spiroplasma kunkeli*, que produce la enfermedad “*Corn Stunt Spiroplasma*” (CSC) y el Fitoplasma *Maize Bushy Stunt* (MBS), también denominado Enanismo Arbustivo del Maíz y el virus del Rayado Fino (MRFV). Estos patógenos son transmitidos por la Chicharrita del maíz *Dalbulus maidis*. El área de distribución de la enfermedad se ubica en la zona del Trópico y Sub-Trópico. Los síntomas en la planta de la planta pueden variar y generalmente no son un indicativo para diagnosticar el patógeno presente en la planta. Se requiere de pruebas de laboratorio, tales como: ELISA y técnicas de la Reacción de la Cadena de Polimerasa (PCR) para definir con exactitud el patógeno presente (Henríquez & Jeffers, 1995). La sintomatología común es: Clorosis de las hojas jóvenes, las puntas se tornan gradualmente a un color rojo purpura. A medida que se aproxima la madurez, las plantas muestran macollamiento excesivo, color rojizo y clorótico. Las yemas auxiliares se desarrollan formando mazorcas estériles. También se presenta un enanismo debido a que los entrenudos se acortan por lo que la planta queda enana o achaparrada. Hay plantas que tienen pocas raíces, mientras que otras tienen abundante debido a su excesiva ramificación. Los casos severos inducen a una baja producción de grano, o el mismo queda muy harinoso el cual es de muy bajo peso específico. En infecciones severas la planta puede morir prematuramente.

##### b) *Helminthosporium maydis* y *H. turcicum* (Tizón Foliar)

El *H. maydis* provoca lesiones en el área foliar del maíz que cuando son jóvenes son pequeñas y romboides. A medida que maduran se alargan, pero el crecimiento se ve limitado por las nervaduras adyacentes, de manera que la forma final de la lesión es rectangular de 2-3 cm de largo. Las lesiones pueden fusionarse, llegando a producir la quemadura completa de un área foliar considerable. *H. turcicum* presenta síntomas iniciales consistentes en manchas pequeñas, ligeramente ovales y acuosas que se producen en las hojas y que son reconocibles fácilmente. Estas lesiones se transforman luego en zonas necróticas alargadas y ahusadas. Las lesiones aparecen primeramente en las hojas más bajas y continúan aumentando de tamaño y en número a medida que se desarrolla la planta, hasta llegar a producir una quemadura completa y conspicua del follaje. Estas enfermedades están generalizadas en zonas maiceras cálido-húmedas. Para causar infección el *H. maydis* requiere temperaturas ligeramente más altas que *H. turcicum*, no obstante, ambas especies se encuentran a menudo en la misma planta. Así mismo, estas enfermedades cuando se presentan durante la aparición de los estigmas y si las condiciones son óptimas pueden causar un daño económico de consideración.

c) *Puccinia sorghi*, *Puccinia polysora*, *Physopella zeae* (Royas del maíz)

Son diferentes enfermedades que afectan a la parte foliar de la planta de maíz. La *P. sorghi*, es una enfermedad ampliamente distribuida en las zonas maiceras. La roya común se presenta con mayor incidencia al momento de la floración del maíz. Puede ser reconocida por las pústulas pequeñas y pulverulentas, tanto en el haz como en el envés de las hojas. Las pústulas son de color café en los estadios iniciales de la infección. Mas tarde la epidermis se rompe y las lesiones se tornan de color negro a medida que la planta madura. La *P. polysora* presenta pústulas más pequeñas, de color más claro y más circulares. También se encuentran en ambas caras de las hojas, pero la epidermis permanece intacta por más tiempo. Las pústulas se tornan de color café oscuro a medida que las plantas se acercan a la madurez. Esta enfermedad se presenta en las regiones cálidas y húmedas. La *P. zeae* o Roya Tropical, presenta brotes esporádicos y restringidas a regiones tropicales. Las pústulas varían desde formas redondas a ovals. Son pequeñas y se les encuentra debajo de la epidermis. En el centro de la pústula la lesión aparece de color blanco a amarillo pálido a veces rodeada de un color negro, pero su centro permanece de color claro. En general, la mejor alternativa de control de estas enfermedades foliares es el uso de genotipos tolerantes.

d) *Curvularia lunata* y *C. pallescens* (Mancha Foliar por curvularia)

Esta enfermedad la produce un hongo que presenta manchas pequeñas cloróticas o necróticas con un halo de color claro. Las lesiones tienen un diámetro aproximado de alrededor de 0.5 cm cuando están completamente desarrolladas. La enfermedad está generalizada en las áreas maiceras cálido-húmedas y pueden causar daños considerables a los cultivos.

e) *Physoderma maydis*

La presencia de esta enfermedad se manifiesta con pequeñas manchas amarillentas (oblongas o redondas) en la nervadura de las hojas y en la base del tallo que son los síntomas iniciales. Luego éstas se tornan de color café, color característico. La forma de la mancha es irregular. Los síntomas característicos son una mancha café en los peciolo y tallos de la planta, así como una clorosis en las hojas infectadas. Esta enfermedad está relacionada con la presencia de alta humedad relativa, precipitación y temperatura que favorece a su desarrollo. Las medidas de control de esta enfermedad básicamente requieren en uso de genotipos tolerantes y eliminación de los residuos de la cosecha.

2) Enfermedades que causan pudrición de la mazorca

El problema de pudrición de la mazorca en las áreas tropicales es de importancia económica. Estas pudriciones causan daños considerables en las zonas húmedas, especialmente cuando la precipitación es excesiva en el período de llenado de grano a la cosecha. La pudrición de la mazorca puede incrementarse por diferentes factores, tales como: Daño que puedan provocar aves e insectos al tallo y la mazorca. El acame de las plantas provoca que las mazorcas estén en contacto con el suelo y la mala cobertura de la mazorca. La

principal problemática derivada de la pudrición de la mazorca es que afecta la calidad, inocuidad del grano y reduce el rendimiento por unidad de área.

a) *Gibberella zeae* y *G. fujikuroi* (Pudriciones de mazorca por *Gibberella*)

Estas dos especies de hongos causan pudriciones de la mazorca, pudriciones de tallo y tizón en las plántulas. *G. zeae* es más común en áreas frescas y humedad y produce un color rojizo y rosado de los granos infectados, comenzando con los de la punta de la mazorca. *G. fujikuroi* es conocida como la pudrición del grano por fusarium. Posiblemente es el patógeno más común de la mazorca del maíz a nivel mundial, tanto en ambientes húmedos y calientes, como ambientes secos. Los granos infectados desarrollan un moho algodonoso y pueden germinar estando aún en la mazorca (germinación prematura). Cuando la infección es tardía, los granos muestran rayas en el pericarpio. Estos hongos producen compuestos orgánicos tóxicos para mamíferos y aves.

b) *Diplodia maydis*, *D. macrospora* (Pudrición de la mazorca por *Diplodia*)

En las zonas cálidas y húmedas se presenta como parte del complejo “pudrición de mazorcas”. El hongo invade la mazorca, produciendo áreas descoloridas en las brácteas, que se secan con el tiempo aun cuando la planta está todavía verde. Al descubrir la mazorca, ésta se nota con color amarillento claro y crecimiento algodonoso blanco entre los granos. Posteriormente se forman picnidios negros, que son la fuente del inóculo. En zonas frescas y húmedas se presentan como pudrición del tallo, en donde las variedades susceptibles desarrollan una coloración café en el centro de los entrenudos inferiores. Las plantas se debilitan y quiebran fácilmente cuando hay lluvia y vientos fuertes. Se estima que la pérdida que causan estos hongos a nivel de agricultor puede oscilar entre 14- 80%. Como medida preventiva para disminuir la incidencia de estas enfermedades es utilizar semilla mejorada de genotipos que presenten tolerancia a este tipo de estrés.

c) *Aspergillus* spp (Pudrición de la mazorca por *Aspergillus*)

Esta enfermedad puede constituir un problema serio cuando las mazorcas infectadas son almacenados con un alto contenido de humedad. Varias especies de *Aspergillus* pueden infectar al maíz en el campo. *A. niger* es la más común produciendo masas pulverulentas negras de esporas que cubren tanto los granos como el olote (raquis). En contraste, *A. glaucus*, *A. flavus* y *A. ochraceus* desarrollan normalmente masas de esporas amarillo-verdosas. La mayoría de las especies de *Aspergillus* producen compuestos orgánicos llamados aflatoxinas, que son tóxicas a mamíferos y aves.

g. Plagas en el almacenamiento

La mayoría de los agricultores almacén el grano para su autoconsumo. Este procedimiento lo realizan en diferentes sistemas de almacenamiento, que incluye troja, costales y silos. Las pérdidas en la fase de almacenamiento se incrementan debido a la asociación de otros factores, tales como: malos procedimientos de secado del grano, alta humedad del grano en la zona de almacenamiento, alta humedad relativa, instalaciones inadecuadas, mínimo uso de productos químicos que posibilite preservar al grano. En términos generales se ha

documentado que las pérdidas en almacenamiento pueden llegar al 18% (Postcosecha, 1992), lo cual constituye un factor limitante a nivel de productor de grano.

1) *Sitotroga cerealella* (Palomilla dorada del maíz)

Los gusanos jóvenes penetran en el grano y se alimentan en su interior. Este insecto también puede infestar el cultivo en el campo antes de la cosecha. Las pequeñas palomillas amarillentas o color paja, que miden casi un centímetro y tienen un fleco a lo largo del margen posterior de las alas, se observan volando alrededor de los almacenes infestados. Su presencia es especialmente evidente si se mueven las mazorcas o el grano almacenado. Las palomillas tienden a poner sus huevos semejantes a escamas en grupos que cambian de blanco a rojo al acercarse la eclosión, entre dos superficies próximas (por ejemplo, entre el grano y las glumas atrofiadas en la base de este). Las larvas recién nacidas son diminutas y blancuzcas. En su último estadio como larvas justo antes de formar pupas, las larvas preparan una salida circular para la palomilla, dejando la pared externa de la semilla solo parcialmente cortada para que sirva de tapa de agujero.

2) *Sitophilus zeamais* (Gorgojo de los granos)

Estos insectos pueden infestar el grano almacenado o las mazorcas de maíz antes de la cosecha. Al quitar las brácteas de las mazorcas en el campo se observan los gorgojos y las picaduras irregulares que estos hacen en los granos al alimentarse o al desovar. En los granos desprendidos de las mazorcas es fácil encontrar las galerías filamentosas que hacen los gusanos gruesos y blancuzcos en el interior del grano. Las larvas se transforman en pupas dentro del grano.

## 9. Manejo post cosecha

El éxito de la fase de almacenamiento depende del manejo que se le pueda dar al grano en la fase de campo. Es importante indicar que la cosecha del grano pueda realizarse dentro del período de madurez de la variedad en uso. Cualquier atraso en la cosecha aumenta la posibilidad de daño postcosecha, debido a la infestación de insectos y hongos que dañan la calidad del grano. Una buena práctica de almacenamiento se inicia con la realización de la dobla y cosecha en el momento oportuno. Para la realización de esta actividad, se debe tomar en cuenta el ciclo de la variedad o híbrido, y se realiza la dobla al llegar la planta a su madurez o camagua. Esta fase se puede determinar realizando un muestreo del grano y cuando este al desgranarlo presenta la capa negra. La cosecha se puede realizar a los 30 días después de la dobla. Es importante indicar que el adecuado secado del grano posibilita minimizar el problema de plagas y enfermedades en el almacenamiento. Se recomienda almacenar el grano con humedad inferior al 14% y realizar aplicaciones preventivas de insecticidas, que posibilite el menor desarrollo de poblaciones de insectos.

## D. Características del híbrido doble comercial HB 83 Mejorado

Híbrido doble de grano blanco, cuya altura de planta y la posición de la mazorca es en promedio de 1.24 y 2.11 metros, respectivamente. El grano es de textura semidentada. Por la buena posición de la mazorca y desarrollo radicular posibilita ser menos afectada por fuertes vientos que causan el acame de plantas. Las plantas se pueden doblar a los 90 días y cosechar a los 120 días. El rendimiento comercial promedio obtenido a través

de parcelas de validación en el 2002 fue 78 quintales por manzana, dependiendo de las condiciones ambientales y manejo agronómico. Este híbrido superó en rendimiento al HB83 en 17%. Bajo condiciones de riego y buen manejo agronómico, este híbrido puede tener potencial de producción hasta de 100 quintales por manzana. Este híbrido a partir del 2003 estará sustituyendo al HB-83, debido a que presenta mejores características agronómicas tanto a nivel del híbrido comercial como también en los progenitores que conforman este genotipo y que favorecen a mejorar la producción y productividad en el proceso de formación de semilla certificada. (Fuentes López, 2002)

## E. Arreglos topológicos

Para Zanabria Cruz (2015), el término topología se refiere al análisis *situs* o análisis de posición. La palabra "topos" proviene del griego y significa "lugar". La topología es una rama muy importante de las matemáticas. Estudia aquellas propiedades de los objetos geométricos que tienen que ver con la "proximidad", número de agujeros y la "posición relativa" entre puntos. También Zanabria Cruz, en comunicación personal con el Ing. Edwin Argueta de ICTA afirma que el arreglo topológico en la siembra se define como la distribución de las plantas en la superficie sembrada, cantidad y disposición de estas en un terreno. En el caso de la agricultura, los arreglos topológicos se refieren a la distribución de las plantas en un área determinada, especialmente considerando los anchos de surcos y las distancias entre plantas. También se dice que el arreglo topológico es la forma o el orden en la que se posicionan las plantas en una superficie de terreno.

### 1. Arreglos topológicos en el cultivo de maíz

Fundación Produce Sinaloa, A.C., México, ha apoyado al Centro de Validación de Transferencia de Tecnología de Sinaloa (CVTTS), en la búsqueda de opciones tecnológicas para validarlas y posteriormente transferirlas a los productores, tal es el caso del proyecto de métodos siembra, que inició en el otoño-invierno de 2004-2005. Mediante el manejo de siembras en surcos angostos (50 cm); de doble hilera, en surcos de 75 y 80 cm, se presenta un cierre anticipado del cultivo, pues al modificarse la distribución espacial de las plantas se reduce el sombreado mutuo entre las hojas durante su etapa de expansión, lo que logra una cobertura del suelo más rápida. Esta cobertura más temprana permite lograr mayor eficiencia en la intercepción de la luz, del suelo y nutrientes en el cultivo, respecto de la eficiencia lograda con las siembras en surcos convencionales de hilera sencilla, con separación a 75 y 80 cm. El método permite incrementar la densidad de plantas por hectárea, al manejar poblaciones que van desde 100,000 hasta 125,000 plantas, para brindarles una mejor distribución en el terreno. La siembra se realiza con una sembradora de doble hilera o, bien, con una sembradora convencional de siembra en hilera sencilla para surcos a 50 cm. Esta tecnología permite, además, obtener una disminución de los problemas de acame (caída de plantas) y plantas improductivas, que se traduce en mayores rendimientos por hectárea. Cabe resaltar que la respuesta productiva de cada híbrido es variable en función de la estructura y de la fisiología de la planta, por lo que los niveles de incremento en rendimiento son directamente proporcionales al grado de adaptación de cada material. (Luque Sainz, 2011)

## V. METODOLOGÍA

### A. Ubicación

La investigación se estableció en el Campo Experimental de la Universidad del Valle de Guatemala Campus Sur, el sitio se ubica a 297 msnm en el kilómetro 92.5 de la carretera a Mazatenango en lo que es la Finca Camantulul del Municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala (Figura 2). Coordenadas geográficas: 14.331446, -91.059705. Según Climate-Data.org (2019) el municipio tiene un clima tropical. La mayoría de los meses del año están marcados por lluvias significativas. La corta estación seca tiene poco impacto. El clima aquí se clasifica como Am por el sistema Köppen-Geiger. La temperatura media anual es 25.7 ° C en Santa Lucía Cotzumalguapa. La precipitación es de 3,156 mm al año. La menor cantidad de lluvia ocurre en enero, con un promedio de 12 mm. La mayor cantidad de precipitación ocurre en septiembre, con un promedio de 574 mm. Las temperaturas son más altas en promedio en abril, alrededor de 26.7 ° C. Las temperaturas medias más bajas del año se producen en enero, cuando está alrededor de 24.7 ° C. La variación en la precipitación entre los meses más secos y húmedos es 562 mm. La variación en las temperaturas durante todo el año es 2.0 ° C.

Figura 2: Vista satelital de Campo Experimental Agrícola de Universidad del Valle Campus Sur.



### B. Material experimental

Se utilizaron 3,500 semillas certificadas de maíz de las variedad ICTA HB-83 Mejorado para esta investigación.

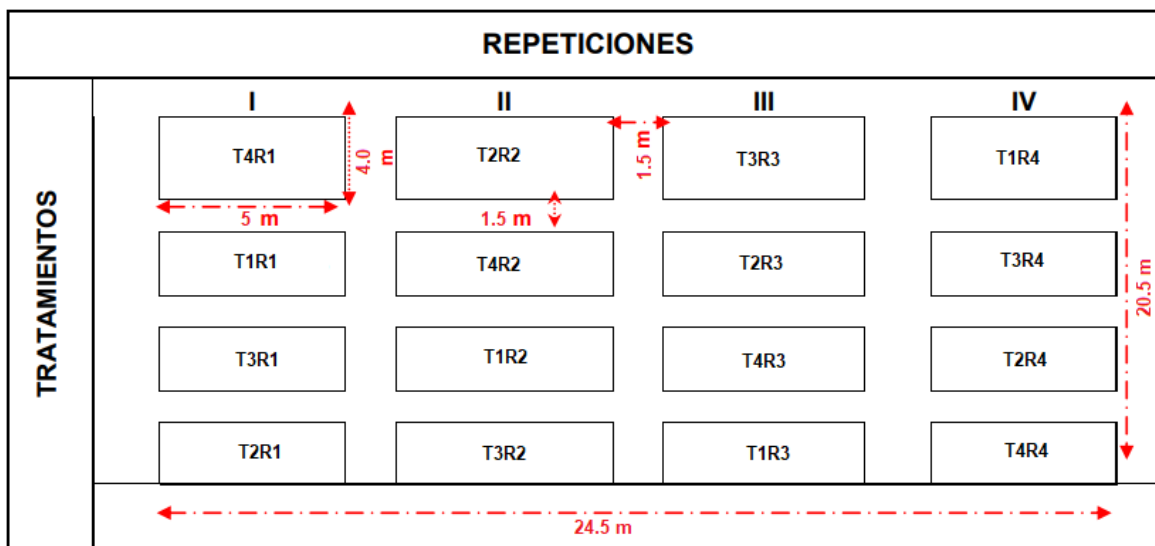
### C. Diseño experimental

Se realizó un ensayo con un diseño experimental de bloques completos al azar, donde los tratamientos correspondieron a los cuatro distintos tipos de distanciamientos y cada uno a su vez tuvo cuatro repeticiones.

### D. Croquis de campo

La distribución de los tratamientos en el campo se muestra en la Figura 3.

Figura 3: Croquis de campo para el diseño experimental.



### E. Tratamientos

Los tratamientos en sí consistieron en cuatro arreglos topológicos de siembra que se conformaron como lo muestra el Cuadro 7.

Cuadro 7: Tratamientos evaluados

Tratamiento	Descripción
T1	Siembra en surcos de 80 cm con doble hilera (60 y 20 cm) y 20 cm entre plantas. Una semilla por postura. Equivalente a 125,000 p*ha <sup>-1</sup> . (Figura 4)
T2	Siembra en surcos a 50 cm y 6 semillas por metro lineal. Equivalente a 120,000 p*ha <sup>-1</sup> . (Figura 5)
T3	Siembra en surcos de 1.5 m con doble hilera (60 y 90 cm) con 9 semillas por metro lineal. Equivalente a 120,000 p*ha <sup>-1</sup> . (Figura 6)
T4	Siembra en surcos a 75 cm y 40 cm entre plantas. Dos semillas por postura (método tradicional). Equivalente 66,666 p*ha <sup>-1</sup> . (Figura 7)

Figura 4: Tratamiento 1.

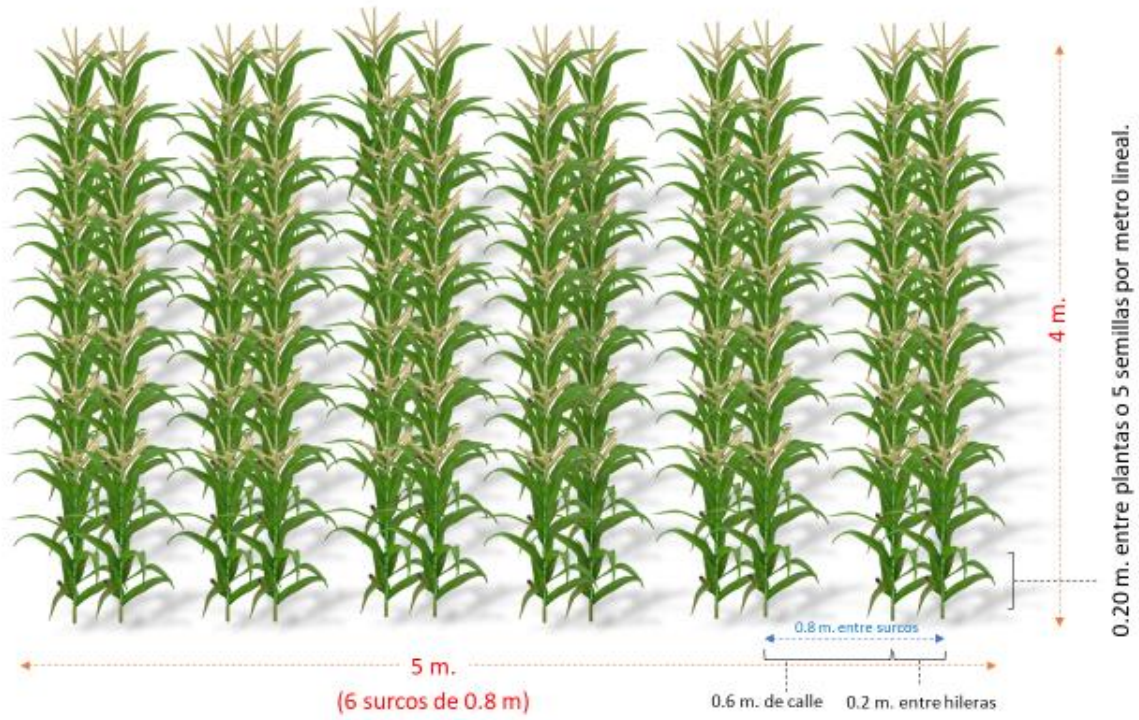


Figura 5: Tratamiento 2.

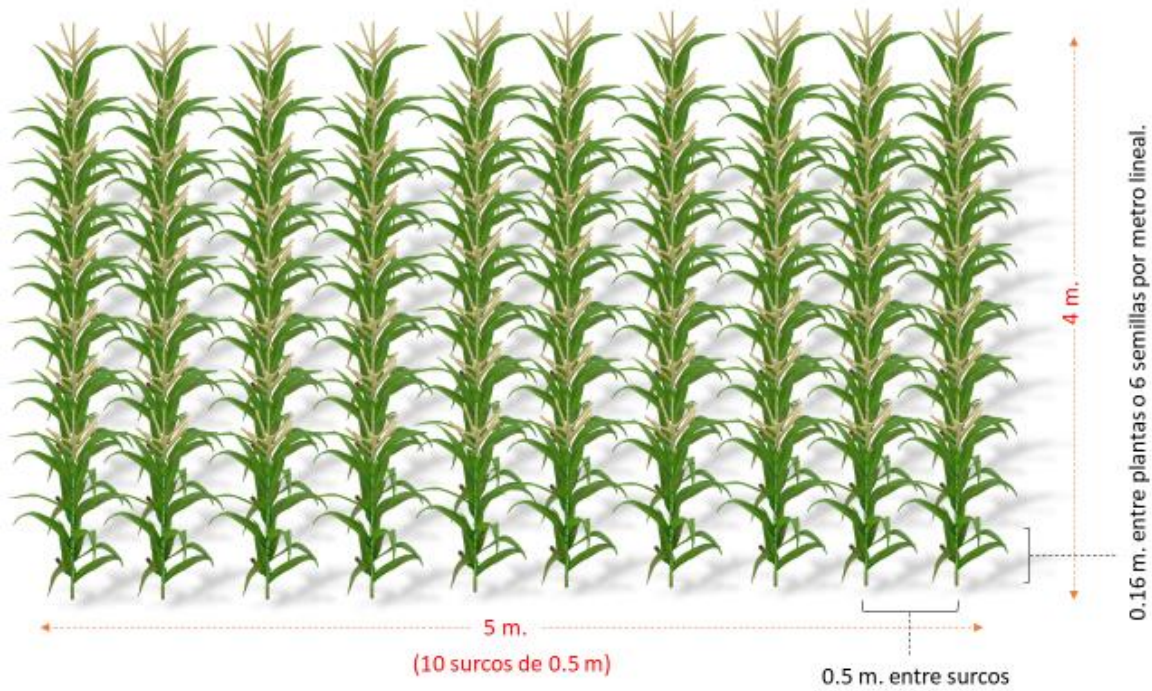


Figura 6: Tratamiento 3.

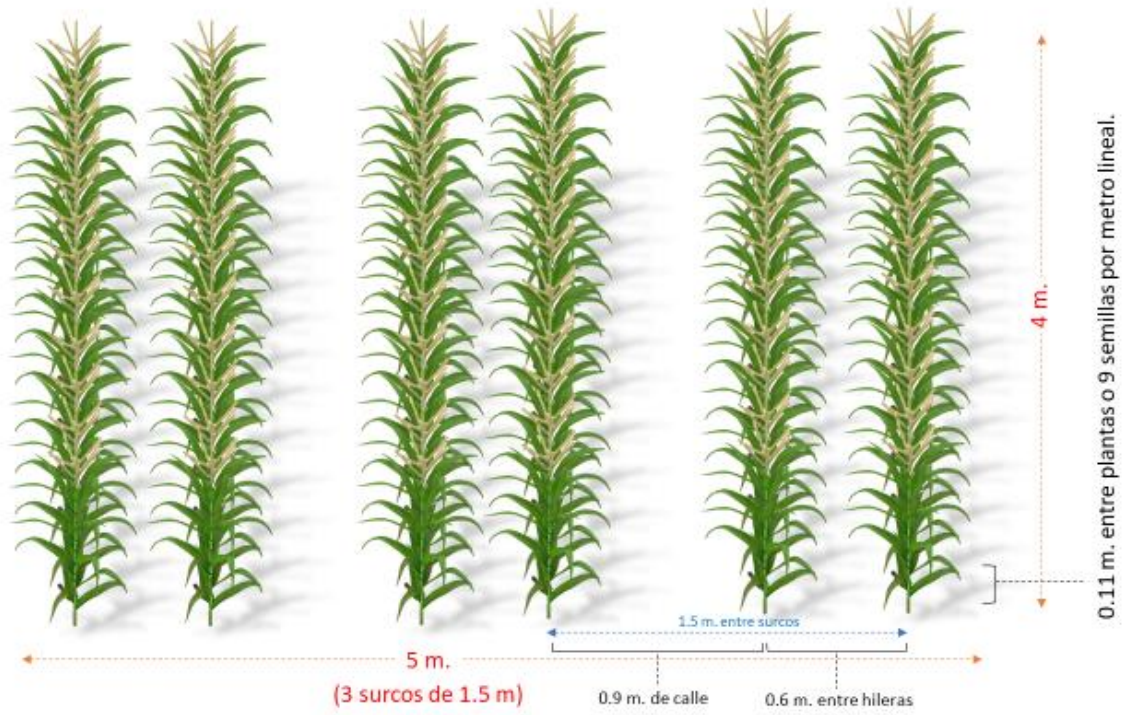
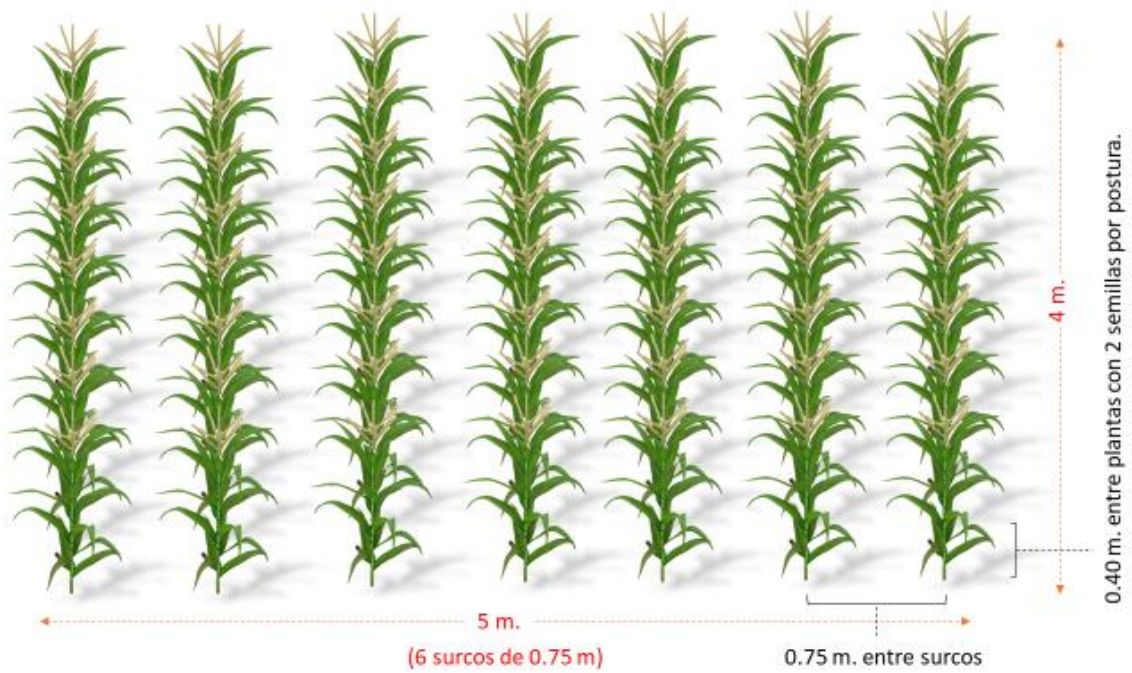


Figura 7: Tratamiento 4



Cada unidad experimental (área que recibió un tratamiento) tuvo 4 m de ancho por 5 m de largo, albergando en cada uno de ellos una densidad de siembra distinta correspondiente a cada uno de los distanciamientos a analizar. Para descartar el efecto de borde, se emplearon calles de 1.5 m para que no hubiera influencia entre unidades experimentales adyacentes.

## F. Factor estudiado

En esta investigación se estudió un solo factor: arreglos topológicos.

## G. Modelo estadístico

El análisis se realizó mediante un análisis de varianza (ANDEVA) para indicar si hubo alguna diferencia significativa entre los distanciamientos (Cuadro 8).

El software empleado fue *InfoStat/E* versión: 20/09/2019.

Cuadro 8: Tabla de Análisis de Varianza

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>F calculada</b>
<b>Tratamientos</b>	SCA	t - 1	CMA = SCA / t-1	CMA / CME
<b>Bloques</b>	SCB	b - 1	CMB = SCB / b-1	CMB / CME
<b>Error Experimental</b>	SCE	(t - 1) (b-1)	CME = SCE / (t-1) (b-1)	
<b>Total</b>	SCT	n - 1		

El diseño de bloques completos al azar es una prueba basada en el análisis de varianza, que incluye el error de los bloques.

Las fórmulas empleadas en el análisis de varianza fueron las siguientes:

$$\text{Suma de cuadrados totales: } SCT = \sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n}$$

$$\text{Sumatoria cuadrados de los tratamientos: } SCA = \sum_{i=1}^n \left( \frac{T_c^2}{b_c} \right) - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n}$$

$$\text{Sumatoria cuadrados de los bloques: } SCB = \sum_{i=1}^n \left( \frac{B_c^2}{nt_c} \right) - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n}$$

$$\text{Sumatoria de cuadrados del error: } SCE = SCT - SCB - SCA$$

Donde:

$n$  = número de unidades experimentales.

$T$  = sumatoria de los valores del tratamiento

$b$  = número de bloques

$B$  = sumatoria de los valores del bloque

$nt$  = número de tratamientos.

Si se presentaban diferencias significativas se sometería a una prueba de Tukey para encontrar el distanciamiento que obtuvo el mejor rendimiento para el híbrido doble ICTA HB-83 Mejorado, y a su vez analizar si este potencializa su rendimiento promedio, para las condiciones edafoclimáticas de Santa Lucía Cotzumalguapa.

Se calcula un valor llamado el comparador de Tukey, de la siguiente manera:

$$w = q * \sqrt{\frac{CME}{R}}$$

Donde:

$R$  = número de repeticiones por tratamiento.

$W$  = la diferencia entre medias debe ser mayor o igual a  $W$ .

## H. Manejo del experimento

Para el manejo del experimento se ejecutaron las siguientes actividades:

### 1. Preparación del terreno

Para la preparación del terreno se procedió a realizar un desmalezado manual y luego dos pasos de rastra en forma cruzada, de manera de mecanizar el suelo y dejarlo en buenas condiciones para facilitar la germinación de las semillas a sembrar.

### 2. Trazo del experimento

De acuerdo con el diseño utilizado, se procedió con el auxilio de pita plástica y de estacas de madera, a trazar los bloques y unidades correspondientes al diseño experimental. Luego en cada unidad se marcaron y trazaron los surcos respectivos.

### 3. Siembra

Se procedió a la siembra, colocando las semillas según el arreglo topológico correspondiente al tratamiento.

#### 4. Fertilización

La fertilización se realizó en base a un análisis de suelo (Cuadro 9) realizado previo a la siembra y la demanda nutricional del cultivo (Cuadro 10), para así obtener el plan de fertilización. El suelo de UVG Campus Sur es un suelo de origen volcánico (Andisol) (CENGICAÑA, 1996), de textura franca, densidad aparente de 0.96 g/cc, CC de 37% y PMP de 21% (Universidad del Valle de Guatemala, 2010). Los fertilizantes que se emplearon fueron 20-20-0 y Urea al 46%, para un área de 320 m<sup>2</sup> y profundidad de 0.2 m (64 m<sup>3</sup> de suelo).

Cuadro 9: Requerimiento nutricional del cultivo de maíz según IICA.

Nutrimiento	Demanda (kg*ha <sup>-1</sup> )	Demanda (kg*m <sup>3</sup> )
N	187	0.02
P205	38	0.004
K2O	192	0.02

Cuadro 10: Análisis de suelo del área experimental.

Parámetro	Cantidad	Rango Adecuado
pH	6.75	5.5-7.2
Dap (gr/cc)	0.96	-
Materia Orgánica (%)	4.71	2.0-4.0
P (ppm)	10	30-75
K (ppm)	120	150-300

Con los datos anteriores se procedió a calcular el suministro de nutrientes presentes en el suelo y diferencia a aplicar (cuadro 11):

$$\text{Kg de Suelo} = \frac{0.96 \text{ g}}{1 \text{ cm}^3} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} * \frac{(100 \text{ cm})^3}{1 \text{ m}^3} * 64 \text{ m}^3 = 61,440 \text{ kg Suelo}$$

$$\text{Kg de Materia orgánica} = 61,440 \text{ kg Suelo} * 0.0471 = 2,893.82 \text{ kg M. O.}$$

$$\text{Kg de Nitrógeno bruto (5\%)} = 2,893.82 \text{ kg M. O.} * 0.05 = 144.69 \text{ kg N bruto}$$

$$\text{Kg de Nitrógeno mineralizado (1.5\%)} = 144.69 \text{ kg N bruto} * 0.015 = 2.17 \text{ kg N min.}$$

$$\text{Kg de Fósforo} = 61,440 \text{ kg Suelo} * \frac{10 \text{ kg P}_2\text{O}_5}{1,000,000 \text{ kg Suelo}} = 0.61 \text{ kg P}_2\text{O}_5$$

$$\text{Kg de Potasio} = 61,440 \text{ kg Suelo} * \frac{120 \text{ kg K}_2\text{O}}{1,000,000 \text{ kg Suelo}} = 7.37 \text{ kg K}_2\text{O}$$

Cuadro 11: Comparación entre requerimiento del cultivo y suministro de nutrientes presentes en el suelo.

Nutriente	Requerimiento (kg) (320 m <sup>2</sup> )	Suministro (kg)	Diferencia (kg)
Nitrógeno (N)	5.98	2.17	3.81
Fósforo (P)	1.22	0.61	0.61
Potasio (K)	6.14	7.37	-1.23

Luego se calculó las dosis respectivas de cada fertilizante.

$$\text{Kg de 20-20-0} = 0.61 \text{ kg P} * \frac{1 \text{ kg}_{(20-20-0)}}{0.20 \text{ kg P}} = 3.05 \text{ kg}_{(20-20-0)}$$

$$\text{Aporte de N para 3.05 kg}_{(20-20-0)} = 3.05 \text{ kg}_{(20-20-0)} * \frac{0.20 \text{ kg N}}{1 \text{ kg}_{(20-20-0)}} = 0.61 \text{ kg N}_{(\text{Aportados al suelo})}$$

$$\text{Diferencia de N} = 3.81 \text{ kg N} - 0.61 \text{ kg N} = 3.2 \text{ kg N}$$

$$\text{Kg de Urea (46\%)} = 3.2 \text{ kg N} * \frac{1 \text{ kg}_{\text{Urea (46\%)}}}{0.46 \text{ kg N}} = 6.96 \text{ kg}_{\text{Urea (46\%)}}$$

Para incrementar la eficiencia en el uso de N por el maíz, se realizó una aplicación fraccionada en dos partes de los fertilizantes nitrogenados, aplicando la fórmula comercial 20-20-0 en los primeros 10 días después de la siembra para suplir la demanda del cultivo, tanto de nitrógeno (N) como de fósforo (P). Luego se aplicó Urea al 46% a los 40 días después de la siembra para cubrir el requerimiento total de N del cultivo de maíz. No se requirió la aplicación de potasio (K) debido a que el suministro del suelo suplió la demanda nutritiva del cultivo. El plan de fertilización se muestra en el Cuadro 12.

Cuadro 12: Plan de fertilización para 16 parcelas de 20 m<sup>2</sup>

Dosis (kg)	Fertilizante	dds
3.05	20-20-0	10
6.96	Urea 46%	40

## 5. Control de malezas

Se hicieron tres limpiezas manualmente, con azadón; la primera a los 20 días después de la siembra, la segunda a los 40 días después de la siembra y la tercera, 60 días después de la siembra.

## 6. Control de plagas y enfermedades

Para el control de plagas insectiles se hicieron cuatro aplicaciones de químicos, alternando los productos Cipermetrina 25 % (Cipermetrina 25 EC), Thiodicarb (Larvin 37.5 SC), Thiacloprid, Beta-Ciflutrina (Monarca 11,25 SE). No se aplicaron fungicidas, debido a que el híbrido presentó tolerancia a las principales enfermedades que se manifiestan en la zona.

## I. Variable de respuesta

### 1. Rendimiento en grano

Se tomó el grano ya seco (al 14% de humedad) que se produjo en cada unidad experimental, para esto se llevaron muestras a ICTA Cuyuta, en Masagua, para tomar las lecturas de humedad de cada tratamiento, luego se obtuvo el peso. Posteriormente se procedió a proyectar los datos en  $\text{kg ha}^{-1}$  (Cuadro 9).

## J. Análisis de la información

Las distintas variables fueron sometidas a análisis de varianza (ANDEVA). Cuando se determinaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, se procedió a realizar las pruebas de medias; para el efecto se utilizó Tukey al 5% de probabilidad de error. También se hicieron análisis gráficos y descriptivos.

## K. Hipótesis

### 1. Hipótesis nula ( $H_0$ )

Ninguno de los arreglos topológicos experimentales presentará diferencia estadística, todos son iguales.

### 2. Hipótesis alternativa ( $H_1$ )

Por lo menos uno de los arreglos topológicos experimentales presentará diferencia estadística respecto al método tradicional.

## VI. RESULTADOS

### A. Rendimiento en grano

En el Cuadro 13 se muestran los resultados de rendimiento de maíz en grano obtenidos por unidad experimental.

Cuadro 13: Datos de rendimiento en kg\*ha<sup>-1</sup>

	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
Repetición 1	5,343.75	5,947.83	2,736.00	1,519.98
Repetición 2	9,975.00	1,865.45	4,104.00	5,699.94
Repetición 3	10,687.5	2,736.00	4,702.50	3,257.11
Repetición 4	8,668.75	3,487.06	3,847.50	3,492.03

### B. Análisis de la varianza

La variable de respuesta fue rendimiento de grano de maíz en kg\*ha<sup>-1</sup>, el número de unidades experimentales (N) fue de 16, porcentaje de variación de la variable de respuesta (R<sup>2</sup>) fue de 0.73, mientras que el coeficiente de determinación ajustado (R<sup>2</sup> Aj) fue 0.55 y el coeficiente de variación (CV) fue 38.03. En base a lo anterior el análisis de varianza para la variable rendimiento en grano, en la variedad de maíz ICTA HB-83 Mejorado se presentan en el Cuadro 14.

Cuadro 14: Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	82844860.05	6	13807476.68	4.01	0.0310
Tratamientos	76903590.96	3	25634530.32	7.44	0.0083 **
Bloques	5941269.09	3	1980423.03	0.58	0.6457
Error	30994439.69	9	3443826.63		
Total	113839299.75	15			

NS = Diferencia estadística no significativa      \*\* = Diferencia estadística altamente significativa

### C. Prueba de Tukey

Los resultados indican que para la variedad ICTA HB-83 Mejorado existe una diferencia altamente significativa en al menos uno de los tratamientos evaluados. Por lo tanto, se procedió a realizar la respectiva prueba de medias de Tukey, la cual se presenta en el Cuadro 11. Se manejó un Alfa de 0.05, la diferencia mínima significativa (DMS) fue de 4096.47722 con un CME de 3443826.6327 y 9 grados de libertad (gl).

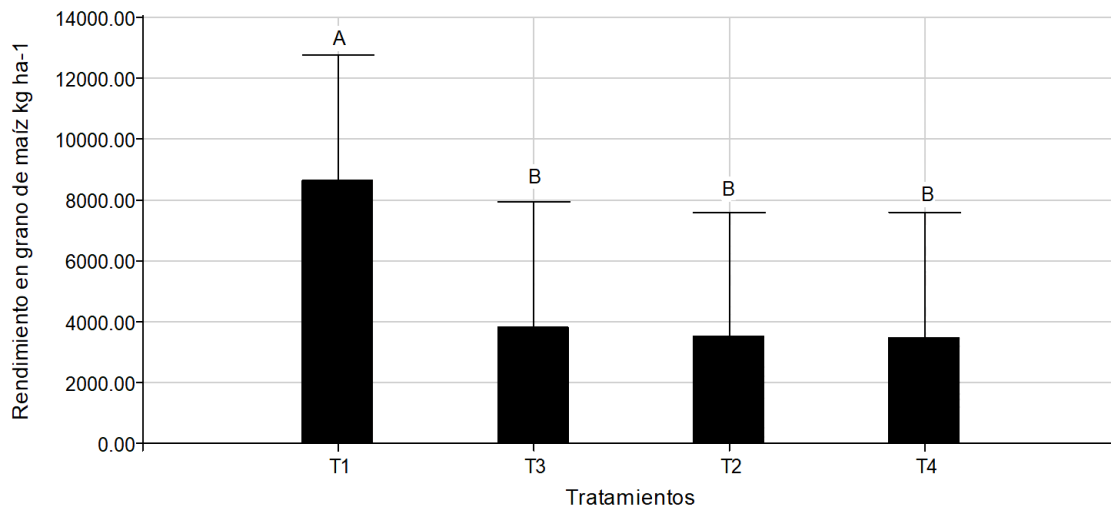
Cuadro 15: Prueba de medias Tukey para los rendimientos en grano de maíz para la variedad ICTA HB-83.

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T1	8668.75	4	927.88	A
T3	3847.50	4	927.88	B
T2	3509.09	4	927.88	B
T4	3492.27	4	927.88	B

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

El gráfico de comparación de medias de cada uno de los tratamientos se muestra en la Figura 8, donde se puede observar que uno de los arreglos topológicos sobresale con una diferencia estadísticamente significativa proyectando un mayor rendimiento en grano de maíz.

Figura 8: Rendimiento de grano ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en la evaluación de cuatro arreglos topológicos en la variedad de maíz ICTA HB-83.



## VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados indican que, de los cuatro tratamientos evaluados, el tratamiento 1, que consiste en sembrar en surcos de 80 cm con doble hilera (60 y 20 cm) y 20 cm entre plantas ( $125,000 \text{ p*ha}^{-1}$ ) colocando una semilla por postura (Figura 4), provocó cambios significativos en el rendimiento en grano de maíz; es decir, se obtuvo una diferencia estadísticamente significativa si se le compara con cualquiera de los otros tres arreglos topológicos evaluados. Este tratamiento obtuvo un rendimiento promedio de  $8,668.75 \text{ kg ha}^{-1}$ , 82.88% más de lo que menciona el Maga en su último informe de las cifras del Agro 2016 publicado en el año 2017, donde indica que el rendimiento promedio en Guatemala de maíz blanco en los últimos años ha sido reportado en  $4,742.85 \text{ kg ha}^{-1}$ , pero además está muy cercano a lo que menciona Fuentes López (2002) donde indica que el rendimiento comercial promedio obtenido a través de parcelas de validación en el 2002 de la variedad ICTA HB-83 Mejorado fue el equivalente a  $11,000 \text{ kg ha}^{-1}$ , y que dependiendo de las condiciones ambientales y manejo agronómico este puede tener potencial de producción hasta de  $14,000 \text{ kg ha}^{-1}$ . Los tratamientos 2, 3 y 4 no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sí, su rendimientos fueron  $3,509.09 \text{ kg ha}^{-1}$  para el tratamiento 2, el cual consistía en sembrar en surcos a 50 cm y 6 semillas por metro lineal ( $120,000 \text{ p*ha}^{-1}$ );  $3,847.50 \text{ kg ha}^{-1}$  para el tratamiento 3 que consistió en sembrar en surcos de 1.5 m con doble hilera (60 y 90 cm) con 9 semillas por metro lineal ( $120,000 \text{ p*ha}^{-1}$ ) y  $3,492.27 \text{ kg ha}^{-1}$  para el tratamiento 4 donde se sembró de la forma tradicional, en surcos a 75 cm y 40 cm entre plantas con dos semillas por postura ( $66,666 \text{ p*ha}^{-1}$ ). Estos tres rendimientos están por debajo de los presentados en el informe del MAGA en 2017 el cual fue de  $4,742.85 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Por otro lado, se puede observar que a menor densidad de siembra menor producción, esto concuerda con los autores Barbieri, Sainz Rozas, Andrade, & Echeverria (2000) y Bullock, Nielsen, & Nyquist (1998), quienes mencionan que la siembra del maíz (*Zea mays* L.) en arreglos topológicos con surcos angostos respecto a surcos convencionales, permite incrementar el rendimiento de grano como consecuencia de disminuir la competencia entre plantas dentro del surco por luz, agua y nutrientes. Otro aspecto a destacar es que el nivel de respuesta del maíz a la disminución de la distancia entre surcos puede variar de acuerdo a las condiciones ambientales (Porter, y otros, 1997), por lo tanto se puede afirmar que, para esta investigación, el arreglo topológico que puede potencializar los rendimientos del híbrido doble de maíz blanco ICTA HB-83 Mejorado en la zona de Santa Lucía Cotzumalguapa es el de sembrar en surcos de 80 cm con doble hilera (60 y 20 cm) y 20 cm entre plantas para una densidad de  $125,000 \text{ p*ha}^{-1}$  para obtener una producción aproximada de  $8,688.75 \text{ kg ha}^{-1}$ . También es importante mencionar que el híbrido no pudo alcanzar un mayor rendimiento en cada uno de los tratamientos debido a que el experimento en campo tuvo presencia de mapaches en fase de llenado de grano y una alta incidencia de *Spodoptera frugiperda*, *Phyllophaga* spp en índices cercanos al umbral económico, según CropLife Latin America (2019) es de un 10 a 20%, a su vez, esta plaga presentó características resistentes a la aplicación de insecticidas por lo que las aplicaciones se tuvieron que hacer en bajas concentraciones pero frecuentes, esto refleja que no se le ha dado una buena rotación entre familias de insecticidas aplicados en ciclos de cultivo anteriores dentro de la zona experimental.

## VIII. CONCLUSIONES

Se determinó que hay una diferencia estadísticamente significativa en uno de los cuatro arreglos topológicos evaluados para el híbrido de maíz ICTA HB-83 Mejorado, por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa la cual indica que por lo menos uno de los arreglos topológicos experimentales presentará diferencia estadística respecto al método tradicional. Esto indica que este híbrido es afectado por los arreglos topológicos evaluados con tendencia a aumentar sus rendimientos en mayor densidad de siembra.

Se encontró que el arreglo topológico de siembra que genera el mejor rendimiento para el híbrido ICTA HB-83 Mejorado fue el tratamiento 1, el cual consistió en sembrar en surcos de 80 cm con doble hilera (60 y 20 cm) y 20 cm entre plantas para una densidad de 125,000 p\*ha<sup>-1</sup> donde se obtuvo una producción de 8,668.75 kg ha<sup>-1</sup>. Según lo anterior se puede afirmar que la respuesta es óptima sobre el rendimiento en grano por unidad de área al incrementar la densidad de plantas para este híbrido, todo esto bajo las condiciones de Santa Lucía Cotzumalguapa, por tanto, es una densidad óptima ya que permite al cultivo alcanzar un máximo rendimiento en grano comparado al método tradicional.

## IX. RECOMENDACIONES

Para la zona de Santa Lucía Cotzumalguapa, se recomienda sembrar ICTA HB-83 Mejorado en surcos de 80 cm con doble hilera (60 y 20 cm) y 20 cm entre plantas para una densidad de 125,000 p\*ha<sup>-1</sup> ya que este presenta mejores rendimientos en grano de maíz bajo estas condiciones.

Hacer evaluaciones similares con la variedad ICTA HB-83 Mejorado en diferentes localidades, pero considerar aumentar el tamaño de la unidad experimental y conducir registros económicos para cada uno de los tratamientos.

Evaluar las nuevas variedades comerciales introducidas por ICTA las cuales son: ICTA B-15<sup>ACP+Zn</sup>, HB-18<sup>ACP+Zn</sup>, ICTA HB-17<sup>TMA</sup>, ICTA B-9<sup>ACP</sup>, ICTA Compuesto Blanco, ICTA San Marceño Mejorado e ICTA Maya, bajo los distanciamientos propuestos en esta investigación.

## X. BIBLIOGRAFÍA

- Barbieri, P. A., Sainz Rozas, H. R., Andrade, F. H., & Echeverria, H. E. (2000). Row spacing effects at different levels of nitrogen availability in maize. *Agron. J.*, 92, 283-288.
- Bolaños, J., & Barreto, H. (1991). Análisis de los componentes de rendimiento de los ensayos regionales de maíz de 1990. En *Análisis de los Resultados Experimentales del PRM 1990* (Vol. 2). Guatemala: CIMMYT.
- Bolaños, J., & Edmeades, G. (1993a). Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. I. Responses in grain yield, biomass and radiation utilization. *Field Crops Res*, 31, 233-252.
- Bolaños, J., & Edmeades, G. (1993b). Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. II. Responses in reproductive behavior. *Field Crops Research*, 31, 253-268.
- Bolaños, J., Pérez, J., Zea, J., Fuentes, M., Mendoza, C., & López, G. (1997). Dinámica y variabilidad de los componentes del rendimiento en 28 campos de maíz en Centro América. En *Síntesis de resultados experimentales del PRM 1992*. Guatemala: CIMMYT-PRM.
- Bullock, D. G., Nielsen, R. L., & Nyquist, W. E. (1998). A growth analysis comparison of corn grown in conventional and equidistant plant spacing. *Crop Sci*, 28, 254-258.
- CENGICAÑA. (1996). *Estudio Semidetallado de Suelos de la Zona Cañera del Sur de Guatemala*. Guatemala. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (1990). *Proyecto Regional Manejo Integrado de Plagas: Guía para el Manejo Integrado de plagas del cultivo de maíz*. Costa Rica: Turrialba.
- Climate-Data.org. (2019). *CLIMA SANTA LUCIA COTZUMALGUAPA*. Obtenido de <https://es.climate-data.org/america-del-norte/guatemala/escuintla/santa-lucia-cotzumalguapa-53882/>
- CropLife Latin America. (2019). *Gusano cogollero*. Obtenido de [www.croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/gusano-cogollero](http://www.croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/gusano-cogollero)
- Edmeadea, G. O., Lafitt, H., & Chapman, S. (1992a). Predicting the phenology of tropical maize: Effectsof photoperiod and temperature. CIMMYT, México. En *Sintesis de Resultados Experimentales del PRM 1992. Vol. 4, 1993*.
- Fischer, K. S., & Palmer, A. (1984). Tropical Maize. En P. R. Goldsworthy, & N. M. Fisher (Edits.), *The Physiology of Tropical Crops* (págs. 213-248). New York: John Wiley and Sons.
- Fuentes López, M. R. (2002). *EL CULTIVO DEL MAIZ EN GUATEMALA: Una guía para su manejo agronómico*. Guatemala: Instituto de Ciencias Tecnológicas Agrícolas ICTA .

- Gordón Mendoza, R. (2001). *Guía para el manejo integrado del maíz mecanizado*. Panamá: IDIAP.
- Gordón, R., Camargo, I., Gracia, N. d., Franco, J., & González., A. (1995). Evaluación de Distintas Épocas de Siembra y la Incidencia del Achaparramiento del Maíz en Panamá. En *Síntesis de Resultados Experimentales 1993-1995* . Panamá: Programa Regional de Maíz -PRM-.
- Heisey, P., & Edmeades, G. (1999). Maize in Drought-Stressed Enviroments: Technical Options and Research Resource Allocation. En *World Maize Facts and Tends 1997/98* (pág. 68). México: CIMMYT.
- Henríquez, P., & Jeffers, D. (1995). El Achaparramiento del Maíz: Patógenos, Síntomas y Diagnóstico. En *Síntesis de Resultados Experimentales 1993-1995* (pág. 338). Guatemala: Programa Regional de Maíz -PRM-.
- Kiesselbach, T. (1949). *The Structure and reproduction of Corn*. Lincoln: Univ. Of Nebraska Press.
- Laffite, H. (1994). Identificación de problemas en la producción de maíz tropical. Guía de Campo, Mexico D.F. CIMMYT, 122.
- Larios, L., Gordón, R., Obando, R., Osorio, M., López, G., & Bolaños, J. (1997). Eficiencia de Uso de Nitrógeno en el cultivo del maíz bajo distintos métodos de aplicación. En *Síntesis de resultados experimentales del PRM 1992* (pág. 338). Guatemala: CIMMYT-PRM.
- Luque Sainz, E. d. (2011). *Métodos de siembra, una alternativa viable para incrementar la productividad de maíz en Sinaloa*. Mexico: Fundació Produce Sinaloa.
- MAGA. (2017). *El Agro En Cifras 2016*. Guatemala: Planeamiento del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
- Porter, P. M., R., H. D., Lueschen, W. E., Ford, J. H., Warnes, D. D., & Hoverstad, T. R. (1997). Corn response to row width and plant population in the northern Corn Belt. *J. Prod. Agric.*, 10, 293-300.
- Purseglove, J. (1972). *Tropical Crops: Monocotyledon*. London: Longman.
- Universidad del Valle de Guatemala. (noviembre de 2010). Efecto de la humedad del suelo y la fertilización con NPK sobre la producción de biomasa y composición química de hojas de Chaya (*Cnidioscolus aconitifolius ssp. aconitifolius*) en Guatemala. *Revista de la Universidad del Valle de Guatemala*(22).
- Zanabria Cruz, K. I. (2015). *EFFECTO DEL ARREGLO TOPOLÓGICO SOBRE EL RENDIMIENTO DE VARIEDADES DE FRIJOL ARBUSTIVO; CHIMALTENANGO*. Escuintla: UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR.

## XI. GLOSARIO

*Acropetal*: Es el movimiento dentro de las plantas de abajo hacia arriba, es decir desde la raíz hacia los ápices (también aplica del interior hacia el exterior).

*Alelopatía*: Es un fenómeno biológico por el cual un organismo produce uno o más compuestos bioquímicos que influyen en el crecimiento, supervivencia o reproducción de otros organismos.

*Atrazina*: Es un herbicida de la clase de triazinas. Se utiliza para prevenir malezas de hoja ancha antes y después de la emergencia en cultivos como el maíz y la caña de azúcar y en el césped, como campos de golf y céspedes residenciales.

*Basipetal*: Es el movimiento dentro de las plantas de arriba hacia abajo es decir del ápice hacia la raíz y zonas inferiores de la planta (también aplica del exterior hacia el interior).

*Biomasa*: Cantidad de productos obtenidos por fotosíntesis, susceptibles de ser transformados en combustible útil para el hombre y expresada en unidades de superficie y de volumen.

*Bromatología*: Estudio de los alimentos, de su composición, de sus propiedades, del proceso de fabricación y de almacenamiento y de sus ingredientes.

*Cariopsis*: Cariósipide, fruto seco e indehiscente en el que el pericarpio está firmemente unido a la semilla. Es el fruto típico de las gramíneas y a menudo se hace acompañar de otras piezas de la flor como la lema, la pálea o las glumas.

*Chuzo*: Son cilindros de acero con extremo plano o puntiagudo que sirve para hacer hoyos o arrancar plantas con raíces pequeñas.

*Coleóptilo*: Es una estructura característica del embrión de la familia de las gramíneas, el cual es, en realidad, una primera hoja modificada de tal modo que forma una caperuza cerrada sobre las hojas siguientes y el meristema apical.

*Edafoclimático*: Perteneciente o relativo al suelo y al clima.

*Fenología*: Parte de la meteorología que estudia las repercusiones del clima sobre los fenómenos biológicos de ritmo periódico, como el florecimiento o la migración de aves. Estudia la relación entre los factores climáticos y los ciclos de los seres vivos.

*Fotoperíodo*: Parte del día en que un ser vivo está expuesto a la luz.

*Germoplasma*: Es el conjunto de genes que se transmite por la reproducción a la descendencia por medio de gametos o células reproductoras.

*Híbrido*: Que procede de la unión de dos individuos de un mismo género, pero de especies diferentes.

*Jilote*: Mazorca de maíz aún tierna y lechosa, cuando sus granos no han cuajado todavía.

*Madurez fisiológica*: se refiere a la etapa del desarrollo de la fruta u hortaliza en que se ha producido el máximo crecimiento y maduración

*Olote*: Parte central de la mazorca de maíz una vez que ha perdido los granos.

*Plastocrono*: Intervalo de tiempo entre la aparición de dos primordios foliares consecutivos en el brote de una planta

*Suelo calcáreo*: Son suelos relativamente alcalinos, con un pH alto. Esto es debido a la acidez muy débil del ácido carbónico.

*Tiempo termal*: Acumulación de temperatura que la planta mide cada día para llegar a su término y que esta a su vez pueda pasar a la fase siguiente y se expresa en grados/días ( $^{\circ}\text{Cd}$ ).

*Voleo*: Al azar, arbitrariamente, sin establecer un criterio.