

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**



**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE DOS GERMOPLASMAS DE MAÍZ (*Zea mays* L.) VARIEDAD CENTA PASAQUINA E HIBRIDO H-59 A DIFERENTES PERÍODOS DE ESTRÉS HÍDRICO EN EL MARCO DEL CAMBIO CLIMÁTICO.**

**POR:**

**FREDY ALEXANDER QUINTEROS HERNÁNDEZ**

**CIUDAD UNIVERSITARIA FEBRERO DE 2017**



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**



**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE DOS  
GERMOPLASMAS DE MAÍZ (*Zea mays* L.) VARIEDAD CENTA  
PASAQUINA E HIBRIDO H-59 A DIFERENTES PERÍODOS DE  
ESTRÉS HÍDRICO EN EL MARCO DEL CAMBIO CLIMÁTICO.**

**POR:**

**FREDY ALEXANDER QUINTEROS HERNÁNDEZ**

**CIUDAD UNIVERSITARIA FEBRERO DE 2017**

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



**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE DOS  
GERMOPLASMAS DE MAÍZ (*Zea mays* L.) VARIEDAD CENTA  
PASAQUINA E HIBRIDO H-59 A DIFERENTES PERÍODOS DE  
ESTRÉS HÍDRICO EN EL MARCO DEL CAMBIO CLIMÁTICO.**

**POR:**

**FREDY ALEXANDER QUINTEROS HERNÁNDEZ**

**REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**CIUDAD UNIVERSITARIA FEBRERO DE 2017**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR INTERINO:**

**LIC. JOSÉ LUIS ARGUETA ANTILLÓN**

**SECRETARIA GENERAL:**

**DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**DECANO:**

**ING. AGR. M. SC. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA**

**SECRETARIO:**

**ING. AGR. M. SC. LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO**

**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y  
MEDIO AMBIENTE:**

---

**ING. AGR. M. SC. JOSÉ MAURICIO TEJADA ASENCIO**

**DOCENTES DIRECTORES:**

---

**ING. AGR. M. SC. JOSÉ MAURICIO TEJADA ASENCIO**

---

**ING. AGR. WILLIAN RICARDO FLORES MORÁN**

---

**ING. AGR. M. SC. MANUEL DE JESÚS OSORIO TORRES**

**COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN:**

---

**ING. AGR. SABAS ALBERTO ARGUETA PALACIOS**

## AGRADECIMIENTOS

**A la Universidad de El Salvador:** mi alma Mater por permitirme ser parte y formarme como profesional.

**A Ing. Agr. Keilim Issela Melgar Ramírez:** Por ser la persona que día a día estuviera a mi lado apoyándome, por todos los momentos que pasamos para que culminara mi trabajo de investigación. Gracias totales.

**A mis hermanos: Héctor Hernández, Víctor Quinteros, Ernesto Quinteros:** por sus importantes aportes y colaboraciones en todos los años de estudio en la Universidad.

**A mis asesores: Ing. Agr. M.Sc. José Tejada, Ing. Agr. Willian Flores e Ing. Agr. M.SC. Manuel Osorio:** por compartir sus conocimientos técnicos y científicos en todo el proceso de la investigación.

**A Ing. Agr. Miguel Paniagua e Ing. Agroindustrial Pedro Hernández:** por compartir sus conocimientos estadísticos, se les agradece.

**A don Valiente y al grupo de estudiantes de Riegos y Drenajes de ciclo I 2016:** por el apoyo en la fase de campo de esta investigación.

**A ing. Omar Lara e ing. Humberto Ruíz:** por la coordinación y apoyo en la gestión del espacio físico en la Estación Experimental y de Practicas.

**A mis tíos Ángel Hernández y María Thornton:** por sus importantes aportaciones en mi estancia en la universidad.

**Fredy Alexander Quinteros Hernández.**

“La definición del objetivo es el punto de  
comienzo de todo éxito en la vida”

## RESUMEN

El objetivo de la investigación fue comparar la respuesta a la sequía, en términos de rendimiento de grano, de dos germoplasmas de maíz (*Zea mays* L.), sometidos a diferentes períodos de sequía, en la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador, durante el año 2016. Los Germoplasmas fueron: Variedad CENTA Pasaquina e Híbrido H-59. Los períodos de sequía, se aplicaron a los 30 días de edad del cultivo, siendo: 8, 16, 24 y 32 días, seguidos de la aplicación de riego de recuperación hasta la cosecha. En cuanto a la altura, diámetro de planta y altura de mazorca el crecimiento se detuvo por efecto de la sequía en los dos germoplasmas, pero una vez que se aplicó el riego de recuperación se reanudo, de tal forma que las plantas sometidas a sequía igualaron a las de riego permanente; como ocurrió en el H-59. Los días a floración y número de hileras por mazorca no presentaron diferencias significativas en los dos germoplasmas; las características de la mazorca y el rendimiento del grano fueron menos afectadas en el híbrido que en la variedad y en cuanto, al rendimiento de biomasa fue menos afectado en la variedad que, en el híbrido, conforme se prolongaron los períodos de sequía. Por lo anterior, se concluyó que los períodos de sequía aplicados al cultivo provocaron efectos considerables en el desarrollo de la planta y las principales características de la mazorca. De tal forma, el rendimiento disminuyó en 28, 38, 72.35 y 83.8% para el H-59 y 23.90, 35.50, 72.40 y 85.70% para Variedad CENTA Pasaquina conforme se aplicaron los períodos de sequía.

**Palabras clave:** Germoplasmas, maíz, períodos, sequía, rendimiento.

## **ABSTRACT**

The objective of the research was to compare the response to drought, in terms of grain yield, of two maize germs (*Zea mays* L.), submitted to different periods of drought, at the Experimental and Practical Station of the Faculty of Agronomic Sciences, University of El Salvador, during the year 2016. Germplasms were: Variety CENTA Pasaquina and Hybrid H-59. The periods of drought were applied to the 30 days of age of the crop, being: 8, 16, 24 and 32 days, followed by the application of irrigation recovery until harvest. In terms of height, plant diameter and height of ear, the growth was stopped due to the effect of the drought on the two germplasms, but once the recovery irrigation was applied it was resumed, in such a way that the plants subjected to drought equaled to those of permanent irrigation; As happened on H-59. The days at flowering and number of rows per ear did not present significant differences in the two germplasms; The characteristics of the ear and the yield of the grain were less affected in the hybrid than in the variety and in that, the yield of biomass was less affected in the variety than in the hybrid as the periods of drought continued. Due to the above, it was concluded that the periods of drought applied to the crop caused considerable effects on the development of the plant and the main characteristics of the ear. Thus, yield decreased by 28, 38, 72.35 and 83.8% for H-59 and 23.90, 35.50, 72.40 and 85.70% for Variety CENTA Pasaquina as the periods of drought were applied.

**Index words:** Germplasm, maize, periods, drought, yield.

## ÍNDICE GENERAL

Contenido	N° de pág.
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1. Antecedentes.....	3
2.2. Cambio climático.....	4
2.3. Estrés hídrico.....	6
2.4. Fenómenos del ENOS (El niño y La niña).....	7
2.5. Seguridad alimentaria.....	8
2.6. Generalidades del cultivo.....	9
2.6.1. Origen.....	10
2.6.2. Distribución geográfica.....	10
2.6.3. Clasificación taxonómica.....	10
2.6.4. Descripción botánica.....	11
2.6.5. Descripción morfológica.....	11
2.6.5.1. Raíz.....	11
2.6.5.2. Tallo.....	12
2.6.5.3. Hojas.....	12
2.6.5.4. Flor.....	12
2.6.5.5. Fruto.....	12
2.6.5.6. Composición del grano.....	12
2.6.5.7. Semilla.....	13
2.7. Ciclo Vegetativo.....	13
2.7.1. Fases fenológicas del maíz.....	13
2.8. Condiciones edafo-climáticas del cultivo.....	15
2.8.1. Clima.....	15
2.8.2. Temperatura.....	15
2.8.3. Radiación solar.....	15
2.8.4. Viento y evapotranspiración.....	15
2.8.5. Precipitación.....	16
2.8.6. Humedad relativa.....	17
2.8.7. Edafología.....	17
2.9. Técnicas de manejo del cultivo.....	18

2.9.1.	Requerimiento hídrico.....	18
2.9.2.	Preparación del suelo.....	19
2.9.3.	Siembra.....	19
2.9.4.	Época de siembra.....	19
2.9.5.	Distanciamiento de siembra.....	20
2.9.6.	Densidad de siembra.....	20
2.9.7.	Control fitosanitario.....	20
2.9.8.	Programa de fertilización.....	21
2.9.9.	Control de malezas.....	22
2.10.	El cultivo de maíz en El Salvador.....	23
2.11.	Importancia del cultivo de maíz.....	23
2.12.	Importancia económica.....	24
2.13.	Rendimientos.....	25
2.14.	Híbrido H-59.....	25
2.15.	Variedad CENTA Pasaquina.....	25
3.	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
3.1	Localización.....	27
3.2	Herramientas para la evaluación.....	27
3.2.1	Sistema de riego.....	27
3.2.2	Accesorios de DNJ driokit.....	27
3.2.3	Características.....	27
3.3	Material experimental.....	27
3.3.1	Híbrido H-59.....	28
3.3.2	Variedad CENTA Pasaquina.....	28
3.3.3	Preparación del área experimental.....	28
3.4	Manejo del cultivo.....	28
3.4.1	Prueba de germinación.....	28
3.4.2	Siembra.....	29
3.4.3	Porcentaje de emergencia.....	29
3.4.4	Riego.....	29
3.4.5	Evaluación del sistema de riego.....	30
3.4.6	Plan de fertilización.....	31
3.4.7	Plan fitosanitario.....	31

3.4.8	Control de malezas .....	31
3.4.9	Control de plagas .....	32
3.5	Condiciones edafoclimáticas registradas durante el ensayo .....	32
3.5.1	Suelos.....	32
3.5.2	Precipitación.....	33
3.5.3	Humedad relativa.....	33
3.5.4	Temperatura (máximas, promedios y mínimas).....	33
3.5.5	Velocidad del viento .....	33
3.6	Metodología estadística.....	33
3.6.1	Modelo estadístico:.....	33
3.6.2	Tamaño de la muestra.....	34
3.6.3	Tratamientos.....	34
3.6.4	Variables evaluadas.....	34
3.6.5	Variable independiente .....	36
3.6.6	Toma de datos.....	36
3.6.7	Análisis de datos.....	36
3.6.8	Clúster fotográfico.....	36
4.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>40</b>
4.1.	Análisis de humedad en el suelo.....	40
4.2.	Altura de planta.....	40
4.3.	Diámetro de planta.....	43
4.4.	Días a flor .....	46
4.5.	Altura de mazorca .....	47
4.6.	Longitud de mazorca.....	49
4.7.	Diámetro de mazorca .....	51
4.8.	Número de hileras por mazorca .....	53
4.9.	Porcentaje de llenado de mazorca.....	55
4.10.	Rendimiento de grano.....	57
4.11.	Rendimiento de biomasa.....	59
4.12.	Análisis económico.....	61
5.	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>64</b>
6.	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>65</b>
7.	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>66</b>

<b>8. ANEXOS.....</b>	<b>74</b>
-----------------------	-----------

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Contenido</b>	<b>Nº de pág.</b>
<b>Cuadro 1: etapas fenológicas consideradas en el maíz.....</b>	<b>14</b>
<b>Cuadro 2: Requerimiento hídrico (mm) del maíz.....</b>	<b>19</b>
<b>Cuadro 3: productos y dosis para control químico de gusano cogollero y tortuguilla .....</b>	<b>21</b>
<b>Cuadro 4: Herbicidas para control de malezas dosis por hectárea. ....</b>	<b>22</b>
<b>Cuadro 5: Comparación de rendimiento de cinco variedades de maíz con CENTA. .</b>	<b>26</b>
<b>Cuadro 6: Porcentaje de emergencia en los dos germoplasmas de investigación. .</b>	<b>29</b>
<b>Cuadro 7: Volumen de agua aplicada al cultivo de maíz durante el ciclo vegetativo... .....</b>	<b>30</b>
<b>Cuadro 8: Control químico de malezas cultivo de maíz.....</b>	<b>32</b>
<b>Cuadro 9: Control químico de plagas en maíz.....</b>	<b>32</b>
<b>Cuadro 10: presupuesto total para una hectárea .....</b>	<b>62</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Contenido</b>	<b>Nº de pág.</b>
<b>Figura 1: fases de desarrollo fenológico de la planta de maíz. ....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 2: perspectiva de precipitación de marzo a agosto de 2016.....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 3: Comercio de maíz y harina en el salvador periodo 2004/2013.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 4: Prueba de germinación H-59 y VCP.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 5: Porcentaje de humedad del suelo por semanas y tratamientos.....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 6: Medias de altura de la planta del híbrido H-59 (G1).....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 7: Promedio de altura de planta Variedad CENTA Pasaquina (G2). ....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 8: Medias de diámetros de los tallos del híbrido H-59 (G1). ....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 9: Medias de diámetros de los tallos de la Variedad CENTA Pasaquina (G2).....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 10: Promedio de Días a flor de dos germoplasmas de maíz.....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 11: Medias de altura de mazorca de dos germoplasmas de maíz. ....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 12: Medias de longitud de mazorca de dos germoplasmas de maíz. ....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 13: Medias de diámetro de mazorca de dos germoplasmas de maíz. ....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 14: Medias de número de hileras por mazorca de dos germoplasmas de maíz.....</b>	<b>53</b>

<b>Figura 15: Medias de porcentaje de llenado de mazorca de dos germoplasmas de maíz. ....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 16: Medias de rendimiento de grano (kg/ha) según tratamientos y germoplasmas de maíz. ....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 17: Medias de rendimiento de biomasa (kg/ha) según tratamientos y germoplasmas de maíz. ....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 18: curva de beneficios netos y costos totales.....</b>	<b>63</b>

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>Contenido</b>	<b>Nº de pág.</b>
<b>Fotografía 1 y 2: Preparación del terreno e instalación del sistema de riego. ....</b>	<b>39</b>
<b>Fotografía 3 y 4: Aplicación de riego y siembra de germoplasmas. ....</b>	<b>39</b>
<b>Fotografías 5 y 6: Manejo del cultivo (Prácticas culturales).....</b>	<b>39</b>
<b>Fotografía 7 y 8: Aplicación de los tratamientos (periodos de estrés hídrico). ....</b>	<b>39</b>
<b>Fotografía 9: Aplicación de riego de recuperación para los tratamientos 2 y 3.....</b>	<b>39</b>
<b>Fotografías 10 y 11: Control de plagas. ....</b>	<b>39</b>
<b>Fotografía 12: Toma de diámetro de mazorca. ....</b>	<b>39</b>
<b>Fotografía 13: Aplicación de riego de recuperación del tratamiento 4. ....</b>	<b>39</b>
<b>Fotografías 14: Toma de altura de planta y mazorca. ....</b>	<b>39</b>
<b>Fotografía 15: Aplicación de riego de recuperación de tratamiento 5. ....</b>	<b>39</b>
<b>Fotografía 16: Toma de diámetro y longitud de mazorca. ....</b>	<b>39</b>
<b>Fotografía 17 Secado y desgrane de mazorca.....</b>	<b>39</b>
<b>Fotografías 18: toma de humedad del grano. ....</b>	<b>39</b>
<b>Fotografías 19 y 20: peso de grano. ....</b>	<b>39</b>

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Cuadros anexos</b>	<b>Nº de pág.</b>
<b>Cuadro A-1: Descripción taxonómica de la planta de maíz. ....</b>	<b>74</b>
<b>Cuadro A-2: Plagas del suelo de importancia económica en el cultivo de maíz.....</b>	<b>74</b>
<b>Cuadro A-3: Elementos nutritivos necesarios para el maíz.....</b>	<b>75</b>
<b>Cuadro A-4: Retrospectiva periodo agrícola 2005/2015, superficie, producción y rendimiento. ....</b>	<b>75</b>
<b>Cuadro A-5: Características agronómicas de los germoplasmas de maíz. ....</b>	<b>76</b>
<b>Cuadro A-6: Evapotranspiración del cultivo de maíz (Etc). ....</b>	<b>79</b>
<b>Cuadro A-7: Caudal de los emisores litro por hora. (LPH). ....</b>	<b>80</b>

Cuadro A-8: Porcentaje de eficiencia del sistema de riego por goteo.....	80
Cuadro A-9: Promedios mensuales de precipitación de febrero a junio de 2016 .....	81
Cuadro A-10: Comportamiento de precipitación de febrero a junio del registro histórico de la base de datos de la FAO. (mm).....	81
Cuadro A-11: promedios mensuales de humedad relativa en porcentajes.....	82
Cuadro A-12: Promedios mensuales de temperatura máxima, mínima y promedios en grados centígrados (°C) .....	83
Cuadro A-13: Análisis del supuesto de normalidad según Shapiro-Wilks para altura de planta (m) en última etapa de su desarrollo. ....	83
Cuadro A-14: análisis de la varianza paramétrica para altura de planta (m) en su última etapa de desarrollo.....	83
Cuadro A-15: Prueba de Tukey para altura de planta (m) en la última etapa de desarrollo de según germoplasmas.....	83
Cuadro A-16: Prueba de Tukey para altura de planta (m) en la última etapa de desarrollo según los tratamientos.....	84
Cuadro A-17: Análisis del supuesto de normalidad según Shapiro-Wilks para diámetro de tallo (mm) en la última etapa de su desarrollo.....	84
Cuadro A-18: Análisis de normalidad para diámetro de tallo (mm) según criterio de Raíz Cuadrada.....	84
Cuadro A-19: Análisis de varianza no paramétrica según Kruskal y Wallis de diámetro de tallo (mm) en su última etapa de desarrollo según germoplasmas. ....	84
Cuadro A-20: Análisis de la varianza no paramétrica según Kruskal y Wallis de diámetro de tallo (mm) en su última etapa de desarrollo según tratamientos.....	85
Cuadro A-21: Prueba de comparación de A pares para diámetro de plantas (mm) en la última etapa de desarrollo de según los tratamientos.....	85
Cuadro A-22: Prueba de Comparación de A pares para días a floración según los tratamientos.....	85
Cuadro A-23: Análisis del supuesto de normalidad según Shapiro-Wilks para altura de mazorca (m) en última etapa de su desarrollo.....	85
Cuadro A-24: Análisis de normalidad para altura de mazorca (m) según criterio de Raíz Cuadrada.....	86
Cuadro A- 25: Análisis de la varianza no paramétrica según Kruskal Y Wallis de altura de mazorca (m) por germoplasmas. ....	86
Cuadro A-26: Prueba de Comparación de A pares para altura de mazorca (m) según germoplasmas. ....	86
Cuadro A-27: Análisis de la varianza no paramétrica según Kruskal y Wallis de altura de mazorca (m) según tratamientos. ....	86
Cuadro A-28: Prueba de Comparación de A pares para altura de mazorca (m) según los tratamientos.....	87

Cuadro A-29: Análisis del supuesto de normalidad según Shapiro-Wilks para longitud de mazorca (cm).....	87
Cuadro A-30: Análisis de la varianza (ANVA) paramétrica para longitud de mazorca (cm).....	87
Cuadro A-31: Prueba de Tukey para longitud de mazorca (cm)de según germoplasmas. ....	87
Cuadro A-32: Prueba de Tukey para longitud de mazorca (cm) según los tratamientos. ....	88
Cuadro A-33: Análisis del supuesto de normalidad según Shapiro-Wilks para diámetro mazorca (mm). ....	88
Cuadro A-34: Análisis de la varianza paramétrica (ANVA) para el diámetro mazorca (mm).....	88
Cuadro A-35: Prueba de Tukey para el diámetro de la mazorca (mm) según germoplasmas. ....	88
Cuadro A-36: Prueba de Tukey para el diámetro de mazorca (mm) según los tratamientos. ....	89
Cuadro A-37: Análisis del supuesto de normalidad según Shapiro-Wilks para número de hileras por mazorca. ....	89
Cuadro A-38: Análisis de normalidad para número de hileras por mazorca según criterio de Raíz Cuadrada.....	89
Cuadro A-39: Análisis de la varianza no paramétrica según Kruskal Y Wallis en número de hileras por mazorca de acuerdo a germoplasmas. ....	89
Cuadro A-40: Prueba de comparación de Apares para número de hileras por mazorca según germoplasmas.....	89
Cuadro A-41: Análisis de la varianza no paramétrica según Kruskal y Wallis para número de hileras por mazorca según tratamientos. ....	90
Cuadro A-42: Análisis del supuesto de normalidad según Shapiro-Wilks para porcentaje de llenado de mazorca.....	90
Cuadro A-43: Análisis de la varianza no paramétrica según Kruskal Y Wallis en porcentaje de llenado de mazorca de acuerdo a germoplasmas. ....	90
Cuadro A-44: Análisis de la varianza no paramétrica según Kruskal y Wallis en porcentaje de llenado de mazorca de acuerdo a los tratamientos.....	90
Cuadro A-45: Prueba de comparación de Apares para porcentaje de llenado de mazorca.....	91
Cuadro A-46: Auto vectores del diagrama de Biplot para las variables relacionadas con la mazorca del maíz.....	91
Cuadro A-47: Análisis del supuesto de normalidad según Shapiro-Wilks para rendimiento de grano (kg/ha).....	92
Cuadro A-49: Prueba de Tukey para el rendimiento de grano (kg/ha) según tratamientos. ....	93

<b>Cuadro A-50: Análisis del supuesto de normalidad según Shapiro-Wilks para rendimiento de biomasa (kg/ha).</b> .....	<b>93</b>
<b>Cuadro A-51: Análisis de la varianza paramétrica para el rendimiento de biomasa(kg/ha).</b> .....	<b>93</b>
<b>Cuadro A-52: Prueba de Tukey para el rendimiento de biomasa (kg/ha) según los periodos de estrés hídricos.</b> .....	<b>93</b>

<b>Figuras anexas</b>	<b>Nº de pág.</b>
<b>Figura A-1: Distribución del sistema de riego NaanDanJain Irrigation en el cultivo de maíz.</b> .....	<b>77</b>
<b>Figura A-2: Mapa de distribución de los tratamientos en los bloques.</b> .....	<b>78</b>
<b>Figura A-3: Constate teórico (Kc) para el cultivo de maíz.</b> .....	<b>79</b>
<b>Figura A-4: Constate calculada (Kc) para cultivo de maíz.</b> .....	<b>79</b>
<b>Figura A-5: Caudal de los goteros según lateral.</b> .....	<b>80</b>
<b>Figura A-6: Medias mensuales de precipitación de febrero a junio de 2016</b> .....	<b>81</b>
<b>Figura A-7: medias de precipitación de febrero a junio del registro histórico de la base de datos de la FAO. (mm)</b> .....	<b>82</b>
<b>Figura A-8: Diagrama Biplot de componentes principales para altura, longitud, diámetro, numero de hileras y porcentaje de llenado de mazorca</b> .....	<b>92</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

La sequía es un fenómeno temporal que resulta de un período seco prolongado en la época lluviosa. Las anomalías de precipitación se asocian generalmente, con alteraciones en el comportamiento de los sistemas meteorológicos que controlan el clima. En consecuencia, algunas sequías son de naturaleza localizada y tienen duración de períodos cortos. Otras, están extendidas por zonas muy grandes y persisten durante largos lapsos de tiempo (INETER 2005).

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

La Agricultura es una de las actividades de producción de alimentos más importantes a nivel mundial; sin embargo, es extremadamente vulnerable a los cambios drásticos del clima. En este contexto es importante considerar el efecto que el calentamiento global y los fenómenos del niño y la niña (ENOS) tiene sobre uno de los principales cultivos de la canasta básica en El Salvador, ya que la mayoría de cultivos se desarrollan fundamentalmente bajo condiciones dependientes del clima (Shaw 1988).

De acuerdo a los modelos meteorológicos todo indica que el fenómeno El Niño se mantendrá fuerte en los meses de marzo, abril y mayo de 2016 y comenzará a debilitarse y entrar a una etapa Neutra a partir de junio. Las lluvias de mayo a agosto serán deficitarias, con algunas sequías, bajo lo normal durante el mes de junio (SNET 2016).

El Niño Oscilación del Sur, es un patrón climático que consiste en la oscilación de elementos océano/atmósfera en el Pacífico ecuatorial central. La fase cálida de este patrón se le denomina “El Niño”, la última comenzó a gestarse desde 2014, de intensidad fuerte y tiende a debilitarse hasta condiciones neutras en junio de 2016, el evento contrario “La Niña” estaría gestándose durante agosto-septiembre (SNET 2016).

Estos fenómenos del ENOS afectan directamente el sector agropecuario e influye sobre el crecimiento y el desarrollo de los cultivos, los balances hídricos, la frecuencia de las lluvias, tipo de cultivo e intensidad de las siembras, así como en la severidad de la erosión de la tierra. También afecta, entre otras variables, la disponibilidad y temporalidad de los sistemas de irrigación (IPCC 2007).

El objetivo principal de la investigación fue evaluar el comportamiento productivo de dos germoplasmas de maíz (*Zea mays L*), variedad CENTA Pasaquina e Híbrido H-59, a diferentes períodos de estrés hídrico en el marco del cambio climático que afecta a El Salvador. Con el propósito de encontrar el nivel de tolerancia al estrés hídrico en los dos germoplasmas evaluados para fortalecer la toma de decisiones de los agricultores y los días de siembra del cultivo de maíz para mitigar los efectos de las sequías.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

### 2.1. Antecedentes.

En muchas especies de interés antropocéntrico como el maíz (*Zea mays* L.) se han estudiado las alteraciones, que el déficit hídrico provoca en diferentes etapas fenológicas, teniendo un impacto final en los componentes del rendimiento NeSmith y Ritchie (1992). En estudios realizados en México con una temperatura media anual entre 12 y 18°C., la precipitación media anual de 637 mm; se evaluaron cuatro variedades de maíz nativas y sus respectivas variedades mejoradas para resistencia a sequía, se ha demostrado que la pérdida en rendimiento de grano es particularmente severa si la sequía ocurre durante la floración o el llenado de grano (Claassen y Shaw 1970).

Los efectos de la sequía en maíz, cuando ocurre en etapas tempranas del desarrollo reproductivo se manifiestan, en una reducción del número de granos, debido principalmente a la absorción del ovario o esterilidad del polen; esto debido a que el déficit hídrico inhibe la fotosíntesis y disminuye el flujo de fotosintatos a los órganos en desarrollo Boyer y Westgate (2004). Cuando el estrés ocurre durante el desarrollo del cigoto, se provoca abortión o bien el saco embrionario puede ser afectado en su desarrollo entre un 15 y 43% induciendo una sincronía entre la anthesis y la floración femenina (Desai y Singh 2001), (Ouattar *et al.* 1987), (Ober *et al.* 1991).

Arrazate *et al.* (2008) compararon la respuesta a la sequía en términos de desarrollo vegetativo, desarrollo reproductivo y la acumulación de materia seca de cuatro variedades de maíz sometidas a diferentes niveles de estrés hídrico, hasta el punto de marchitez permanente, siendo éstos: 4, 10 y 20 días de sequía, seguidos de la aplicación inmediata de un riego de recuperación y riegos continuos hasta la cosecha. El crecimiento se detuvo por efecto de la sequía en las cuatro variedades, pero una vez que se aplicó el riego de recuperación, éste ocurrió de manera progresiva, de tal forma que las plantas sometidas a sequía igualaron y en algunos casos llegaron a superar a las de riego. Al finalizar el estudio se concluyó que las variedades mejoradas han desarrollado un mecanismo de resistencia a sequía llamado "latencia"; mediante el cual, las plantas detienen su crecimiento en condiciones extremas de sequía, pero en el momento en que nuevamente hay humedad en el suelo, reinician su desarrollo hasta completarlo.

En el año (2015) el MAG<sup>1</sup> registro cuatro periodos de sequía: el primero catalogado como sequía fuerte que afecto principalmente la zona oriental de El Salvador, se acumularon 24 días de sequía seguidos sin lluvia comprendidos entre el 14 de junio al 7 de julio. El segundo se registró como sequia débil y afectó el oriente y sur de los departamentos de San Miguel, Usulután, San Vicente y La Paz, se registraron ocho días consecutivos sin lluvia en el periodo del 10 al 17 de julio. El tercer y cuarto periodo se categorizó como sequia fuerte o severa con 19 y 20 días consecutivos sin llover (respectivamente) ambos afectaron mayormente la zona oriental y zona costera del país.

A causa de esta sequia provocada por el fenómeno del niño el MAG<sup>1</sup> (2015) registró pérdidas en pequeños agricultores por más de 70.10 millones de dólares en la sequía del año 2014 la cual se registraron dos periodos de sequía de 20 y 15 días consecutivos respectivamente en los meses de mayo a julio. Para el año 2015 se registró que la sequía afectó a un total de 102,609 pequeños productores, lo cual se perdieron 81,080 hectáreas cultivadas, estimándose un promedio de 350.10 dólares por hectáreas, de acuerdo a estos datos las pérdidas totales que registra el MAG son de 28 millones de dólares.

## **2.2. Cambio climático.**

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

Se ha detectado que el clima actual de la tierra está cambiando de una manera sin precedentes, al menos en los últimos 10,000 años. En un lapso relativamente corto de tiempo, se están presentando a nivel mundial alteraciones sensibles en los regímenes climáticos como sequías, precipitaciones torrenciales, olas de calor, y aumento en la intensidad de ciclones tropicales. La temperatura global de la superficie comenzó a ascender de manera rápida desde 1850, debido posiblemente a que las concentraciones de los gases de efecto invernadero se han incrementado. La tendencia lineal de 100 años

---

<sup>1</sup> MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2015. Charla técnica sobre cambio climático y agricultura panorama para El Salvador. San Salvador. 55 diapositivas.

desde 1906 a 2005, muestra un aumento en la temperatura promedio de 0.74°C (0.56°C a 0.92 °C), siendo los años noventa el decenio más cálido. Los escenarios climáticos para el siglo XXI no son alentadores ya que predicen un aumento en la temperatura, entre 1.4°C y 5.8°C (IPCC 2007).

Las dimensiones físicas de estos cambios climáticos están siendo analizadas en detalle y se cuenta con herramientas que permiten modelar las condiciones climáticas en el futuro. Sin embargo, se empieza a conocer el impacto que estos fenómenos han tenido y tendrán no sólo sobre la biodiversidad del planeta sino en un tema fundamental para el desarrollo social y económico de los países: la producción alimentaria. En el año 2009 el Banco Mundial señaló que, de los sectores económicos, el que probablemente sufrirá el impacto más directo e importante por los cambios graduales en la temperatura y la precipitación será la agricultura, la cual es una de las actividades determinantes en la evolución socioeconómica, cultural de muchos países (De la Torre *et al.* 2009).

El cambio climático representa una seria amenaza para los pueblos centroamericanos por sus múltiples impactos previstos en la población y en los sectores productivos. En términos fiscales constituye un pasivo público contingente que afectará las finanzas públicas de los gobiernos por varias generaciones. Se estima que para 2030 Centroamérica aun producirá menos de 0,5% de las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) del planeta, pero al mismo tiempo ya es una de las regiones más vulnerables ante los embates del cambio climático (Ordaz *et al.* 2010).

El Salvador es altamente vulnerable a los efectos climáticos. En años recientes el país se han incrementado el número y la intensidad de los desastres relacionados a los fenómenos del ENOS, con sus altas repercusiones sobre la economía del país. Un sector que es fundamental como proveedor de empleos y como impulsor del crecimiento económico es el agropecuario, el cual es altamente dependiente del clima y sobre él se han contabilizado grandes pérdidas ante los efectos climáticos. A futuro se espera que éstos se intensifiquen, que aumente la temperatura general y que la precipitación se reduzca. Hacia el año 2100 algunos escenarios proyectan que el clima aumentará entre 2° C y 5° C y que la precipitación disminuirá entre 18% y 40% (CEPAL 2010).

### 2.3. Estrés hídrico.

Es la presencia de un factor externo a la planta provocado por el medio ambiente cambiante, que ejerce una influencia negativa sobre su desarrollo óptimo. Es un concepto relativo ya que una determinada situación medioambiental puede resultar estresante para una especie y no para otras. La inmovilidad ha podido influir en que las plantas hayan adquirido y perfeccionado a lo largo de la evolución mecanismos de autodefensa (FAO 2006).

El agua evaporada por una superficie vegetal funciona al mismo tiempo como un estabilizador de la temperatura de las hojas ante la demanda evapotranspirativa de la atmósfera. A partir de esto, Jackson *et al.* (1981) presentó la teoría del balance energético que separa la radiación neta en calor sensible del aire y calor latente que incide en la transpiración. Cuando el cultivo se somete a estrés hídrico, las estomas se cierran, la transpiración decrece y la temperatura de la hoja aumenta. Cuando una planta transpira sin estrés hídrico, la temperatura de la hoja es entre 1 a 4 °C menor que la temperatura ambiental, en este caso el índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI). Cuando la transpiración decrece, la temperatura de la hoja asciende y puede alcanzar de 4 a 6 °C más que la temperatura del aire. En este caso, el déficit hídrico es alto, la transpiración de las hojas se ve drásticamente reducida con el incremento de la temperatura foliar; cuando la planta está muerta o no transpira durante mucho tiempo el WSI (Water Stress Indicator) es 1.

Según estudios de Cirilo & Andrade (1994), determinaron que un estrés hídrico severo desde el fin de la etapa vegetativa en adelante puede generar un incremento en el intervalo entre la emisión de polen (floración masculina) y la aparición de estigmas (floración femenina). Esto puede generar que al momento de la aparición de los estigmas ya no haya polen en abundancia dando lugar a una polinización incompleta de las espigas. Los óvulos no fertilizados comienzan a desintegrarse y desaparecen antes de que la espiga alcance la madurez fisiológica.

En estudios realizados por Fonseca & Westgate (2005), determinaron que, dependiendo de la disponibilidad de agua y las condiciones ambientales en la fase de floración del maíz, tomará desde sólo unas pocas horas hasta aproximadamente un día para que los tubos polínicos crezcan todo su camino hasta los óvulos. Cuando la planta de maíz se

encuentra bajo condiciones severas de estrés por sequía, el crecimiento del tubo polínico es más lento y el potencial para una fertilización exitosa decrece. Debido a que el número de granos por unidad de superficie está fuertemente asociado al rendimiento en grano, el estrés alrededor de floración genera las más importantes caídas de rendimiento. Es por ello que a este período alrededor de floración se conoce como período crítico para la determinación del rendimiento.

#### **2.4. Fenómenos del ENOS (El niño y La niña).**

El ENOS es un fenómeno oceánico-atmosférico que consiste en la interacción de las aguas superficiales del océano Pacífico tropical. El ENOS consta de dos fenómenos oceánicos principales: el calentamiento de las aguas tropicales del océano Pacífico conocido popularmente como fenómeno de El Niño y, por otro lado, el enfriamiento de las mismas aguas, fenómeno conocido como La Niña. La fase cálida de El Niño tiene un tiempo aproximadamente entre 8-10 meses. El ciclo del ENOS entero tiene una duración generalmente entre 3 y 7 años, y con frecuencia incluye una fase fría (La Niña) que puede ser igualmente fuerte, así como algunos años que no son anormalmente fríos ni cálida (IPCC 2007).

De acuerdo con WMO<sup>2</sup> (2012) la Niña se caracteriza por temperaturas de la superficie del océano inusualmente frías en la parte central y oriental del Pacífico tropical, mientras que El Niño se caracteriza por temperaturas anormalmente cálidas en la superficie del océano. Ambos fenómenos están íntimamente ligados a los cambios de la presión atmosférica y de las pautas de circulación a gran escala asociadas, y se consideran las fases opuestas de la interacción océano-atmósfera en la región, que se denomina “El Niño/Oscilación Austral (ENOA)”. Alteran el régimen habitual de las precipitaciones y la circulación atmosférica de las latitudes tropicales, y tienen repercusiones generalizadas en el clima de muchas partes del mundo, con los riesgos climáticos que ello conlleva. Se sabe que, tanto El Niño como La Niña, son fenómenos que se producen una vez cada 2 a 7 años y suelen durar de 9 a 12 meses y, en algunas ocasiones, hasta 2 años. Sin embargo, no se manifiestan siempre de la misma manera.

---

<sup>2</sup> WMO (World Meteorological Organization). 2012. La Niña. Los Fenómenos Meteorológicos Extremos Actuales. Ginebra. SW. Consultado: 20 feb/2016. Disponible: [https://www.wmo.int/pages/mediacentre/factsheet/.../laninaga.final\\_es.pdf](https://www.wmo.int/pages/mediacentre/factsheet/.../laninaga.final_es.pdf)

Según WMO (2012) en el contexto del cambio climático, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) indicó en su Cuarto Informe de Evaluación que, en estos momentos, nada indicaba realmente que se fueran a producir cambios discernibles de la intensidad o de la frecuencia de El Niño/Oscilación Austral en el siglo XXI. No obstante, ello no excluye posibles cambios de los fenómenos extremos asociados a ellos. En el Informe de Evaluación del IPCC se llega a la conclusión de que "Es muy probable que los fenómenos de calor extremo, olas de calor y fuertes precipitaciones continúen volviéndose más frecuentes".

## **2.5. Seguridad alimentaria.**

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO por sus siglas en inglés) define como seguridad alimentaria "cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias en cuanto a los alimentos a fin de llevar una vida activa y sana" (FAO 2006). Por lo tanto, se espera que gran parte de la población de los sitios tropicales e intertropicales se vean afectados en su seguridad alimentaria, sobre todo si se tiene en cuenta que en estos sitios se encuentran poblaciones de los países en vías de desarrollo. En 2005, casi la mitad de la población económicamente activa de los países en vías de desarrollo (2,500 millones de personas) dependía de la agricultura para asegurar sus medios de vida, a la fecha, el 75% de los pobres del mundo viven en áreas rurales (Nelson *et al.* 2009).

La agricultura es una de las actividades de producción de alimentos más importantes a nivel mundial, actualmente, 1.2 a 1.5 mil millones de hectáreas son tierras de cultivo (Howden *et al.* 2007). Sin embargo, tan sólo el 17% de ellas son manejadas con métodos de irrigación que permiten tener control en la cantidad de agua que requieren las plantas y mantener algún control sobre la producción. Algunas proyecciones indican que, en los próximos 20 años, debido al crecimiento poblacional, (se sumarán mil millones de personas a la población actual.) se necesitará incrementar al doble la producción de alimentos de 2 a 4 mil millones de toneladas de grano al año (Howden *et al.* 2007), OCDE (2010), (Tubiello *et al.* 2007).

En este contexto un punto importante a considerar frente al calentamiento global es que la agricultura es extremadamente vulnerable a los cambios drásticos del clima. Las

variaciones como el aumento de las temperaturas pueden reducir la producción de los cultivos deseados, y causar a la vez la proliferación de plagas. Así mismo los cambios en los regímenes de lluvias aumentan la probabilidad de que las cosechas se arruinen ya sea por sequías pronunciadas o por incrementos en la cantidad de lluvia. Aunque algunos cultivos en ciertas regiones del mundo pudieran beneficiarse, en general se espera que los impactos del cambio climático sean negativos para la agricultura, amenazando la seguridad alimentaria mundial (Nelson *et al.* 2009).

Merino (1998) evaluó los impactos del cambio climático en la seguridad alimentaria de El Salvador. En dicho estudio, el autor señala que entre los principales efectos del fenómeno ENSO (El Niño-Southern Oscillation) se encuentran modificaciones al régimen pluviométrico que se han visto reflejadas en un prolongamiento de la época seca. Bajo estas modificaciones al patrón de lluvias, los rendimientos de la producción de los principales granos al compararse con aquellos de temporadas normales presentan reducciones notables. Por ejemplo, en las sequías, la disminución promedio en el rendimiento del maíz blanco y el arroz es del 14% y 13%, respectivamente; mientras que, con lluvias anormales, el descenso promedio es del 23% y 25%, respectivamente. Estos dos granos básicos junto con el frijol constituyen la dieta básica de la población salvadoreña y su principal fuente de proteínas y calorías. Ello muestra la importancia de los impactos del cambio climático en la disponibilidad para la población de estos alimentos.

## **2.6. Generalidades del cultivo.**

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos de mayor variabilidad genética y adaptabilidad ambiental. A nivel mundial se siembra en latitudes desde los 30° N a 40° S y del nivel del mar hasta 3800 metros de altitud. La distribución del cultivo está en función de las condiciones climáticas (precipitación, altitud sobre el nivel del mar, temperatura, humedad relativa), tipo de suelo. A nivel mundial la producción de maíz entre el año 2010 y 2014 registró un incremento del 49,29%, llegando a ser en su último año 1018 millones de toneladas, concentrándose en EEUU y China el 59% de su producción total mundial. FAO (2014). Es el cereal nutritivo básico en la alimentación humana en algunos países latinoamericanos y europeos, debido al aporte en calorías y proteínas. El grano de maíz está constituido: 77% almidón, 2% azúcares, 9% proteínas, 5% aceites, 5% pentosanas y 2% ceniza (FAO 1993).

### **2.6.1. Origen.**

El maíz es un cultivo originario de América. Probablemente fue domesticado en un área limitada, pero sus características cambiaron radicalmente por incorporación de genes de especies emparentadas silvestres o por acción de diferente presión de selección en diversas regiones a medida que se dispersó del centro de origen (Harlan 1992).

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) es de gran relevancia para los pueblos americanos desde el sureste de Estados Unidos hasta el norte de Argentina, según la historia científica. México específicamente es considerado como el centro de origen y diversidad del maíz, un cultivo que ha estado prácticamente en toda la historia y desarrollo de los pueblos latinoamericanos (Buckler y Stevens 2006).

Se ha comprobado en investigaciones publicadas, desde 1985, que el *Teocintle* anual mexicano es el ancestro del maíz. Estas investigaciones han permitido aportar elementos para que, en la actualidad, con gran consenso de la comunidad científica internacional se compruebe cual es el verdadero origen del maíz (Gaut *et al.* 2000).

El maíz cultivado originado del *Teocintle* tunicado, en el cual los granos están cubiertos por brácteas individuales como ocurre con otros cereales y en casi todas las gramíneas, por mutación o por hibridación de éste con otra gramínea actualmente extinguida surgió la mazorca del maíz que sería el resultado de la fusión de las ramificaciones laterales con la espiga central (Doebley 1990).

### **2.6.2. Distribución geográfica.**

El cultivo de maíz tiene una amplia distribución geográfica que se encuentra desde las regiones este y sureste de Estados Unidos, México, América Central, Europa Central y Oriental y Sur América, además se cultiva en toda la franja ecuatorial del sudeste asiático y África central. En general la mayor proporción del cultivo de maíz es producido en latitudes entre 30° N a 40° S (Cazco 2006).

### **2.6.3. Clasificación taxonómica.**

Planta monocotiledónea que pertenece al grupo de las fanerógamas (plantas con flores) teniendo un tipo de división espermatofitas (reproducción por semilla) de la familia gramíneas (*Poaceae*), Tribu *Mayda*, con dos géneros: *Zea* (2n=20) y *Tripsacum* (2n=36).

El género *Zea* tiene además de la especie *Z.*, en el (Cuadro A-1) se representa la clasificación taxonómica. *mays*, maíz común, cuatro especies conocidas como *Teosintes* *Z. mexicana*, *Z. luxurians*, *Z. diploperennis* y *Z. perennis* (INTA 2010).

#### **2.6.4. Descripción botánica.**

El maíz es una gramínea anual, C4, diclina-monoica, con una espiga masculina terminal y generalmente una femenina axilar. Estas últimas son cilíndricas cubiertas por brácteas herbáceas, por debajo de ellas están los granos que una vez maduros y secos pesan aproximadamente 0,3 gr. c/u y se ubican en hileras pares (4-36 hileras) sobre el marlo (olote) o raquis, el cual es corchoso (Arenas y Barros 2013).

#### **2.6.5. Descripción morfológica.**

El maíz es una planta de buen porte desde 130 cm hasta 260cm, con un sistema radicular homorrizo y un tallo con abundante follaje, llegando a tener de 30 a 50 hojas. Regularmente se forman una o dos yemas laterales en la axila de las hojas de la mitad superior de la planta, las cuales darán origen a la inflorescencia femenina, precursora de las mazorcas, mientras que en el extremo superior de la planta se forma la inflorescencia masculina, también llamada espiga (Mera y Montaña 2015).

##### **2.6.5.1. Raíz.**

El sistema radicular de la planta de maíz es homorrizo y consta de tres tipos de raíces.

1. Primaria o seminal
2. Secundarias o adventicias
3. Terciarias

La raíz primaria es aquella que se origina de la radícula del embrión y duran poco tiempo. Las secundarias son en cabelleras llegando a una profundidad de 0,50 m. y unos 0,30 m. de diámetro.

Las raíces terciarias o adventicias, se ubican por encima del primer nudo, son gruesas, están a la vista, son de color verde y sirve para fijación y absorción de agua y nutrientes (Arenas y Barros 2013).

#### **2.6.5.2. Tallo.**

Es herbáceo, erecto, llegando a una altura de 2,5 a 3 m., es robusto y tiene una médula esponjosa que se aprecia a simple vista si se realiza un corte transversal. En las nuevas variedades encontramos de alturas aproximadas de 1,8 a 2 metros (Parsons 1988).

#### **2.6.5.3. Hojas**

Las hojas son largas, lanceoladas, alternas, paralelinervas. Se encuentran abrazadas al tallo y por el haz presenta vellosidades. Los extremos de las hojas son muy afilados y cortantes. La vaina de la hoja forma un cilindro alrededor del entrenudo, pero con los extremos separados (Parsons 1988).

#### **2.6.5.4. Flor.**

La inflorescencia terminal estaminada (espiga) o flor masculina; y flores femeninas pistiladas, ubicadas en yemas laterales (mazorcas); Como resultado de esta separación de mazorca y panoja, y del fenómeno llamado protrandia en la floración, el maíz es una especie alógama (de polinización cruzada) y su tipo de inflorescencia ha permitido la producción de híbridos con alto potencial de rendimiento y amplia adaptación (Garces 1998).

#### **2.6.5.5. Fruto.**

En la mazorca, cada grano o semilla es un fruto independiente llamado cariósipide que está insertado en el raquis cilíndrico u olote; la cantidad de grano producido por mazorca está limitada por el número de granos por hilera y de hileras por mazorca (Garces 1998).

#### **2.6.5.6. Composición del grano.**

Según Arenas y Barros (2013) el grano o semilla se compone de las siguientes partes más importantes.

1. **Pericarpio:** Proviene totalmente de la planta madre, su función es proteger la semilla de golpes, enfermedades y ataques de insectos.
2. **Endospermo:** Tiene un 90% de almidón y un 7% de proteínas con algo de aceite y minerales. Está constituido por gránulos de almidón dispersos en una matriz de proteína.
3. **Embrión:** Está formado por el eje embrionario o nueva planta y el escutelo que es la reserva para la planta en crecimiento y contiene entre un 35-40% de aceite.

### 2.6.5.7. Semilla.

Cada grano o semilla es un fruto independiente llamado cariósipide que está insertado en el raquis cilíndrico u olote; la cantidad de grano producido por mazorca está limitada por el número de granos por hilera y de hileras por mazorca (Arenas y Barros 2013).

### 2.7. Ciclo Vegetativo.

El ciclo vegetativo del maíz empieza con la emergencia, de unos 3 a 6 días de duración, y comprenden desde la siembra hasta la aparición del coleóptilo. Una vez el maíz germinado, empieza el período de crecimiento en el cual aparece una nueva hoja cada tres días, si las condiciones de clima son normales a los 20 días de la emergencia, la planta deberá tener 5 a 6 hojas, alcanzándose su plenitud foliar dentro de cuatro o cinco semanas. Se considera como la fase de floración en el momento en que la panoja formada en el interior del tallo se encuentre emitiendo polen y se produce el alargamiento de los estilos, la emisión del polen suele durar en función de la temperatura y de la disponibilidad hídrica, unos 8 o 10 días (Sandal 2014).

#### 2.7.1. Fases fenológicas del maíz.

Una fase fenológica viene a ser el período durante el cual aparecen, se transforman o desaparecen los órganos de las plantas (Monsanto 2008).

De acuerdo al CYMMIT (2015) las fases fonológicas del maíz se describen a continuación:

1. **Emergencia (VE):** aparecen las plántulas por encima de la superficie del suelo
2. **Aparición de hojas (V1..., Vn):** Comienza desde que aparecen las dos primeras hojas, debiéndose anotar como fase dos hojas, y así sucesivamente de acuerdo al número de hojas que vayan saliendo hasta el inicio de la fase panoja.
3. **Panoja y espigamiento (VT y R1, R2):** Se observa al salir la panoja de la hoja superior de la planta, sin ninguna operación manual que separen las hojas que la rodean. Salida de los estigmas (barba o cabello de choclo), se produce a los ocho o diez días después de la aparición de la panoja.
4. **Formación de grano lechoso y pastoso (R3..., R5):** Se ha formado la mazorca; y los granos al ser presionados presentan un líquido lechoso. Los granos, al ser presionados, presentan una consistencia pastosa.

5. **Maduración fisiológica:** Los granos de maíz están duros. La mayoría de las hojas se han vuelto amarillas o se han secado.

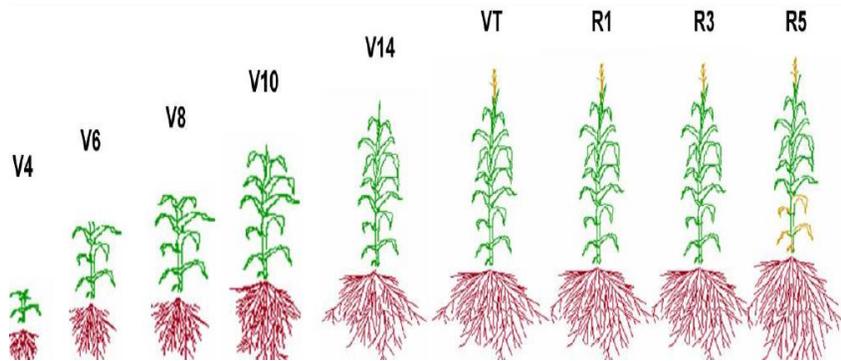


Figura 1: fases de desarrollo fenológico de la planta de maíz.  
Fuente: Campos *et al* 2006

**Etapas fenológicas de la planta de maíz:** se representa en el cuadro 1, delimitada por dos fases fenológicas sucesivas. Dentro de ciertas etapas se presentan períodos críticos, que son el intervalo breve durante el cual la planta presenta la máxima sensibilidad a determinado evento meteorológico, de manera que las oscilaciones en los valores de éste evento se reflejan en el rendimiento del cultivo; estos periodos críticos se presentan generalmente poco antes o después de las fases, durante dos o tres semanas. El comienzo y fin de las fases y etapas sirven como medio para juzgar la rapidez del desarrollo de las plantas (Monsanto 2008).

Cuadro 1: etapas fenológicas consideradas en el maíz.

ETAPA	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN
I etapa	Siembra	Emergencia
II etapa	Emergencia	Panoja
III etapa	Panoja	Espiga
IV etapa	Espiga	Maduración

Fuente: Yzarra 2010

## **2.8. Condiciones edafo-climáticas del cultivo.**

### **2.8.1. Clima.**

La mayor proporción de maíz es producido en latitudes entre 30° N a 40° S. Prácticamente no se produce maíz en áreas en las que la temperatura promedio a mitad de la época seca es menor a 19°C o donde la temperatura media nocturna durante los meses de época seca es menor a 13°C. La mayor producción ocurre donde las isotermas de los meses más cálidos están en el rango de 21 a 27°C y la estación libre de heladas es de 120 a 180 días (Shaw 1988).

### **2.8.2. Temperatura.**

Aunque el maíz es originario de los Trópicos, el crecimiento óptimo del cultivo ocurre a temperaturas de 24 a 30°C. Temperaturas nocturnas altas no favorecen el crecimiento del cultivo, sino que incrementan las tasas de respiración y de esta forma se reduce el peso seco acumulado durante el día por la fotosíntesis (Fassio *et al.* 1998).

### **2.8.3. Radiación solar.**

La energía solar utilizada por el maíz es la proveniente de longitud de onda entre 0.4 y 0.7 micrones, la llamada radiación visible del espectro. Radiación alta y temperaturas excesivamente altas, pueden causar que la fotosíntesis del estrato superior de hojas cese por el fenómeno de foto inhibición. La cantidad de radiación potencialmente interceptarle en un período fenológico específico está determinada por la radiación incidente diaria, la que a su vez determina la tasa de crecimiento del cultivo, y por la temperatura, que define la duración del período. La cantidad de radiación interceptada en el período crítico de floración, define el número de granos, mientras que aquella interceptada durante el período de llenado de granos, define el peso de mil granos (Fassio *et al.* 1998).

### **2.8.4. Viento y evapotranspiración.**

Aunque no es posible controlar la humedad del suelo, excepto en condiciones de riego, sí se puede conocer bajo qué condiciones se obtiene el máximo rendimiento. En condiciones variables de humedad del suelo, la espiga más larga es producida con 60% de saturación, mientras que la máxima acumulación de peso de la planta alcanza un 80%. A contenidos de humedad mayores el crecimiento de las plantas es mayor pero no corresponde por un aumento en el tamaño de las espigas. El viento es un factor muy importante cuando se consideran las pérdidas de agua a través de la evapotranspiración,

las que por su parte aumentan con la temperatura alta. Durante períodos de viento, alta radiación solar y alta temperatura más agua es extraída por evaporación de la superficie del suelo y por transpiración de las hojas que en ausencia de estas condiciones (Shaw 1988).

#### **2.8.5. Precipitación.**

En el trópico el cultivo de maíz rara vez es cultivado bajo riego, aunque la variabilidad natural en la cantidad y distribución de la lluvia significa que puede ocurrir en cualquier momento del ciclo del cultivo, debido a diferentes fenómenos climáticos. El maíz cultivado en las zonas tropicales necesita al menos de 500mm a 700mm de lluvia bien distribuida a lo largo de todo el ciclo de cultivo; en la práctica el cultivo se realiza, por lo general, en áreas que reciben de 750 a 1 750mm anuales. En estudios hechos en Nicaragua se estimó que la precipitación en el cultivo del maíz varía desde 2mm/día durante etapas iniciales hasta 6.5mm/día en los días antes de maduración. Luego baja hasta 3mm/día en los días antes de maduración completa (Espinoza *et al.* 1999).

El Salvador está situado en la parte exterior del cinturón climático de los trópicos. Durante el año, los cambios en las temperaturas son pequeños, en contraste a las lluvias que muestran grandes oscilaciones en el transcurso del año. Se presentan dos estaciones seca y lluviosa y dos transiciones seca lluviosa y lluviosa seca. Está clasificado en las siguientes zonas climáticas: Sabana tropical caliente con elevaciones desde 0 a 800 msnm, Sabana tropical calurosa con elevaciones desde 800 a 1200 m.s.n.m. y Tierras frías cuyas elevaciones van de 1200 a 2700 metros sobre el nivel medio del mar (CPC 2015).

En el país se pronostica que el Inicio de la Estación de Lluvias (IELL), ocurre en promedio a escala nacional el 21 de mayo. Esto sucede cuando comienza a llover regularmente 5 mm diarios o 25 mm acumulados en cinco días. En fase cálida del ENOS, como el caso actual y/o condiciones frías del ATN, el IELL tiende a retrasarse; por esto, se espera con mayor probabilidad que la estación de lluvias 2016 comience a finales del mes de mayo. Durante junio se espera que haya sequía, se prevé que llueva entre 150 y 425mm, pero las anomalías por debajo del promedio, cubrirían todo el país hasta 127mm en valles de la zona occidental donde en promedio llueve 326mm. En julio habría una mejora de las

lluvias, aunque podría haber sequías débiles. En este mes se prevé lluvias totales entre 200 y 450mm, con anomalías normales (MARN 2016).

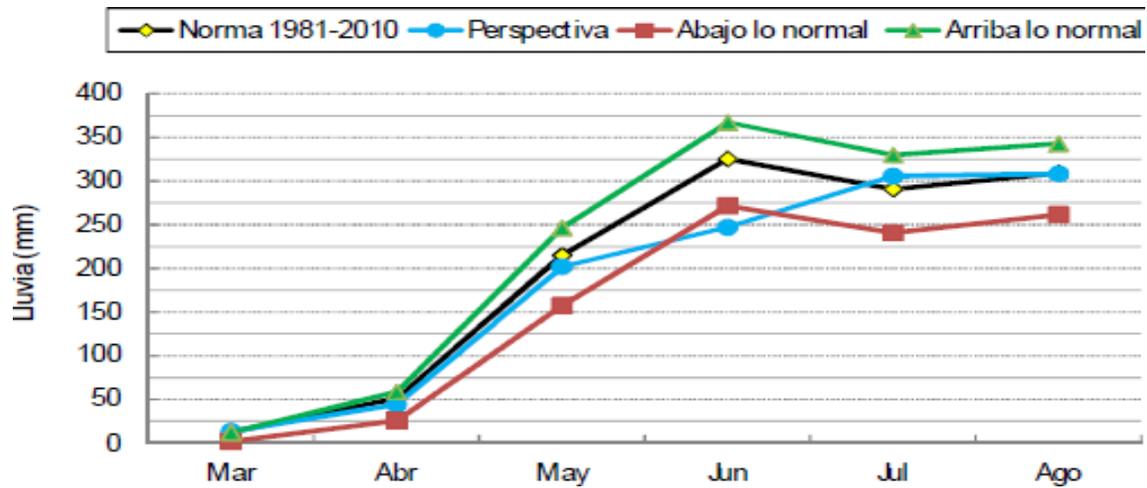


Figura 2: perspectiva de precipitación de marzo a agosto de 2016.  
Fuente: CPC 2015

### 2.8.6. Humedad relativa.

En el cultivo de maíz, además de la precipitación de 700mm de lluvia, que se distribuyen durante el ciclo de cultivo, no es suficiente si la humedad no puede ser almacenada en el suelo a causa de la poca profundidad de éste o del escurrimiento, o si bien la demanda evaporativa es muy grande a causa de las temperaturas elevadas y la escasa humedad relativa. Las fuertes necesidades de agua del maíz condicionan también el área del cultivo. Las mayores necesidades corresponden a la época de la floración, comenzando 15 o 20 días antes de ésta, con una humedad relativa de 80% (Espinoza *et al.* 1999).

### 2.8.7. Edafología.

El maíz se adapta a una amplia variedad de suelos donde puede producir buenas cosechas, si se emplean los cultivares adecuados y técnicas de cultivo apropiadas. Los suelos más idóneos para el cultivo del maíz son los de textura media (francos), fértiles, bien drenados, profundos y con elevada capacidad de retención para el agua. Crece bien en suelos con pH entre 5.5 y 7.8. Fuera de estos límites suele aumentar o disminuir la disponibilidad de ciertos elementos y se produce toxicidad o carencia. Cuando el pH es inferior a 5.5 a menudo hay problemas de toxicidad por aluminio y manganeso, además

de carencia de fósforo y magnesio; con un pH superior a 8 (o superior a 7 en suelos calcáreos), tiende a presentarse carencia de hierro, manganeso y zinc (Derás 2014).

## **2.9. Técnicas de manejo del cultivo**

### **2.9.1. Requerimiento hídrico**

La disponibilidad de agua en cantidades adecuadas al requerimiento de la planta, posibilita que el cultivo pueda desarrollarse adecuadamente y que potencie el rendimiento. La utilización del agua está en función del desarrollo fenológico de la planta y se correlaciona con otras variables muy importantes como la capacidad de campo, evapotranspiración y temperatura. La cantidad de agua accesible al cultivo depende de la profundidad explorada por las raíces, de la disponibilidad a dicha profundidad y de la efectividad con que las raíces pueden extraer la humedad del suelo en los distintos niveles (Lafitte 1994).

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 (Heisey y Edmeades 1999).

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, b) En fase de floración y c) en fase de llenado de grano. Se han realizado diferentes estudios en maíces tropicales para simular y cuantificar potencialmente el efecto de la reducción del grano por efecto de sequía. La reducción de agua en el cultivo del maíz durante el período de prefloración, floración y post-floración provoca pérdidas de 25%, 80% y 50%, respectivamente. 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 (Heisey y Edmeades 1999).

El umbral mínimo de precipitación desde el cual puede esperarse cosecha de granos es de 150mm. El maíz necesita por lo menos 500 a 700mm 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 (Lafitte 1994).

El requerimiento mínimo que las plantas de maíz necesitan para cumplir las diferentes fases de crecimiento se presenta en el cuadro 2.

Cuadro 2: Requerimiento hídrico (mm) del maíz.

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

Fuente: ICTA 2002

### 2.9.2. Preparación del suelo

La labranza mínima es un método beneficioso para agricultores que tienen terrenos inclinados o con buen drenaje, ya que disminuye la erosión; también permite una mayor retención de humedad al no remover ni exponer el suelo a la acción del viento. Si la preparación del suelo es mecanizada, es conveniente realizar un paso de arado, dos o tres pasos de rastra y si fuera posible, realizar una nivelación del suelo (Morales 2008).

### 2.9.3. Siembra

La siembra puede efectuarse en dos métodos o formas

1. **Manual:** Esta se efectúa especialmente en terrenos con pendientes mayores al 20%, utilizando para ello el chuzo para hacer un hueco en el suelo y depositar la semilla.
2. **Mecanizada o con tracción animal:** Este método se utiliza en terrenos de topografía plana a semiplano, donde tanto la preparación del suelo como la siembra pueden ser mecanizadas. Se puede también realizar la preparación de suelo (arado, rastra) con maquinaria (CENTA 2013).

### 2.9.4. Época de siembra

En El Salvador se conocen 3 épocas de siembra según CENTA (2011).

1. **Primera:** Esta época generalmente comprende desde el 15 al 30 de mayo, para la zona costera (0 a 400 msnm); y del 15 de mayo hasta el 15 de junio, para los valles intermedios (400 a 900 msnm).

2. **Postrera:** Época llamada también tunalmil, comprendida del 15 al 31 de agosto, especialmente para valles intermedios (400 a 900msnm) y la región oriental del país.
3. **Apante:** Se realiza en aquellos terrenos que permanecen inundados durante la época lluviosa, los cuales retienen suficiente humedad para ser utilizada hasta que la época lluviosa finalice.

#### 2.9.5. Distanciamiento de siembra

El distanciamiento según el método manual los distanciamientos entre surco son de 0.80cm entre surcos y entre posturas, 0.40cm. Y si es mecanizada aproximadamente a 0.10cm entre postura y a 0.30cm entre surco (CENTA 2010).

#### 2.9.6. Densidad de siembra

Para el método manual la densidad será 50,000 plantas por hectárea (35,000 plantas/mz). En el método mecanizado con una densidad de 65,000 por hectárea (45,500 plantas/mz) (CENTA 2010).

#### 2.9.7. Control fitosanitario.

De acuerdo al crecimiento fenológico del cultivo de maíz, este puede ser afectado por la presencia de plagas y enfermedades que pueden incidir negativamente, disminuyendo el potencial de rendimiento y productividad del mismo. Es importante conocer la fisiología y fenología de la planta, de las relaciones dinámicas entre sus etapas de crecimiento (Gordón 2007).

**Insectos plaga del suelo:** según Deras (2006) el manejo fitosanitario de las plagas del suelo que atacan al cultivo de maíz se describen en el (Cuadro A-2).

**Insectos plagas del follaje:** las plagas del follaje de mayor importancia económica según Deras (2006) se describen a continuación.

**Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*):** Es una plaga universal de gran importancia económica, depende factores como la edad de la planta, estadio de plaga, condición del clima.

**Tortuguillas (*Diabrotica sp, Acalymma sp, Cerotoma sp, Colaspis sp*):** Dependiendo de su densidad poblacional puede tener poca o mucha importancia.

**Control químico:** se realiza con productos que ofrece el mercado en el cuadro 3 se describen.

Cuadro 3: productos y dosis para control químico de gusano cogollero y tortuguillas.

PRODUCTO	DOSIS
Teflubenzuron	10 cc/bomba de 20 lt
Lufenuron	0.5 copa/bomba de 20 lt
Bacillus thuringiensis	1.5 copa/bomba de 20 lt
Deltametrina:	15 cc/bomba de 20 lt
Deltametrina,	25 tab (1-2 tabletas/bomba de 20 lt
Foxim	1 copa/bomba de 20 lt

Fuente: CENTA 2008

**Chicharrita del maíz, cigarrita (*Dalbulus maydis*):** Los adultos y ninfas chupan la savia en la base de las hojas y pueden causar amarillamiento, pero su principal importancia es que son transmisores de los virus que causan el achaparramiento y el rayado fino del maíz.

**Control químico:** Tratar la semilla con un producto sistémico como *Imidacloprid*, en dosis de 136 g por 30lb de semilla; hacer aplicaciones foliares con *deltametrina*.

**Barrenadores del tallo (*Diatraea sp*):** Plaga de moderada importancia. La severidad del daño depende de la edad de la planta.

**Control químico:** Una aplicación de granulados al cogollo da buen resultado. Se pueden mencionar otras plagas como: *Elasmopalpus lignosellus* (barrenador menor del maíz), *Helicoverpa zea* (elotero), *Stigmene acrea* (gusano peludo), *Euxesta major* (mosca del tallo) pueden ser de ocurrencia esporádica y localizada.

#### 2.9.8. Programa de fertilización.

El maíz es una planta con capacidad de crecimiento rápido y alta producción que requiere cantidades considerables de nutrimentos (Cuadro A-3), esto se garantiza de acuerdo a los análisis de suelos previo a la siembra para cubrir dichas necesidades de nutrientes (Deras 2003).

DISAGRO (2016) recomienda una primera fertilización para el cultivo de maíz con formula 17-8-10 + S con relación de 260kg/ha. Segunda fertilización con 21-0-12 + S con una

relación de 260kg/ha. Tercera fertilización aplicando 40 N + 6 S y una relación de 130kg/ha. Además, recomienda aplicaciones de foliares suplementarias con micro elementos.

### 2.9.9. Control de malezas.

Las malezas es cualquier cultivo constituye un peligro y causa daños al cultivo de maíz. El desarrollo del cultivo en los primeros 30 días es crítico, por lo que se debe asegurar que crezca libre de la competencia de malezas (Netafim 2015).

**Control Mecánico:** Sí las malezas se combaten mecánicamente, se deben efectuar dos limpiezas durante los primeros 30 días de crecimiento del cultivo, en forma superficial, sin dañar el sistema radicular del cultivo, con cultivadora adaptada a un tractor y dependiendo del tipo de terreno. (Netafim 2015)

**Control Químico:** Consiste en aplicar herbicidas solos o mezclados inmediatamente después de la siembra (pre-siembra) o pos-emergencia, cuando las malezas tengan dos o tres hojas (cuadro 4). Este control tiene la ventaja de evitar daños al sistema radicular de las plantas. Al aplicar estos productos, se debe tener cuidado, ya que sus dosis varían con la edad de las malezas, tipo de suelos, contenido de materia orgánica, así como de las condiciones climáticas del lugar: temperatura, viento entre otras (Netafim 2015).

Cuadro 4: Herbicidas para control de malezas dosis por hectárea.

<b>(PRE EMERGENTES)</b>	
<b>Alachlor</b>	2.8 – 3.4 kg
<b>Atrazine</b>	1.8 – 2.3 kg
<b>(POST EMERGENTES)</b>	
<b>Glyphosate</b>	1.15—4.5kg
<b>Pendimethalin</b>	0.95 – 1.9 kg
<b>Glyphosate</b>	1.15 – 4.5 kg
<b>4-D amine</b>	2 0.26 – 0.52 kg
<b>Paraquat</b>	0.28 – 0.56 kg
<b>Metribizin</b>	0.085 – 0.170 kg

Fuente: Netafim 2015

## **2.10. El cultivo de maíz en El Salvador**

En El Salvador existen 395,588 productores agropecuarios, de los cuales 370,692 son productores de granos básicos, y de ellos 365,680 se dedican a la producción de maíz. El 92% son productores individuales y el resto son cooperativas, o empresas privadas o públicas. En total, en el último ciclo agrícola 2014/2015 se cultivaron 449,061mz, con una producción promedio de 39.7qq/mz. En comparación al ciclo 2013/2014 hubo una disminución del 10-15% en la producción debido a los efectos de las sequías provocadas por el fenómeno del niño (DGEA 2013).

**Productores de semilla:** Existen 17 productores de semilla de maíz (9 del sector cooperativo, 4 empresas asociativas que actúan independientemente y 4 empresas privadas asociadas en ASPRODES). En el ciclo 2012-2013 cultivaron 1,300mz, con un rendimiento promedio de 63qq/mz y una producción total de 82,000qq de semilla, la cual es vendida en su totalidad al gobierno para el programa de entrega de paquetes agrícolas. La variedad principal que producen es el híbrido H-59, desarrollado por el CENTA, el cual tiene un potencial productivo de hasta 105qq/mz. Otros cultivares producidos en menor escala son ORO BLANCO, un híbrido de alta calidad proteica con potencial productivo de hasta 115qq/mz, y CENTA Pasaquina, una variedad de polinización libre tolerante a la sequía (IICA 2014).

## **2.11. Importancia del cultivo de maíz**

La importancia del cultivo de maíz en El Salvador tiene rasgos económicos, sociales y culturales. Aporta el 21% del valor de la producción agropecuaria, y se estima que más de 300 mil personas dependen del cultivo como actividad fuente de ingresos. Además, tiene un papel clave en la dieta salvadoreña. El incremento de precios de los granos básicos en el ámbito internacional, regional y nacional ha generado mucha preocupación, considerando la vulnerabilidad económica de muchas familias rurales y urbanas que dependen de la compra de granos para su alimentación. Asimismo, el Programa Mundial de Alimentos (PMA) de las Naciones Unidas, estima que el costo total de la desnutrición en 2004 en El Salvador fue equivalente al 7.4% del PIB, tomando en cuenta gastos adicionales en salud y pérdida de productividad. El aumento en precios de los granos podría contribuir a un agravamiento de estos datos en el futuro del país (PMA 2004)

## 2.12. Importancia económica

Según los registros del MAG (2013) indican que el país exportó 372,284qq de maíz blanco a las diferentes naciones de Centroamérica, superior a los 4,000qq exportados en 2012. En la figura 3, podemos ver que, definitivamente las exportaciones de maíz blanco subieron entre enero y noviembre, siendo 375 mil qq, según datos del BCR (Banco Central de Reserva), aunque fueron inferiores a las importaciones.

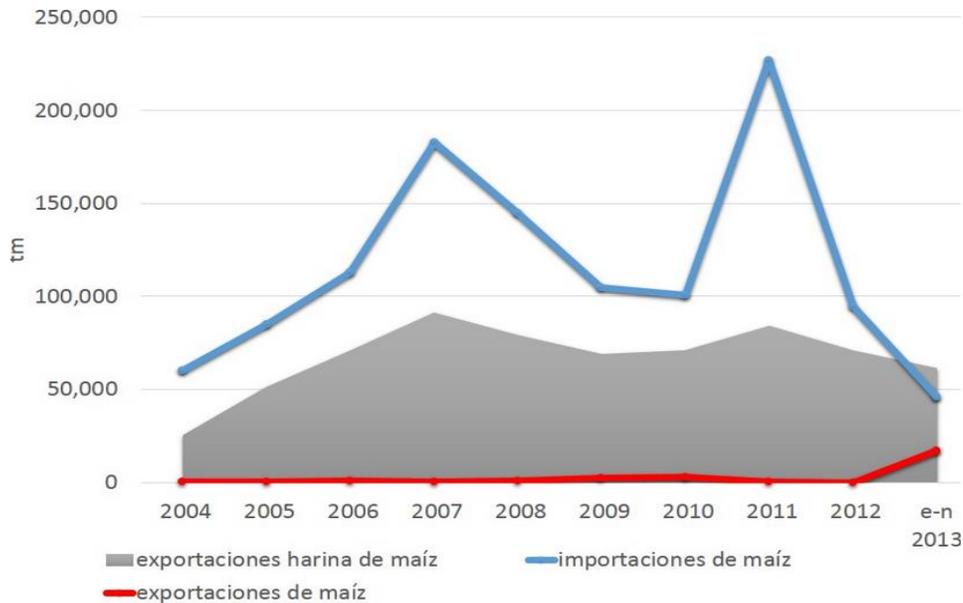


Figura 3: Comercio de maíz y harina en el salvador periodo 2004/2013.  
Fuente: BCR 2013

Las importaciones de maíz se han reducido en los últimos años, pero también las exportaciones de harina de maíz, que usualmente son equivalentes al 60-80% de las importaciones. Si se convirtiera la harina de maíz en su equivalente en grano (usando un factor de conversión de 92 lb de harina por 100 lb de maíz), se podría postular que el país fue superavitario en su producción de maíz blanco en el año 2013 (BCR 2013).

El clima generalmente fue muy favorable para el cultivo de maíz en la región centroamericana, resultando en una buena cosecha regional, incluyendo en El Salvador. El MAG (2013) también señala que los paquetes agrícolas incentivaron la producción. Registrando producciones de maíz en el año 2013 de 20,368,465 millones qq, superior a los 17,291,237 millones qq registrados en 2009. La estimación por parte del MAG, según la encuesta de Intenciones de Siembra, proyectó una producción de 18.2 millones de qq

para el periodo agrícola de 2013/14 en 75 mil mz casi acertando la producción real obtenida en dicho periodo. Por otro lado, el programa de paquetes agrícolas entregó 379 mil paquetes de semilla de maíz, y utilizando un rendimiento promedio de 50 qq/mz, obteniendo una producción real de 19,067,431 millones de qq a pesar de que se registraron largos periodos de sequía debido al fenómeno de niño.

### **2.13. Rendimientos**

A nivel mundial los países que presentan los mayores promedios de rendimientos de grano de maíz, oscilan entre 5.5tm a 7.5tm por hectárea, los países que presentan los más altos rendimientos son EE. UU y China de 15.5tm/ha, UE e India 10.2tm/ha, Brasil 8.5tm/ha, Argentina es de 7.9tm/ha y México con 5.6tm/ha (USDA 2013).

La productividad nacional actual del maíz blanco, en términos de rendimientos, fluctúa entre 25.5qq/mz a 35qq/mz a nivel de pequeños agricultores y agricultores con tecnología tradicional y los 35 a 55qq/mz para el nivel tecnificado, en las mejores condiciones edafoclimáticas, el rendimiento promedio ponderado nacional es de 39.7qq/mz (ENAPM 2015).

En el (Cuadro A-4) se presenta una retrospectiva de superficie, producción y rendimiento del cultivo de maíz en el periodo agrícola 2014/2015.

### **2.14. Híbrido H-59**

El Híbrido H-59 posee buenas características agronómicas, alto potencial de rendimiento de 95 hasta 115qq/mz, y se puede sembrar en un amplio rango de altitud, de 0 a 1000 msnm. En general, esta variedad prefiere los suelos con textura media (francos), fértiles, bien drenados, profundos y con elevada capacidad de retención para el agua y suelos con pH entre 5.5 y 7.8; La densidad de siembra recomendada por el CENTA (2014) es 0.8 m entre surcos y 0.4m, sembrando dos plantas por postura. Hacer tratamiento de la semilla. Sembrar en monocultivo o en relevo con sorgo.

### **2.15. Variedad CENTA Pasaquina**

De acuerdo a estudios realizados por el CENTA (2011) esta variedad tiene resistencia al estrés hídrico en condiciones de suelos de escasez de humedad en la zona oriental dando como resultado rendimientos de 59 a 65 quintales por manzana con un ciclo de 90 a 95 días.

Cuadro 5: Comparación de rendimiento de cuatro variedades de maíz con CENTA Pasquina.

<b>MATERIAL</b>	<b>TONELADAS/HA</b>	<b>QQ/MZ</b>
<b>CENTA Pasquina*</b>	3.81	59
<b>Texteño Ciclo 6**</b>	2.8	43
<b>Texteño Sequia**</b>	2.5	39
<b>Compuesto 2**</b>	2.5	39
<b>Criollo**</b>	2.80	43
<b>CENTA M3-B</b>	1.6	25

Fuente: CENTA 2011

\*régimen normal de lluvia

\*\*régimen irregular de lluvia en el desarrollo del cultivo.

Según la guía técnica del CENTA (2014), en El Salvador, existen zonas bien marcadas por períodos secos durante la estación lluviosa: la zona Nor-oriental del país, la zona Norte del departamento de Santa Ana y Sur del departamento de Ahuachapán. Estas zonas se caracterizan porque prevalecen los suelos pobres e inclinados, donde el efecto de las canículas es más severo para la producción de granos básicos. Posee buenas características agronómicas, alto potencial de rendimiento (55-60qq/mz) y especialmente tolerante a la sequía. Desde su liberación en 1988, CENTA-Pasquina ha sido muy utilizada por agricultores de la zona oriental y se le conoce con el nombre de “Planta Baja” debido a la baja altura alcanzada, producto de la degeneración sufrida por los métodos inadecuados de auto producción de semilla por parte de los productores, las características agronómicas de los germoplasmas de maíz en estudio se presentan en el Cuadro A-5 (CENTA 2014).

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Localización**

La investigación se realizó en el periodo del 26 de febrero al 12 de octubre de 2016, en la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador en el Lote La Bomba, km 57 carretera El Litoral, Cantón Tecualuya, San Luis Talpa, Departamento de La Paz, a una altura de 50 msnm, con coordenadas: 13° 28' 0" Latitud Norte y 89° 05' 0" Longitud Oeste.

#### **3.2 Herramientas utilizadas en la investigación**

##### **3.2.1 Sistema de riego por goteo**

Se instaló un sistema de riego por goteo NaanDanJain Irrigation (DNJ Drinpkit), y un tanque para almacenamiento de agua con capacidad para 1000 litros (1m<sup>3</sup>) con una salida de agua de 1.73 metros y una altura de agua de 2.80 metros (Figura A-1).

##### **3.2.2 Accesorios de DNJ dripkit**

Los accesorios del Dripkit fueron una bobina de línea de goteo para un espaciamiento lateral de 1m con espaciamiento entre goteros de 30cm, un ramal secundario de polietileno de 25mm, filtro, válvula, conexiones, herramientas de perforación y cinta de teflón, accesorios de recambio para reparación de daños y para una múltiple elección de formas de instalación

##### **3.2.3 Características.**

Modelo para 500 metros cuadrados, con funcionalidad: totalmente por gravedad, kit completo provisto en una caja, fácil de armar y operar, totalmente modular: puede ser fácilmente desarmado y almacenado, accesorios NDJ de alta calidad y línea de goteo de 12mm, con materiales resistentes para la aplicación de fertilizantes solubles, adecuado para parcelas de distintas formas dentro del rango de tamaño especificado y conexiones macho-hembra para una sencilla conexión de los laterales cuando se requiere sólo un riego parcial.

#### **3.3 Material experimental de la investigación**

Los germoplasmas evaluados están conformados: por el Híbrido H-59 y la variedad CENTA Pasaquina, estos materiales fueron proporcionados por la Dirección de Investigación del CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal

“Enrique Álvarez Córdova”). En los dos germoplasmas de maíz se evaluó el comportamiento productivo, aplicando estrés hídrico (sequía) en el contexto de los fenómenos del ENOS (El niño) que afecta al país.

### **3.3.1 Híbrido H-59**

Es un Híbrido triple liberado en 1998 por el CENTA, como una alternativa a la seguridad alimentaria del país, por su alto potencial de rendimiento (95 a 100 quintales por manzana). Donde el CENTA lo ha incluido como su principal semilla, cultivada por Cooperativas para el programa gubernamental de entrega de Paquetes Agrícolas. Según registros del CENTA en 2014 el estado compro 15 mil quintales de semilla de maíz de alto rendimiento del Híbrido H-59, para El Plan de Agricultura Familiar y el Programa de Entrega de Paquetes Agrícolas, apoyando así a los productores y contribuyendo, al abastecimiento local y a la seguridad alimentaria (IICA 2010).

### **3.3.2 Variedad CENTA Pasaquina**

Es una variedad de polinización libre fue liberada en 1988 desde entonces ha sido muy utilizada en la zona oriental del país con el nombre de Planta Baja por su baja altura. CENTA-Pasaquina se adapta a aquellas zonas en donde existen problemas de humedad limitada, además por ser una variedad de polinización libre el grano obtenido de una primera cosecha puede ser utilizado como semilla por tres años más.

### **3.3.3 Preparación del área experimental**

Se inició con una chapoda de la parcela, posterior a dos pasos de rastra para luego realizar el surcado de 0.80 m de separación. La delimitación del experimento en la parcela de 500 m<sup>2</sup> se definió en un área útil de 480 m<sup>2</sup> dividido en cuatro bloques de 120 m<sup>2</sup> (15 metros de largo por 8 metros de ancho) separados por 1.50 metros y 0.80 metros entre tratamientos, ubicados de Norte a Sur, cada bloque con 10 tratamientos, cinco tratamientos por germoplasma (Figura A-2).

## **3.4 Manejo del cultivo.**

### **3.4.1 Prueba de germinación.**

Esta consistió en colocar en una bandeja de aluminio 10 semillas de cada germoplasma de maíz, tomándose como índice de germinación la presencia de radícula. La prueba de germinación se realizó con el objetivo de ver antes de la siembra que porcentaje de

germinación se obtenía, ya que la semilla se encontraba a una temperatura de 12 °C en las bodegas de CENTA.



Figura 4: Prueba de germinación H-59 y VCP.

La prueba de germinación indicó un porcentaje de 90% para ambos germoplasmas, lo cual demostró que la semilla se encontraba en condiciones óptimas y con una excelente viabilidad.

### 3.4.2 Siembra

La siembra se realizó el 26 de febrero de 2016, de forma manual, colocando 3 semillas por postura de acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas de germinación, luego se realizó un raleo dejando dos plántulas por postura. El distanciamiento entre surcos fue de 0.80 metros y entre postura fue de 0.40 metros en los cuatro bloques.

### 3.4.3 Porcentaje de emergencia

Para determinar el porcentaje de emergencia en campo se utilizaron los criterios usados por el CIMMYT (1999) para el Programa de Ensayos Internacionales de Maíz. La cual consistió en contar por tratamiento cuantas plantas emergieron luego determinando un porcentaje de emergencia.

Cuadro 6: Porcentaje de emergencia en los dos germoplasmas de investigación.

TRAT	T1	T2	T3	T4	T5	PORCENTAJE
H-59	95	90	96	94	96	94.2 %
VCP	90	97	96	99	87	93.8 %

### 3.4.4 Riego

El riego se realizó en base a las necesidades hídricas del cultivo de maíz y tomando como base los datos de Kc teóricos de: 0.4: 20 días; 0.8: 35 días; 1.1: 40 días y 0.9: 30 días que

es el ciclo vegetativo para el cultivo de maíz (Figura A-3), se determinó el Kc calculado, para los meses de febrero a junio, según las etapas de desarrollo del ciclo vegetativo de: 0.4: 20 días; 0.58: 36 días; 0.89: 41 días y 0.9: 30 días de ciclo vegetativo (Figura A-4), de los dos germoplasmas evaluados en la investigación y tomando en cuenta los datos de la ETP por mes para la Estación Experimental y de Prácticas, lo cual nos determinó los milímetros de agua por día y por mes que se aplicaron al cultivo, con un intervalo de riego de un (1) día (Cuadro A-6).

El riego desde la siembra hasta los 30 días fue uniforme para toda la parcela experimental, después se aplicaron los periodos de estrés hídrico para los tratamientos (T2, T3, T4, T5) por 8, 16, 24 y 32 días respectivamente, el tratamiento uno (T1) fue el testigo con riego constante en el cuadro 7 se observa el volumen de agua aplicado al cultivo.

Cuadro 7: Volumen de agua aplicada al cultivo de maíz durante el ciclo vegetativo.

<b>Meses</b>	<b>mm/día</b>	<b>mm/mes</b>	<b>lt/día</b>	<b>m3/día</b>
<b>Febrero</b>	2.24	6.72	744	0.744
<b>Marzo</b>	3.48	107.88	1158	1.158
<b>Abril</b>	5.07	152.1	506.7	0.506
<b>Mayo</b>	5.5	170.5	541.9	0.549
<b>Junio</b>	4.41	132.3	441	0.441
<b>Total</b>	20.7	569.5	3391.6	3.398

### **3.4.5 Evaluación del sistema de riego**

Como parte de la investigación se realizó la evaluación de sistema de riego aforando cuatro emisores (goteros) por cuatro laterales de riego (cuadrícula de cuatro por cuatro) (Cuadro A-7), midiendo el caudal por emisor (gotero) en litros por hora. Analizando los datos en el programa EVAL 2011 para determinar la eficiencia del sistema de riego. El cual demostró una eficiencia de inferior de 94.21% y una eficiencia general de 92.98% (Cuadro A-8). lo que indicó que el sistema de riego por goteo trabajó en excelentes condiciones debido a la uniformidad de los emisores (Figura A-5)

#### **3.4.6 Plan de fertilización**

El programa de fertilización se realizó en base a las recomendaciones hechas por el DISAGRO (2016) para Suelos francos limosos. Realizándose tres fertilizaciones directas al suelo de forma manual.

La primera aplicación se realizó al momento de siembra con formula 17-8-10 + S y una relación de 260 kg/ha.

Una segunda fertilización a los 10 días después de siembra con 21-0-12 + S con una relación de 260 kg/ha.

Una tercera fertilización a los 30 días después de la siembra aplicando 40N + 6 S y una relación de 130 kg/ha.

Además, se realizaron aplicaciones de fertilización foliar suplementaria de micro elementos a los 20 y 35 días después de la siembra en dosis de 100ml por 20 litros.

#### **3.4.7 Plan fitosanitario**

El programa fitosanitario estuvo enfocado en control de malezas y control de las principales plagas que afectan al cultivo los cuales se describen a continuación.

#### **3.4.8 Control de malezas**

Se realizó un control con productos químicos en el cuadro siguiente se describen el nombre del producto, las dosis y época de aplicación.

Cuadro 8: Nombre de ingredientes activos para control químico de malezas cultivo de maíz.

HERBICIDA	DOSIS	APLICACIÓN	CONTROL
<b>Diuron + Gesaprim 80%</b>	0.7 a 1.5kg/ha 1 a 1.5 kg/ha	Pre emergente	Dicotiledóneas y gramíneas anuales
<b>Alachlor (4ec)</b>	1 a 1.7 lt/ha	Pre emergente	Dicotiledóneas y gramíneas anuales
<b>Pendimethalin 500</b>	1.7 a 2.5 lt/ha	Pre emergente	Gramíneas anuales y cotiledóneas
<b>Glifosato 24%</b>	2.5 a 3 lt/ha	Post emergente	Todo tipo de malezas
<b>Basagran</b>	2 a 2.5 lt/ha	Post emergente	Ciperáceas y dicotiledóneas

Fuente: DISAGRO 2016

### 3.4.9 Control de plagas

Para el control de plagas se aplicó un control químico según la presencia de plagas y enfermedades, en el siguiente cuadro se detallan los productos y dosis aplicados.

Cuadro 9: Nombre de ingredientes activos para control químico de plagas en maíz.

INSECTICIDA	DOSIS	CONTROL
<b>Teflubenzuron</b>	10cc/20lt.	Gusano cogollero
<b>Lufenuron</b>	12.5cc/20lt.	( <i>Spodoptera frugiperda</i> )
<b>Deltametrina</b>	15cc/20lt.	Tortuguillas
<b>Foxim</b>	25cc/20lt.	( <i>Diabrotica sp</i> )
<b>Imidacloprid</b>	0.14kg/13.6 kg (30lb) de semilla	Chicharrita del maíz ( <i>Dalbulus maydis</i> ).

Fuente: DISAGRO 2016

## 3.5 Condiciones edafoclimáticas registradas durante el ensayo

### 3.5.1 Suelos

El área (Lote La Bomba) en la cual se realizó la investigación pertenecen al tipo de suelos Regosoles, clase III aptas para aplicar obras de conservación de suelos y utilizadas para labranza intensiva y mecanizada, con una Textura Franco Limoso, topografía moderadamente ondulada, con una pendiente de 0 a 1% y una profundidad efectiva de 0.40m. (Martínez *et al.* 2005)

### 3.5.2 Precipitación

Los datos mensuales promedios de precipitación de tomaron de la Estación Meteorológica de Santa Cruz Porrillo (Cuadro A-9), los cuales registraron datos reales mensuales de febrero a junio de 2016 (Figura A-6) y datos históricos desde 1999 a 2009 de la base de datos de la FAO 2016 (Cuadro A-10) los cuales se representan de forma gráfica durante la investigación (Figura A-7).

### 3.5.3 Humedad relativa

Comportamiento de los promedios mensuales de humedad relativa durante el año 2016, en la Estación Experimental y de Practicas se muestran en el (Cuadro A-11)

### 3.5.4 Temperatura (máximas, promedios y mínimas)

Según los datos obtenidos de la Estación Meteorológica de Santa Cruz Porrillo las temperaturas máximas oscilaron en un promedio mensual de 35°C de febrero a julio y las mínimas registró un promedio de 22°C (Cuadro A-12).

### 3.5.5 Velocidad del viento

El rumbo de los vientos es predominante del norte, durante la estación seca y del este-sureste en la estación lluviosa. La brisa marina ocurre después del mediodía, siendo reemplazada después de la puesta del sol por la circulación tierra mar (rumbo norte-noroeste) la velocidad promedio anual del viento es de 8 a 12 km/hr.

## 3.6 Metodología estadística

Para el establecimiento del ensayo se utilizó el diseño de bloques completos al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, dos germoplasmas de maíz, con un total de 40 unidades experimentales. La unidad experimental fue considerada como un surco de ocho metros de largo y 0.80 metros de ancho, el cual constaba de 40 plantas.

### 3.6.1 Modelo estadístico:

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

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

$\mu$  = Media del experimento

$\alpha_i$  = Efecto del tratamiento  $i$

$\beta_j$  = Efecto del bloque  $j$

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

El área total de la parcela fue de 480 m<sup>2</sup> (30 metros de largo por 16 de ancho) con una población total 1,536 plantas; la unidad experimental la constituía cada uno de los surcos de 16 metros de largo por 8 metros de ancho el cual tenía 40 plantas.

### 3.6.2 Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra dentro de cada tratamiento fue de cinco plantas que representan 1. 60 m<sup>2</sup> de área útil de cada unidad experimental. En total se muestrearon 200 plantas.

### 3.6.3 Tratamientos.

T1 = Testigo absoluto (permaneció riego continuo durante todo el ciclo vegetativo).

T2 = 8 días de estrés hídrico (aplicado a los 30 días edad hasta los 38 días, correspondiente a la etapa en que la planta se prepara para la floración).

T3 = 16 días de estrés hídrico (aplicado de 30 días de edad hasta los 46 días, corresponde a la etapa de previa al espigamiento y posterior emergencia de la flor).

T4 = 24 días de estrés hídrico (aplicado de 30 días de edad hasta los 54 días, corresponde a la etapa de floración).

T5 = 32 días de estrés hídrico (aplicado de 30 días de edad hasta los 62 días, en esta etapa son visibles los estigmas y es donde ocurre la fecundación de polen).

### 3.6.4 Variables evaluadas.

Las variables evaluadas se determinaron según el Manejo de los ensayos e informe de los datos para el Programa de Ensayos Internacionales de Maíz del CIMMYT (1999) y tomando la cantidad de cinco (5) plantas desarrolladas en un área estimada de un metro cuadrado (1m<sup>2</sup>).

**Altura de planta:** Se tomó desde los 30 días hasta los 62 días de edad del cultivo y se midió la distancia desde la base de la planta hasta el ápice de la planta. Se midió la altura

de la planta en metros y se realizó desde la primera semana en la que se cortó el riego hasta la semana cinco donde se aplicó riego de recuperación en el tratamiento cinco (T5).

**Diámetro de tallo:** Se tomó desde los 30 días hasta los 62 días de edad del cultivo y se midió después del primer nudo de la base de la planta, utilizando pie de rey en milímetros.

**Altura de mazorca:** Se tomó a los 70 días de edad del cultivo y se determinó la distancia en metros desde la base de la planta hasta punto de inserción de la mazorca.

**Días a flor:** Se tomó desde los 40 días hasta los 55 días de edad del cultivo y se registró el número de días transcurridos desde la siembra hasta la fecha en la cual el 50 % de las plantas del ensayo se les observaba flor.

**Longitud de mazorca:** Se tomó a los 110 días de edad del cultivo y se midió en centímetros desde la base hasta la terminación de la mazorca (punta).

**Diámetro de mazorca:** Se tomó a los 110 días de edad del cultivo y se determinó de la parte central de la mazorca en milímetros, usando Pie de Rey.

**Numero de hileras por mazorca:** Se tomó a los 110 días de edad del cultivo y se registró contando el número de hileras formadas por mazorca.

**Porcentaje de llenado de mazorca:** Se realizó con las siguientes formulas  $GT = NH * GH$ . Dónde: NH= número de hileras por mazorca; GH= número de granos por hileras; GT= número total de granos por mazorca y porcentaje de llenado de mazorca=  $((GT - GF) / GT * 100)$ . Dónde: GF= granos faltantes por mazorca. Tomándose a los 110 días de edad del cultivo.

**Rendimiento de grano:** Se determinó después de la cosecha 110 días, pesando el grano de cinco (5) mazorcas (peso de granos/m<sup>2</sup>) con una humedad de 12 %, pesados en gramos en balanza analítica y luego expresado en kg/ha.

**Rendimiento de biomasa:** Se tomó a los 110 días de edad del cultivo y se determinó el peso fresco de cinco (5) plantas en balanza semi analítica en kilogramos.

### **3.6.5 Variable independiente**

Se evaluó el comportamiento productivo de dos germoplasmas de maíz (*Zea mays* L.) induciendo a diferentes periodos (días) de estrés hídrico en el desarrollo vegetativo del cultivo.

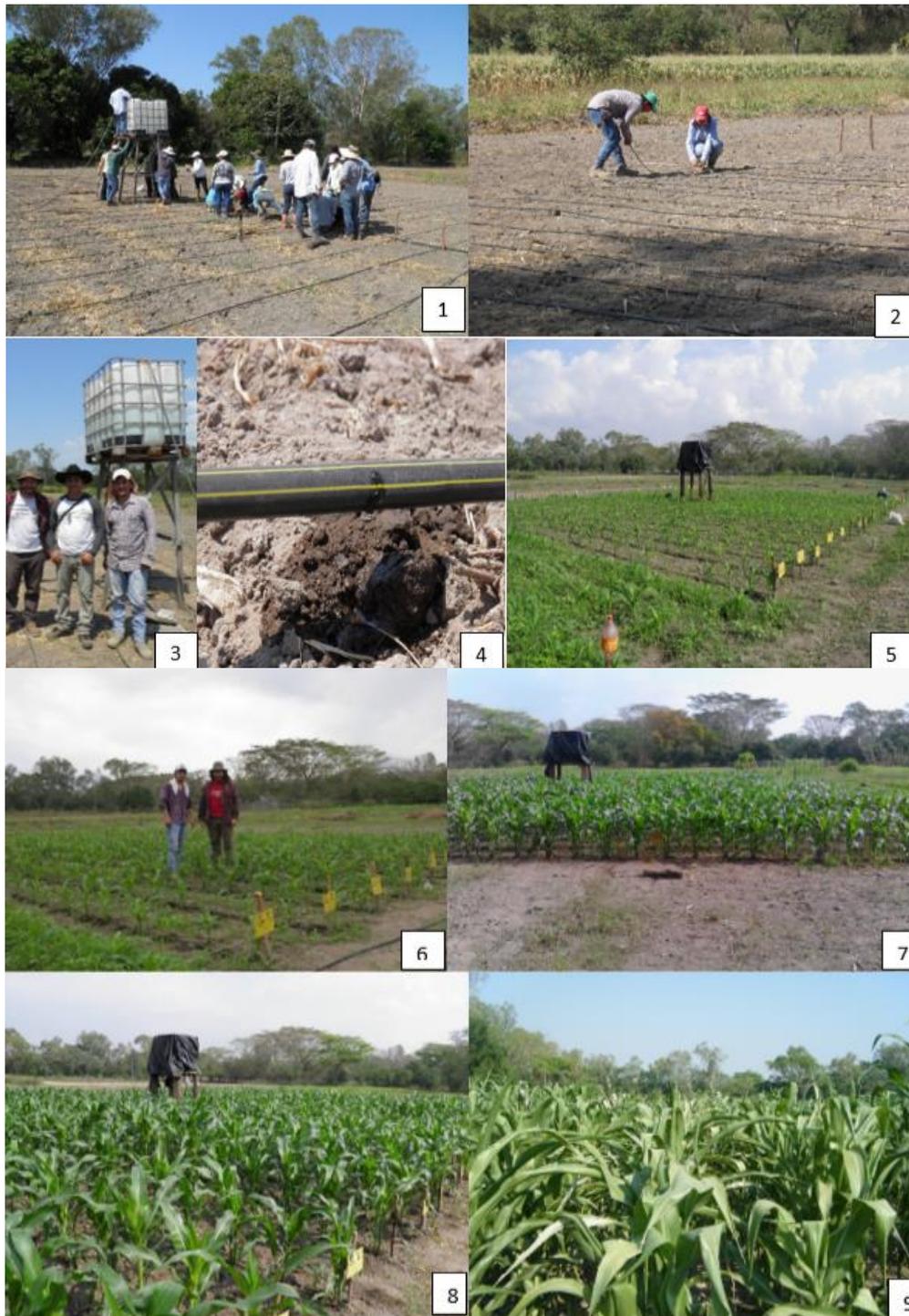
### **3.6.6 Toma de datos**

Por cada tratamiento (surco) se seleccionaron cinco plantas, de las cuales se tomó la información a evaluar. Los datos de cada variable se midieron una vez por semana, a partir de la aplicación de los periodos (días) de estrés hídrico.

### **3.6.7 Análisis de datos.**

Para el análisis de las variables se utilizó el programa InfoStat (Versión estudiantil), realizando análisis de estadística descriptiva con medias y análisis de estadística inferencial, análisis multivariante, prueba de normalidad de Shapiro-Wilks, análisis de la varianza paramétrica (ANVA) de Fisher y la prueba de hipótesis de Tukey. Además, se utilizó análisis de normalidad de Raíz Cuadrada, Análisis de varianza no paramétrica de Kruskal y Wallis y prueba de comparación de apares. (Di Rienzo *et al* 2008)

### 3.6.8 Clúster fotográfico.





Fotografía 1 y 2: Preparación del terreno e instalación del sistema de riego. Fotografía 3 y 4: Aplicación de riego y siembra de germoplasmas. Fotografías 5 y 6: Manejo del cultivo (Prácticas culturales). Fotografía 7 y 8: Aplicación de los tratamientos (periodos de estrés hídrico). Fotografía 9: Aplicación de riego de recuperación para los tratamientos 2 y 3. Fotografías 10 y 11: Control de plagas. Fotografía 12: Toma de diámetro de mazorca. Fotografía 13: Aplicación de riego de recuperación del tratamiento 4. Fotografías 14: Toma de altura de planta y mazorca. Fotografía 15: Aplicación de riego de recuperación de tratamiento 5. Fotografía 16: Toma de diámetro y longitud de mazorca. Fotografía 17 Secado y desgrane de mazorca. Fotografías 18: toma de humedad del grano. Fotografías 19 y 20: peso de grano.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Se determinaron 11 variables durante el ciclo fenológico, de las cuales tres (3) estuvieron relacionadas con el crecimiento vegetativo, cuatro (4) con las características principales de la mazorca, una (1) con la reproducción y dos con el rendimiento.

##### 4.1. Análisis de humedad en el suelo.

Las pruebas de humedad gravimétrica fueron analizadas en laboratorio para cada semana y por tratamiento. Donde se demostraron las condiciones del comportamiento de humedad en la parcela, en la que estableció el ensayo de investigación. En la (Figura 5) se observa la fluctuación dicho comportamiento a medida que los períodos de estrés hídrico se prolongaron. Es decir, que en la semana uno, se aplicaron los tratamientos (T2, T3, T4 y T5), ocurrido el período de estrés hídrico se aplicó riego de recuperación, el T1 fue el testigo con riego permanente.

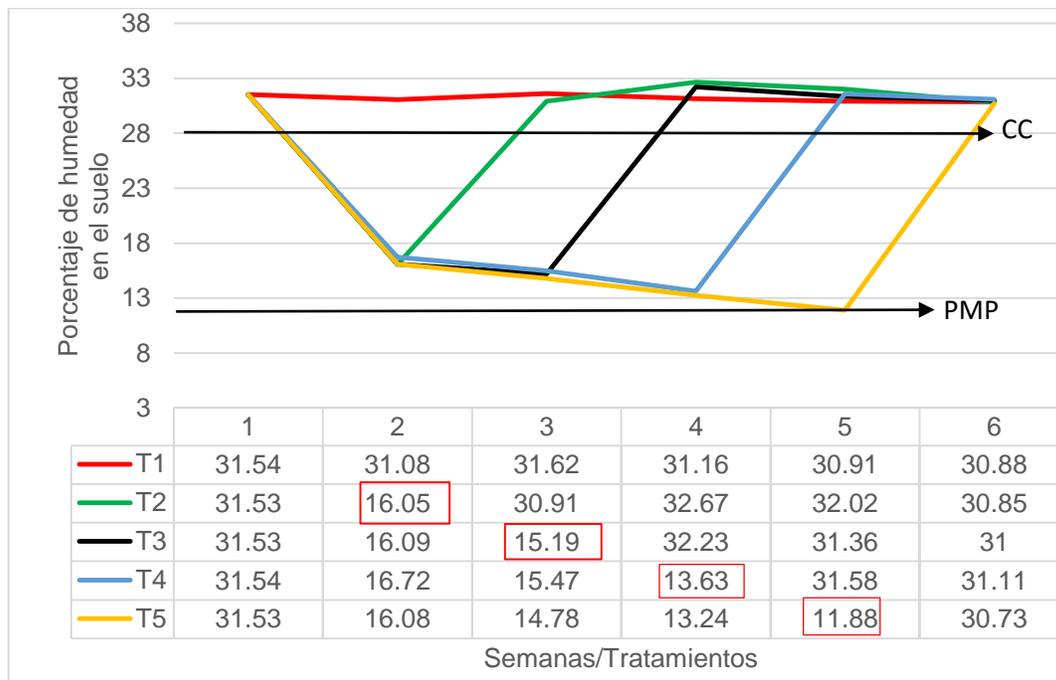


Figura 5: Porcentaje de humedad del suelo por semanas y tratamientos.

##### 4.2. Altura de planta

En la (figura 6) se muestran las medias de alturas de plantas del híbrido H-59 (G1), según la edad del cultivo y los tratamientos (estrés hídrico). Este genotipo produjo mayores alturas en el tratamiento (T2) con una media de 2.18 m a los 62 días de edad del cultivo; dicha media, incluso superó ligeramente al tratamiento (T1).

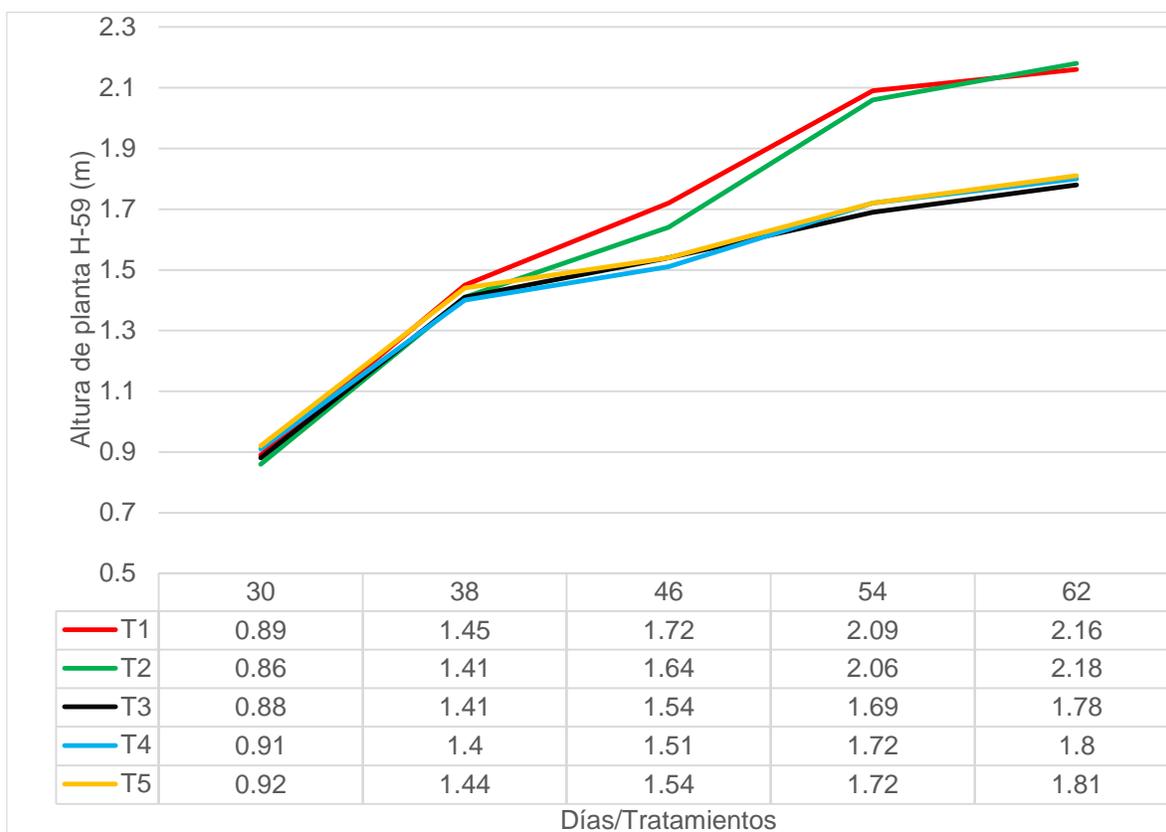


Figura 6: Medias de altura de la planta del híbrido H-59 (G1).

Los tratamientos (T3, T4 y T5) tuvieron una notable diferencia en las alturas de las plantas comparadas con los tratamientos (T1 y T2). De modo que los 8 días de sequía no causo retraso en el crecimiento y, por tanto, no es perjudicial para el híbrido H-59.

En la (figura 7) se muestran las medias de alturas de las plantas de la Variedad CENTA Pasaquina (G2), según la edad del cultivo y los tratamientos de estrés hídricos. Este genotipo produjo mayores alturas en el tratamiento (T1) con una media de 2.27 m a los 62 días de edad del cultivo; dicha altura fue seguida del tratamiento (T2) periodo de 8 días de estrés hídrico, con una diferencia de 10 cm.

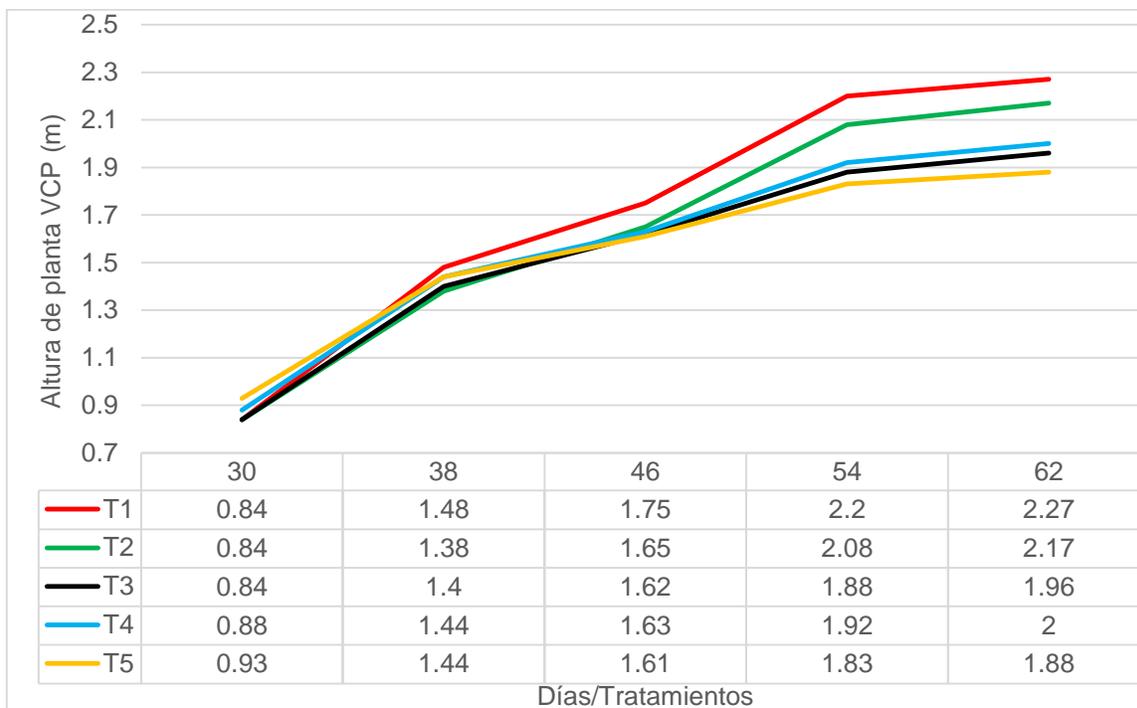


Figura 7: Promedio de altura de planta Variedad CENTA Pasaquina (G2).

Los tratamientos (T3, T4 y T5) tuvieron una notable diferencia en alturas de plantas comparadas con los tratamientos (T1 y T2). De modo que, al igual que el híbrido H-59, los 8 días de sequía no pueden considerarse del todo perjudiciales para la Variedad CENTA Pasaquina.

A fin de analizar estadísticamente las fuentes de variación en cuestión (estrés hídrico y germoplasmas) en altura de plantas en la etapa final de desarrollo, se verificó el supuesto de normalidad con el objetivo de determinar la viabilidad por un análisis de la varianza paramétrico (ANVA). (Cuadro A-13). La altura de plantas en la última etapa de desarrollo, cumplió con el supuesto de normalidad 0.99,  $P = 0.9626$  a un nivel de significancia del 5%.

De manera que se presenta el ANVA paramétrico según Fisher (Cuadro A-14). Los periodos de estrés hídrico (tratamientos) produjeron diferencia significativa en la altura de las plantas en su última etapa de desarrollo  $F_{4,194} = 20.20$ ,  $P = 0.001$ . El híbrido H-59 y La Variedad CENTA Pasaquina produjeron diferencias significativas en alturas de plantas en su última etapa de desarrollo  $F_{1,194} = 9.26$   $P = 0.0027$ .

La variedad CENTA Pasaquina produjo mayores alturas de planta con una media de 2.05 m. que el híbrido H-59 con una media de 1.95 m.  $\mu$  2.05, 1.95, (0.02)  $P < 0.05$  (Cuadro A-15).

Los tratamientos (T1 y T2) produjeron las mayores alturas de plantas. Los tratamientos (T3, T4 y T5), entre sí, produjeron iguales y las menores alturas de plantas,  $\mu$  2.21..., 1.84, (0.04),  $P < 0.05$  (Cuadro A-16).

Con relación a la altura de planta, el crecimiento se detuvo notablemente en los tratamientos: T3, T4 y T5 (Figuras 6 y 7). Lo anterior pudo atribuirse a la restricción de humedad por aplicación de tratamientos (períodos de estrés hídrico), sin embargo, una vez que se aplicó el riego de recuperación, el crecimiento se reanudó e incrementó, ocurriendo de forma diferida entre tratamientos (estrés hídrico). El inicio de la recuperación del crecimiento después que se aplicó el riego de recuperación fue ligero para los tratamientos (T3 y T4), respectivamente, y la recuperación en las plantas del tratamiento (T2) no fueron significativamente diferentes ( $P=0.001$ ) en altura al riego permanente para los dos germoplasmas. Esto concuerda con lo investigado por Arrazate *et al.* (2008) donde el crecimiento de las variedades de maíz: Zacatecas 58 original (Zo), Cafime original (Co), Zacatecas 58 SM19 (Z19) y Cafime; se detuvo por el efecto de la sequía. Pero una vez que se aplicó el riego de recuperación, las plantas sometidas a sequía igualaron, y en algunos casos, llegaron a superar a las de riego permanente.

#### **4.3. Diámetro de planta**

De acuerdo con los estímulos de estrés hídrico aplicado al híbrido H-59, los diámetros de tallos no se comportaron de manera irregular. A los 62 días de edad del cultivo los mayores diámetros de tallo se obtuvieron en las condiciones óptimas de riego, tratamiento (T1) y en los tratamientos (T2 y T3) con 29.08, 27.77 y 27.61mm respectivamente. Mientras que los peores diámetros de tallo se obtuvieron en los tratamientos (T4 y T5) con 26.10 y 25.56mm respectivamente.

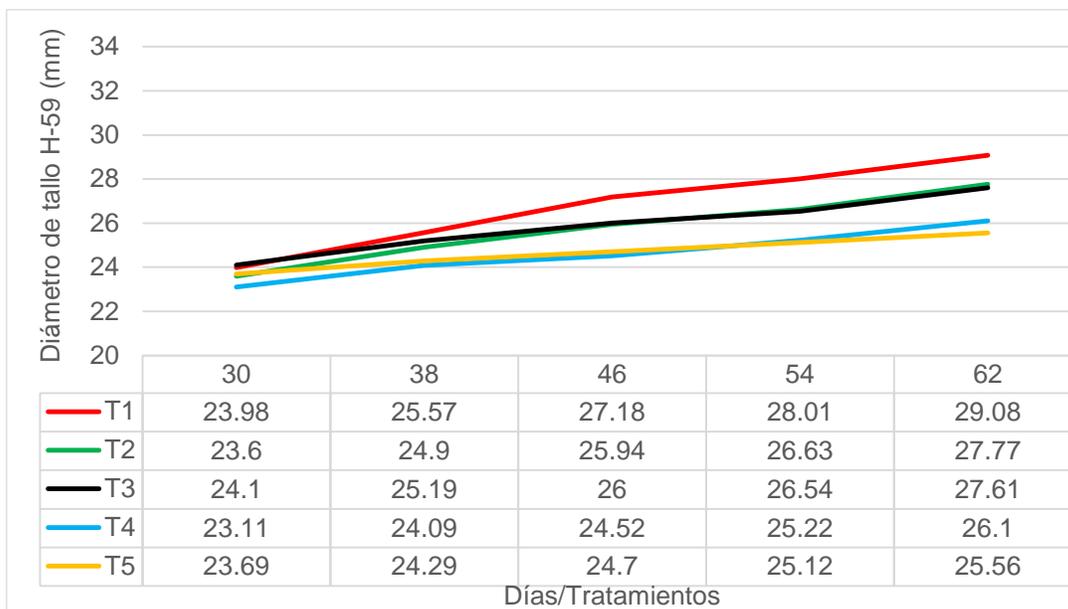


Figura 8: Medias de diámetros de los tallos del híbrido H-59 (G1).

Para la Variedad CENTA Pasaquina, los diámetros de tallos no se comportaron de manera irregular. Es decir, que la diferencia de diámetros fue de apenas 3.37mm y donde los mayores diámetros de tallo se registraron en el tratamiento (T1) y los tratamientos (T2 y T3) con 28.98, 28.10 y 27.08mm respectivamente. Y los tratamientos (T4 y T5) se obtuvieron los peores diámetros con 25.23 y 25.61mm a los 62 días de edad del cultivo.

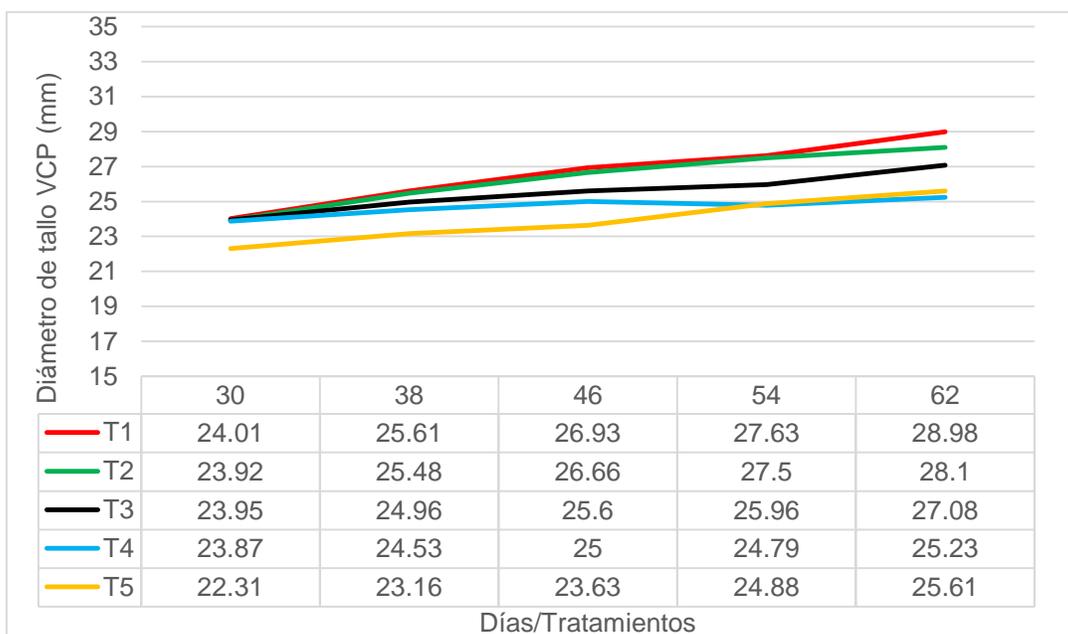


Figura 9: Medias de diámetros de los tallos de la Variedad CENTA Pasaquina (G2).

Para analizar estadísticamente las fuentes de variación (estrés hídrico y germoplasmas) en los diámetros de tallos en la etapa final de desarrollo, se verificó el supuesto de normalidad con el objetivo de determinar la viabilidad por un Análisis de la Varianza (ANVA) paramétrico (Cuadro A-17). Los diámetros de tallo en la última etapa de desarrollo, no cumplieron con el supuesto de normalidad 0.97,  $P = 0.0097$ . De manera que se procedió a transformar los datos con el objetivo de ajustarlos.

Los diámetros de tallo en la última etapa de desarrollo, no cumplieron con el supuesto de normalidad 0.22,  $P = 0.0013$  (Cuadro A-18).

Al aplicar un ANVA no paramétrica de Kruskal y Wallis para cada fuente de variación. Los germoplasmas no produjeron diferencias en las medias de diámetro de tallo en la última etapa de desarrollo ( $\mu$  27.22, 27.00), (2.62, 2.57),  $H = 0.1$ ,  $P=0.7517$  (Cuadro A-19).

El ANVA no paramétrico de Kruskal y Wallis; los diámetros de tallo de planta en su última etapa de desarrollo según tratamientos. Los tratamientos produjeron diferencia significativa en las diferentes medias de diámetro de tallo ( $\mu$  29.03...,25.58), (1.69...,2.46)  $H = 57.57$ ,  $P = 0.0001$  (Cuadro A-20).

A continuación, se presenta la Prueba de Comparación de A pares de Kruskal y Wallis para los diámetros de tallo de las plantas en su última etapa de desarrollo según tratamientos (Cuadro A-21). El diámetro de tallo en el tratamiento (T1) fue superior a los tratamientos (T2, T3, T4, y T5) y los diámetros de los tratamientos (T2 y T3) fueron iguales entre si y superiores a los tratamientos (T4 y T5) que produjeron los menores diámetros de tallo.

Respecto al diámetro tallo, no estuvo afectado significativamente por el estrés hídrico, ya que conforme aumentó la intensidad de la sequía los valores de diámetro de tallo mantuvieron en general un mínimo desarrollo en los dos germoplasmas. Esto difiere con investigaciones hechas por NeSmith y Ritchie (1992), Outtar *et al* (1987) donde coinciden que la sequía afecta en general el crecimiento y desarrollo del tallo de las plantas de maíz. Boyer & Westgate (2004) han relacionado estrechamente la reducción del diámetro de tallo y la del área foliar con la reducción del rendimiento. Estas afirmaciones fueron confirmadas con los resultados obtenidos en las investigaciones hechas por Arrazate *et al*

(2008) sobre la respuesta de los diámetros del tallo a altos niveles de estrés hídrico en maíz.

#### 4.4. Días a flor

La cantidad de días en alcanzar la etapa de floración, osciló en un intervalo de 44 a 51 días. Dicho comportamiento se representa en la (figura 10).

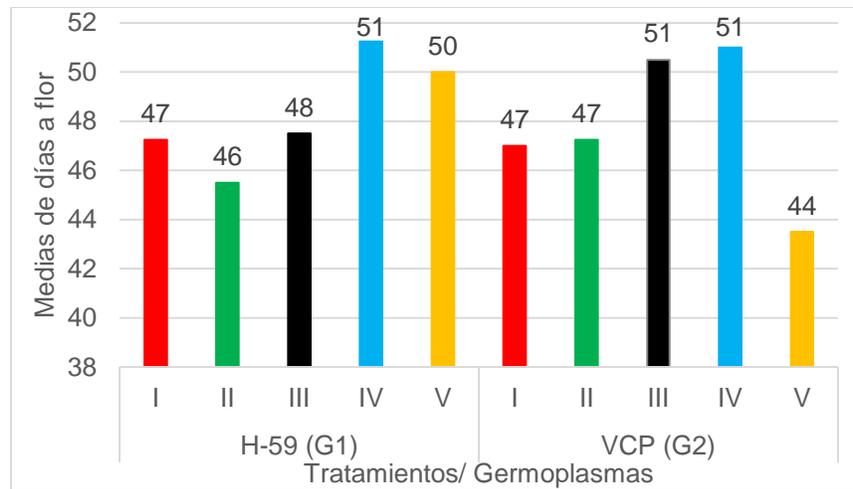


Figura 10: Promedio de Días a flor de dos germoplasmas de maíz.

Según el análisis de medias el tratamiento (T1), los dos germoplasmas obtuvieron una emergencia de flor a los 47 días. En el tratamiento (T2), el híbrido H-59 tuvo la floración más temprana con 46 días. Mientras que en el tratamiento (T5), de la Variedad CENTA Pasaquina, ocurrió la floración a los 44 días.

A continuación, se presenta la Prueba de Comparación de A pares Kruskal y Wallis para los días a flor según los tratamientos (Cuadro A-22). Para la variable días a floración, a un nivel de significancia del 5 %, no existió diferencia significativa entre tratamientos, germoplasmas e interacción entre tratamientos y germoplasmas. Es decir que todos los tratamientos presentaron la floración en un periodo igual.

Los resultados indicaron que el proceso reproductivo no fue afectado por la restricción de humedad. Conforme se incrementó la intensidad de la sequía, pero sin diferencias estadísticas entre los tratamientos. Sin embargo, se observa (Figura 10) que cuando se realizó la comparación de medias hay diferencias de cuatro días entre los tratamientos (T4 y T5), respecto el riego permanente en los dos germoplasmas. Una interpretación a

estos resultados es que los tratamientos de estrés hídrico no causaron efecto a las plantas. Esto difiere con estudios hechos por Boyer y Westgate (2004), quienes realizaron investigación donde sí existió el retraso en la floración por falta de humedad provocando daños en la viabilidad del polen y en la receptividad del estigma y consecuentemente en el proceso de polinización y la sequía afecta más al maíz cuando incide cerca de la floración ya que inhibe el desarrollo floral y provoca fallas en la polinización y aborción de cigotos. Por tanto, el rendimiento de grano se ve reducido más en dicho estadio fenológico, debido a que la floración es un periodo crítico en la definición del número de granos por mazorca y principalmente reduce el rendimiento.

Sin embargo, según la guía técnica del CENTA (2014) el híbrido H-59 tiene un ciclo vegetativo de 110 a 115 días y los días a flor ocurre en a los 55 días después de la siembra. Mientras que, para la Variedad CENTA Pasaquina su ciclo vegetativo es de 90 a 95 días y los días a flor ocurre a los 45 días después de la siembra.

Lo anterior coincide con los resultados obtenidos (Figura 10) demuestra que los días a flor el híbrido H-59 ocurrió antes de los que el CENTA registra en sus guías técnicas lo que puede atribuirse a que en condiciones ambientales de la EEP no influyó en los días a flor. Sin embargo, la Variedad CENTA Pasaquina produjo días a flor de manera tardía según CENTA (2014), donde el riego permanente y el periodo de estrés hídrico de 8 días (T2) fue de 47 días a flor, en los tratamientos 3 y 4 fueron de 51 días y en el tratamiento 5 los días a flor ocurrieron a los 44. Mientras que para el híbrido H-59 los días a flor ocurrió de forma precoz ya que, en el riego permanente (T1) fue a los 47 días y para los tratamientos 2, 3, 4 y 5 los días a flor se produjeron a los 46, 48, 51 y 50 días respectivamente.

#### **4.5. Altura de mazorca**

La altura a la que se encontraron las mazorcas respecto al suelo, osciló en un intervalo de 1.1 m a 0.80 m. Dicho comportamiento se representa en la (figura 11).

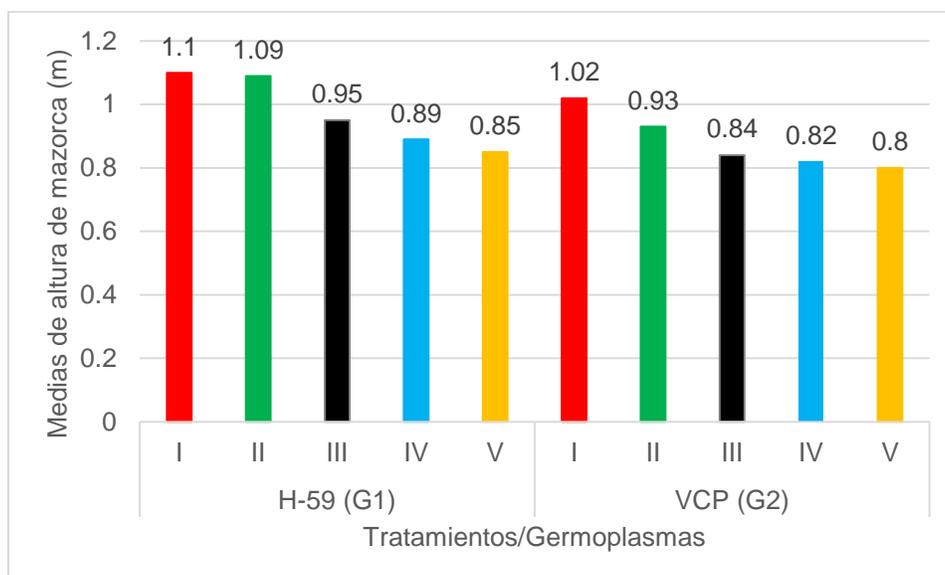


Figura 11: Medias de altura de mazorca de dos germoplasmas de maíz.

Las mayores alturas de mazorca se produjeron en el tratamiento (T1) con medias de 1.1 m para el G1 y de 1.02 m para el G2. De manera proporcional a la altura de las plantas, las alturas de las mazorcas disminuyeron considerablemente a partir del tratamiento (T3); no obstante, el H-59 produjo alturas de mazorcas mayores a la Variedad CENTA Pasaquina.

La altura de la mazorca, no cumplió con el supuesto de normalidad 0.98,  $P = 0.0369$  (Cuadro A-23). De manera que se procedió a transformar los datos con el objetivo de ajustarlos.

La altura de mazorca, no se cumplió con el supuesto de normalidad bajo el criterio de la Raíz Cuadrada 0.96,  $P = 0.0001$  (Cuadro A-24).

Al aplicar el ANVA no paramétrica de Kruskal y Wallis. Para cada fuente de variación. Los germoplasmas produjeron diferencias en la altura de mazorca ( $\mu$  1.01...,0.91), (0.16),  $H = 16.18$ ,  $P = 0.0001$  (Cuadro A- 25).

A continuación, se presenta la Prueba de Comparación de A pares de Kruskal y Wallis para la altura de la mazorca según germoplasmas (Cuadro A-26). Entre germoplasmas existió diferencia significativa; demostrando los mejores resultados el híbrido H-59 (G1) con una media de 1.01m.

Los tratamientos produjeron diferencias en alturas de mazorca ( $\mu$  1.06...,0.96), (1.16...,0.18),  $H = 34.38$ ,  $P = 0.0001$  (Cuadro A-27).

La Prueba de Comparación de A pares de Kruskal y Wallis, la altura de mazorca según los tratamientos (Cuadro A-28). La altura de mazorca en los tratamientos (T1 y T2) fue superior a los tratamientos (T3, T4, y T5) los cuales produjeron las menores alturas de mazorca. Los tratamientos (T2 y T3) fueron estadísticamente iguales entre si y produjeron mayores alturas de mazorca que los tratamientos (T4 y T5).

Los resultados de esta investigación indicaron que entre los germoplasmas no existió diferencia en la altura de la mazorca. No así, si se comparan los tratamientos donde se notó una leve diferencia en el crecimiento de altura de mazorca lo que se puede atribuir que se vieron afectados en algún momento por la restricción de humedad. Esto concuerda con lo que presenta la guía técnica del CENTA (2014). Donde menciona que el promedio de altura de mazorca para la variedad CENTA Pasaquina oscila entre los 85 a 90 centímetros de altura. Y difiere con la guía técnica del CENTA (2010) que menciona que el híbrido H-59 tiene una altura de mazorca de 1.35 metros. Sin embargo, los resultados de altura de mazorca obtenidos en esta investigación podrán ser útiles ya que en se encuentran en los rangos óptimos que registra en CENTA debido a que los productores buscan estas características en los germoplasmas de maíz por la práctica de dobla de la planta para el secado de la mazorca y donde se evita la humedad que generan las malezas.

#### **4.6. Longitud de mazorca**

Según la comparación de medias para la longitud de mazorca el comportamiento fue similar para los tratamientos en el híbrido H-59. Mientras que en la VCP se observa que la longitud de mazorca fue disminuyendo gradualmente a medida que los periodos de estrés hídrico se prolongaron (Figura 12).

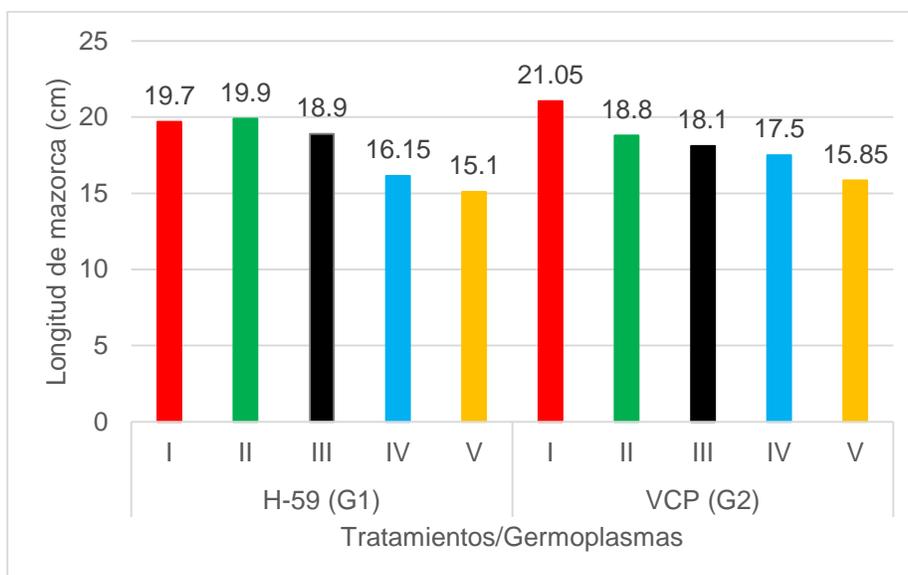


Figura 12: Medias de longitud de mazorca de dos germoplasmas de maíz.

A fin de analizar estadísticamente las fuentes de variación en cuestión (estrés hídrico y germoplasmas) en longitud de mazorca, se verificó el supuesto de normalidad con el objetivo de determinar la viabilidad por un Análisis de la Varianza (ANVA) paramétrico. La longitud de la mazorca, cumplió con el supuesto de normalidad 0.98,  $P = 0.3762$ . (Cuadro A-29)

De manera que a continuación se presenta el ANVA paramétrico según Fisher. El híbrido H-59 y La Variedad CENTA Pasaquina no produjeron diferencias significativas en la longitud de la mazorca  $F_{4, 194} = 1.34$ ,  $P = 0.2484$ . Los tratamientos produjeron diferencia significativa en la longitud de la mazorca  $F_{4, 194} = 83.08$ ,  $P = 0.001$  (Cuadro A-30).

A continuación, se presenta la prueba de Tukey para las medias de longitud de mazorca en mm. Según los germoplasmas  $\mu 18.26\dots, 18.71$ , (0.27),  $P < 0.05$  (Cuadro A-31).

A continuación, se presenta la prueba de Tukey para longitud de mazorca según los tratamientos  $\mu 20.38\dots, 16.83$ , (0.43),  $P = < 0.05$  (Cuadro A-32). Los tratamientos (T1 y T2) produjeron las mayores longitudes de mazorca. Los tratamientos (3, 4 y 5), entre sí, produjeron iguales y las menores longitudes de mazorca.

Respecto a la longitud de mazorca los resultados en esta investigación demostraron que entre los germoplasmas evaluados no presentaron diferencias. Mientras, que entre los

periodos de estrés hídrico aplicados (tratamientos) existió una leve diferencia en la longitud de mazorca según la prueba estadística. Esto concuerda con lo investigado por Perelló *et al.* (2004) donde se evaluaron tres líneas de maíz: L13, L14 y L16 aplicando periodos de estrés hídrico de: 15, 30 y 45 días de estrés hídrico respectivamente, de las cuales produjeron longitudes de mazorca de: 24 y 15cm para las líneas L13 y L14 respectivamente, y donde la más afectada fue L16 con 12cm la longitud de mazorca. Siendo comparadas estas longitudes con un testigo L6 que produjo una longitud de mazorca de 35cm. Este estudio concluyó que tales reducciones de largo de la mazorca se atribuyen a los extendidos periodos de estrés por sequía aplicados y donde las tres líneas sometidas a sequía posteriormente causaron pérdidas en el número de granos por mazorca y, por ende, en los rendimientos y peso de grano. También se demostró que la línea L16 produjo granos más grandes en periodos de sequía mayores que, la línea con riego permanente, lo que compensó parcialmente sus pérdidas en peso de granos. Por lo tanto, en el (Cuadro A-32) se afirma que los investigado por Perelló *et al.* (2004) ya que se obtuvo medias de: 16.83, 17.38, 18.50, 19.35cm de longitud de mazorca en periodos de estrés hídrico de: 8, 16, 24 y 32 días respectivamente. Comparados con 20.38cm de longitud de mazorca del riego permanente (T1).

#### 4.7. Diámetro de mazorca

Los diámetros de mazorcas se comportaron con tendencia a disminuir en la (figura 13), se representa dicho comportamiento en los dos germoplasmas, donde se produjeron cambios considerables de acuerdo a los periodos de estrés hídrico. Sin embargo, en la variedad CENTA Pasaquina el comportamiento fue reduciendo a medida los periodos de estrés hídrico se fueron prolongando. De tal forma que, los mejores diámetros de mazorca se obtuvieron en los tratamientos (T1, T2 y T3) con 54.15, 51.65 y 50.65mm respectivamente y el menor diámetro se registró en el tratamiento (T4) con 45.35mm en la VCP. Mientras que en el híbrido H-59 los mayores diámetros de mazorca se registraron en los tratamientos (T2, T3 y T3) con diámetros de mazorca de 56.45, 55.65 y 52.75mm respectivamente y el menor diámetro fue para el tratamiento (T4) con 47.15mm.

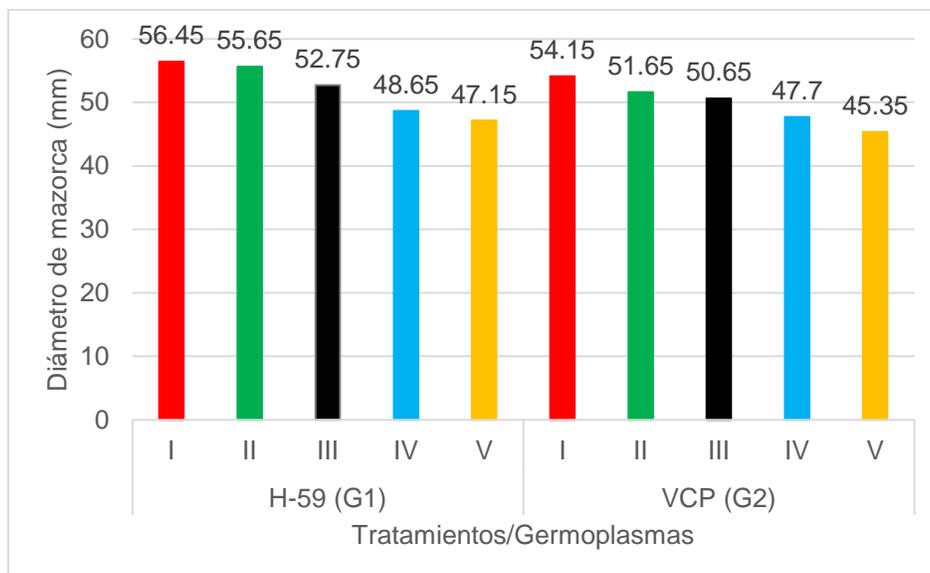


Figura 13: Medias de diámetro de mazorca de dos germoplasmas de maíz.

A fin de analizar estadísticamente las fuentes de variación en cuestión (estrés hídrico y germoplasmas) en el diámetro de mazorca, se verificó el supuesto de normalidad con el objetivo de determinar la viabilidad por un Análisis de la Varianza (ANVA) paramétrico. El diámetro de mazorca, cumplió con el supuesto de normalidad 0.99,  $P = 0.7604$  (Cuadro A-33).

De manera que se presenta el (ANVA) paramétrico según Fisher. El híbrido H-59 y La Variedad CENTA Pasaquina produjeron diferencias significativas en los diámetros de plantas en su última etapa de desarrollo  $F_{1, 194} = 21.69$ ,  $P = 0.0001$ . Los tratamientos produjeron diferencia significativa en lo diámetro de mazorca  $F_{1, 194} = 11.06$ ,  $P = 0.0001$  (Cuadro A-34).

A continuación, se presenta la prueba de Tukey para el diámetro de mazorca según los germoplasmas. La variedad CENTA Pasaquina produjo menores diámetros de mazorca con una media de 49.90mm. que el híbrido H-59 produjo los mayores diámetros con una media de 53.14 mm.  $\mu_{49.90, 53.14} (0.49)$ ,  $P < 0.05$  (Cuadro A-35).

A continuación, se presenta la prueba de Tukey para el diámetro de mazorca según los tratamientos. Los tratamientos (T1, T2 y T3) produjeron los mayores diámetros de mazorca; siendo iguales estadísticamente entre sí. Los tratamientos (T4 y T5) produjeron los menores diámetros de mazorca  $\mu_{54.33, 48.18} (0.78)$   $P < 0.05$  (Cuadro A-36).

En cuanto, al diámetro de la mazorca el comportamiento estuvo diferenciado por los tratamientos (T1, T2 y T3) en los dos germoplasmas. Esto coincide con lo investigado por Perelló *et al.* (2004) Donde evaluaron tres líneas de maíz: L13, L14 y L16 aplicando periodos de estrés hídrico de (15, 30 y 45 días de estrés hídrico respectivamente) de las cuales obtuvieron diámetros de mazorca que oscilaron de 58 y 47mm en las líneas L13 y L14 respectivamente, y donde la línea más afectada fue L16 con 42mm de diámetro de mazorca, esto comparado con la línea L6 testigo con diámetro de 62mm. Sin embargo, por estar estrechamente relacionado el diámetro y longitud de mazorca se determinó que a medida los periodos de estrés hídrico son mayores el efecto en el desarrollo de la mazorca será severo e influirá en el rendimiento de grano.

#### 4.8. Número de hileras por mazorca

En cuanto al número de hileras por mazorca, ambos germoplasmas produjeron diferencias notables (Figura 14) donde los tratamientos (T1 y T2) se obtuvieron los mayores números de hileras por mazorca 16 para ambos casos. Y los menores números de hileras por mazorca se registraron en los tratamientos (T3, T4 y T5) con 14 hileras para para los primeros dos y 12 en para el último. En el H-59. Mientras que para la Variedad CENTA Pasaquina, el mayor número fue para los tratamientos (T1 y T2) con 16 hileras por mazorca, la menor cantidad de hileras por mazorca se registró en el tratamiento (T3, T4 y T5) con 12 hileras para (T3) y 10 hileras por mazorca los últimos dos tratamientos.

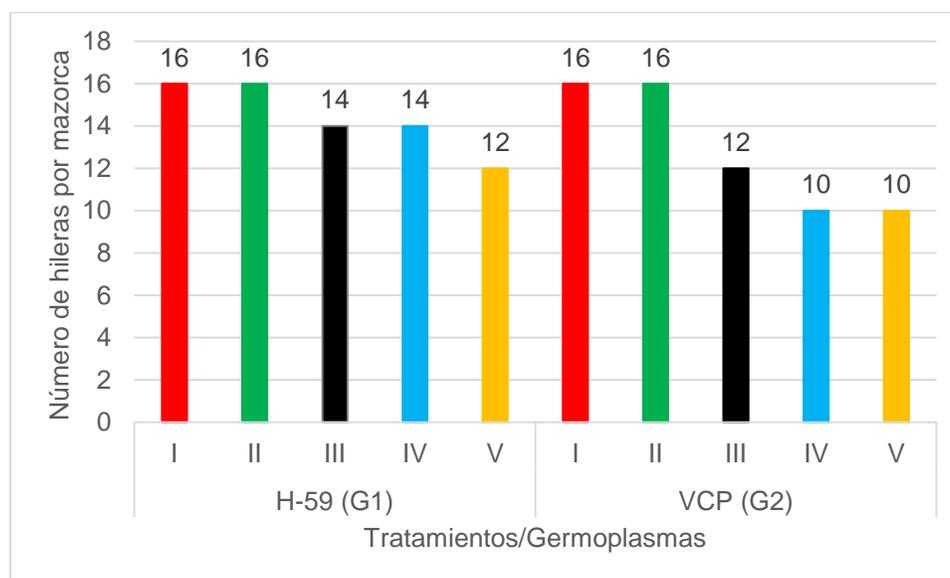


Figura 14: Medias de número de hileras por mazorca de dos germoplasmas de maíz.

A fin de analizar estadísticamente las fuentes de variación en cuestión (estrés hídrico y germoplasmas) en número de hileras por mazorca, se verificó el supuesto de normalidad con el objetivo de determinar la viabilidad por un Análisis de la Varianza (ANVA) paramétrico. El número de hileras por mazorca, no cumplió con el supuesto de normalidad 0.94,  $P = 0.0001$  (Cuadro A-37). De manera que se procedió a transformar los datos con el objetivo de ajustarlos.

El análisis de normalidad de los datos transformados bajo el criterio de Raíz Cuadrada. El número de hileras por mazorca, no cumplió con el supuesto de normalidad por el Criterio de Raíz Cuadrada 0.94,  $P = 0.0001$  (Cuadro A-38).

Dado que el supuesto de normalidad no se cumplió para los datos originales y transformados, fue necesario aplicar un ANVA no paramétrica de Kruskal y Wallis. Para cada fuente de variación. Los germoplasmas produjeron diferencias en el número de hileras por mazorca ( $\mu$  14.98, 13.15), (1.68),  $H = 43.83$ ,  $P = 0.0001$  (Cuadro A-39).

A continuación, se presenta la Prueba de Comparación de A pares de Kruskal y Wallis, para número de hileras por mazorca según germoplasmas (Cuadro A-40). De acuerdo a la Prueba de Comparación de A pares, existe diferencia significativa entre los germoplasmas demostrando los mejores resultados el híbrido H-59 (G1) con una media de 14.98 hileras por mazorca. Los tratamientos no produjeron diferencias en el número de hileras por mazorca ( $\mu$  14.03..., 13.93), (1.67..., 2.09),  $H = 0.68$ ,  $P = 0.9489$  (Cuadro A 41).

En relación a la variable número de hileras por mazorca los tratamientos no produjeron diferencias significativas. Sin embargo, entre los germoplasmas si existió diferencias en cuanto a la variable en cuestión. Según Andrade y Cirilo (1994), la producción de óvulos (granos) tiene un costo energético relativamente bajo para la planta; por ello, el estrés hídrico ocurrido durante las etapas vegetativas, por lo general provoca caídas de rendimiento de grano en menor magnitud que si el mismo estrés ocurre alrededor de floración. Pioneer (2008), la planta de maíz determina un número máximo de hileras de la espiga (mazorca) aproximadamente entre los estadios de V5 a V8 (35-45 días después de la siembra). El CENTA (2014) reporta que el híbrido H-59 y la variedad CENTA Pasaquina, según las características de cada germoplasma, estos producen en promedio 14 hileras por mazorca; lo que coincide con los resultados obtenidos en esta investigación

ya que el híbrido H-59 es el que produjo una media de 14.98 hileras por mazorca. De manera general, las diferencias en el número de hileras por mazorca entre ambos germoplasmas, fue de dos unidades.

#### 4.9. Porcentaje de llenado de mazorca

En cuanto para la variable porcentaje de llenado de mazorca, se obtuvieron los siguientes resultados ya que a medida que los tratamientos se fueron prolongando el llenado de mazorca fue disminuyendo de forma gradual en los tratamientos, así como se observa en la (Figura 15) los tratamientos (T2, T3, T4 y T5) demostraron reducciones en el porcentaje llenado de mazorca de 20.91%, 28.23%, 45.36% y 70.07% respectivamente, para el híbrido H-59 y para variedad CENTA Pasaquina la disminución fue de 26.15%, 45.29%, 55.52% y 84.22% respectivamente.

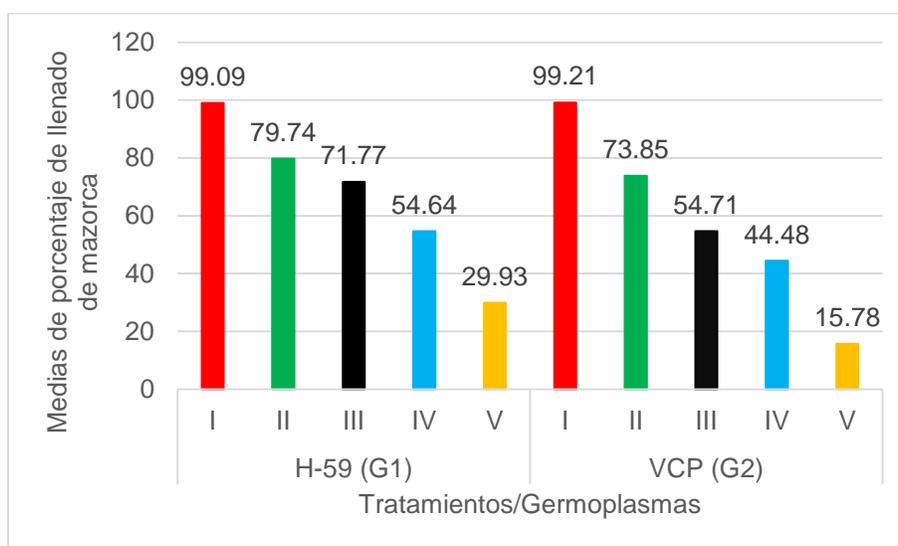


Figura 15: Medias de porcentaje de llenado de mazorca de dos germoplasmas de maíz.

Para ambos germoplasmas, el tratamiento (T1) fue donde se obtuvieron los mejores resultados, mientras que los peores resultados en el tratamiento (T5). Es decir, que en la medida que se aplicaron periodos de estrés hídrico, el porcentaje de llenado de mazorca disminuyó.

A fin de analizar estadísticamente las fuentes de variación en cuestión (estrés hídrico y germoplasmas) para porcentaje de llenado de mazorca, se verificó el supuesto de

normalidad con el objetivo de determinar la viabilidad por un Análisis de la Varianza (ANVA) paramétrico. El porcentaje de llenado de mazorca, no cumplió con el supuesto de normalidad 0.93,  $P = 0.0001$  (Cuadro A-42). Los germoplasmas no produjeron diferencias significativas en el porcentaje de llenado de mazorca ( $\mu$  67.03, 57.61), (26.21, 31.83),  $H = 3.6$ ,  $P = 0.0579$ ); (Cuadro A-43).

Los tratamientos produjeron diferencias significativas ( $\mu$  99.15...,22.85), (0.41...,15.13),  $H = 159.69$ ,  $P = 0.0001$  (Cuadro A-44). A continuación, se presenta la Prueba de Comparación de A pares de Kruskal y Wallis, para porcentaje de llenado de mazorca según los tratamientos (Cuadro A-45). El porcentaje de llenado de la mazorca en el tratamiento (T1) presentó los mejores resultados con una media de 99.15% de llenado de mazorca y fue superior al de los tratamientos (T2, T3, T4, y T5); siendo el tratamiento (T5) el que presentó los peores resultados con una media de 22.85% de llenado de mazorca

Para sintetizar la información relativa a los indicadores morfológicos característicos a las mazorcas, se ejecutó un análisis multivariante de componentes principales. A continuación, se muestra el resumen de los vectores producidos para el diagrama Biplot (Cuadro A-46). La correlación cofenética del análisis multivariante fue igual a: 0.980, es decir, que el modelo propuesto se ajustó casi perfectamente (cerca de: 1) a los indicadores en cuestión.

Las características principales de la mazorca: altura de mazorca, longitud y diámetro de mazorca, número de hileras por mazorca y porcentaje de llenado de mazorca; están representadas en la (figura A-8) mostrando el comportamiento de los tratamientos y germoplasmas.

Los puntos azules representan la combinación: Tratamiento-Germoplasma. De tal manera que, por ejemplo, el punto 5:2, representa los resultados producidos por el tratamiento (T5) con el germoplasma 2. Por otra parte, los estímulos que se encuentran en los ejes negativos se consideran con los peores desempeños respecto a los estímulos ubicados en los ejes positivos. Los estímulos que se encuentran más a la derecha de la (figura A-47) produjeron los mejores desempeños respecto a los que están a la izquierda y abajo. La variedad CENTA Pasaquina (G2) produjo menores magnitudes en todas las características de la mazorca respecto al híbrido H-59 (G2). Para el caso del tratamiento

(T5) en el G2 se produjeron los peores desempeños de tolerancia al estrés hídrico contrario al tratamiento (T2) del G1, en donde se produjeron mejores desempeños incluso comparados con el tratamiento (T1). El G1 se desempeñó mejor que el G2 con las características morfológicas de la mazorca, y los tratamientos se comportaron de acuerdo a lo esperado: en la medida que los periodos de estrés hídrico fueron más prolongados, su desempeño en las características de la mazorca fue disminuyendo.

Por tanto, se coincide con estudios hechos por NeSmith y Ritchie (1992), donde estudiaron los efectos de déficit de agua en el suelo durante el período de llenado de grano para dos híbridos comerciales de maíz (3540 y 3475) cultivados bajo condiciones de campo; en donde evaluaron la conducta del porcentaje de llenado de grano en relación al rendimiento, aplicando periodos de déficit de agua de: 7, 14, 21 y 28 días. Demostraron que las reducciones en porcentajes de llenado de grano fueron de 21%, 23%, 35% y 40%, respectivamente. Influyendo así a severas reducciones de rendimiento de grano.

Shaw (1988). Realizó estudios que demostró que el período más sensible al llenado de grano se extendió alrededor de las dos primeras semanas después del 50% de la floración femenina. Y por tanto esto produjo pérdidas de rendimiento por día de estrés hídrico alrededor de 45 y 60%, solo durante las primeras dos semanas después de la floración.

#### **4.10. Rendimiento de grano**

En cuanto al rendimiento de grano de maíz según los períodos de estrés hídrico aplicados se obtuvo un comportamiento escalonado, tal como se muestra en la (Figura 16).

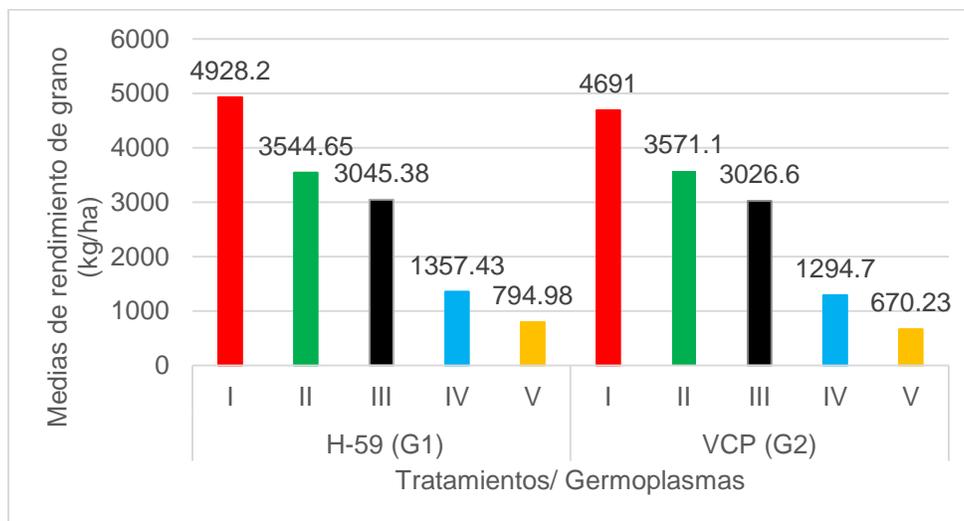


Figura 16: Medias de rendimiento de grano (kg/ha) según tratamientos y germoplasmas de maíz.

Las mejores producciones de grano se obtuvieron en el tratamiento (T1) con un rendimiento de 4928.2 kg/ha para el híbrido H-59 y 4691 kg/ha para la VCP. Por tanto, en la medida que se fue aplicando mayores periodos de estrés hídrico, la producción de grano fue disminuyendo. De tal manera que los peores rendimientos se obtuvieron en el tratamiento (T5) donde se registró un rendimiento de 794.98 kg/ha para H-59 y 670.23 kg/ha para la VCP.

A fin de analizar estadísticamente las fuentes de variación en cuestión (estrés hídrico y germoplasmas), se verificó el supuesto de normalidad con el objetivo de determinar la viabilidad por un Análisis de la Varianza (ANVA) paramétrico. El rendimiento de grano (kg/ha) cumplió con el supuesto de normalidad 0.94,  $P = 0.1251$  (Cuadro A-47).

De manera que se presenta el ANVA paramétrico según Fisher. Los germoplasmas no produjeron diferencias significativas en el rendimiento de grano  $F_{1,34} = 0.49$ ,  $P = 0.4880$ . Los periodos de estrés hídrico (tratamientos) si produjeron diferencia significativa en el rendimiento de grano (kg/ha)  $F_{1,34} = 156.27$ ,  $P = 0.0001$  (Cuadro A-48).

A continuación, se presenta la prueba de Tukey para las medias del rendimiento de grano según los tratamientos  $\mu$  4809.60...,732.60 (133.00),  $P < 0.05$  (Cuadro A-49). El tratamiento (T1) produjo los mayores rendimientos de grano respecto al resto de tratamientos. El tratamiento (T2) produjo estadísticamente iguales efectos que el

tratamiento (T3); ambos produjeron los mejores rendimientos de grano si se tiene en cuenta que estaban conformados por los tratamientos (periodos de estrés hídrico). El tratamiento (T4) fue inferior a los tratamientos (T1, T2 y T3). El tratamiento (T5) produjo los menores rendimientos de grano respecto al resto de tratamientos; a un nivel de significancia del 5%.

Uno de los factores medioambientales más importantes en cualquier etapa de desarrollo del cultivo de maíz es el abastecimiento de agua para lograr rendimientos óptimos y reducir pérdidas, sin embargo, con las variaciones del clima en la actualidad y los fenómenos del ENOS (El Niño y La Niña) es difícil la predicción del comportamiento climático. Por tanto, los resultados obtenidos en esta investigación determinaron que, a mayores periodos de estrés hídrico el rendimiento de grano disminuye de forma gradual, esto se relaciona estrechamente con lo investigado por Claassen y Shaw (1970), Jurgens *et al.* (1978). Coincidieron en estudios realizados donde observaron una reducción del rendimiento de grano del 30% por efecto de un déficit de agua de una semana (7 días), después de la emisión de estigmas y también aplicaron estrés hídrico por sequía terminal de 10 días después de la emisión de estigmas, donde notaron una reducción de rendimiento del 48%, y un 58% de pérdida debido al bajo peso de los granos.

Westgate y Boyer (1985) realizaron investigación aplicando estrés hídrico a las plantas de maíz en la fase de llenado de grano temprano (55 días después de la siembra) y en la etapa media de llenado de grano (60 días después de la siembra), y obtuvieron resultados que mostraban disminuciones en la producción de grano en un 82% y 36% para los tratamientos, respectivamente, y el peso del grano se redujo por el efecto del déficit hídrico inicial. También Grant *et al.* (1989) determinaron que la escasez de agua de los 16 a 22 días después de la floración femenina disminuyó el rendimiento de grano en un 65%, con un 13% disminución en el número de granos y una disminución de 48% en peso del grano. Cuando el déficit hídrico se produjo de 22 a 26 días después de la emisión de estigmas, las reducciones del rendimiento fueron del 47%.

#### **4.11. Rendimiento de biomasa**

Los resultados obtenidos en los dos germoplasmas dentro de los tratamientos aplicados mostraron, que el peso de biomasa se redujo gradualmente conforme se aplicaron los periodos de estrés hídrico (sequía). Por tanto, si se relaciona la producción de biomasa

entre ambos germoplasmas; La variedad CENTA Pasaquina produjo mayor biomasa mientras, que el híbrido H-59 disminuyó en menor grado su producción de biomasa (Figura 17). Donde se observa que los mejores resultados se obtuvieron en el tratamiento (T1) donde se produjo 27,556.02 kg/ha para el H-59 y 28,123.01 kg/ha para la VCP. Mientras que los peores rendimientos se visualizan en el tratamiento (T5) con rendimientos de 13,267.71 kg/ha para H-59 y 14,515.10 kg/ha para la VCP.

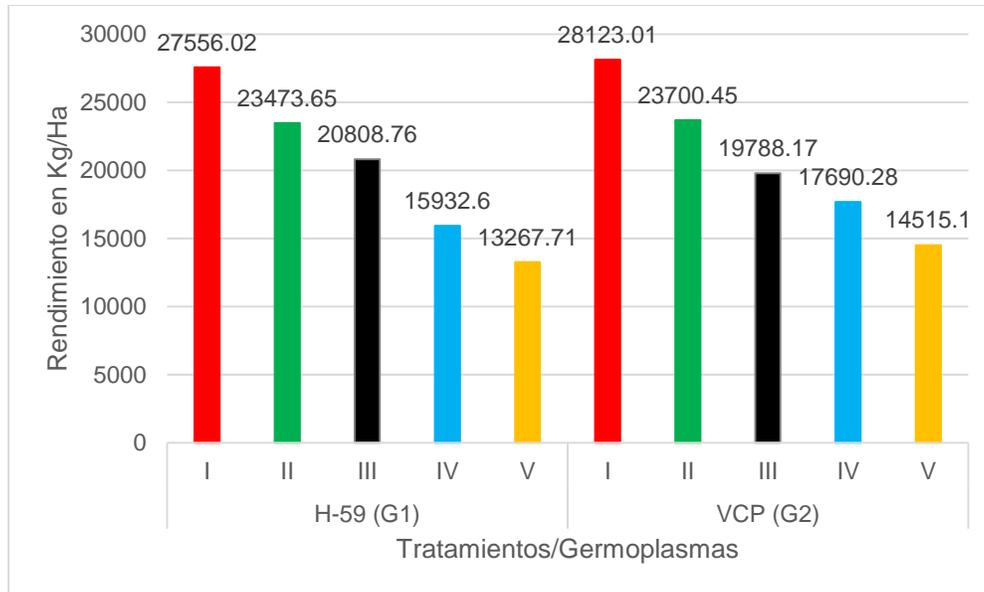


Figura 17: Medias de rendimiento de biomasa (kg/ha) según tratamientos y germoplasmas de maíz.

A fin de analizar estadísticamente las fuentes de variación en cuestión (estrés hídrico y germoplasmas), se verificó el supuesto de normalidad con el objetivo de determinar la viabilidad por un Análisis de la Varianza (ANVA) paramétrico. El rendimiento de Biomasa (kg/ha) cumplió con el supuesto de normalidad 0.95,  $P = 0.2324$  (Cuadro A-50).

De manera que se presenta el ANVA paramétrico según Fisher. El híbrido H-59 y La Variedad CENTA Pasaquina no produjeron diferencia significativa en el rendimiento de biomasa  $F_{1,34} = 0.29$ ,  $P = 0.5949$ . Los tratamientos produjeron diferencia significativa en el rendimiento de biomasa  $F_{4,34} = 22.53$ ,  $P = 0.0001$  (Cuadro A-51).

A continuación, se presenta la prueba de Tukey para el rendimiento de biomasa según los tratamientos  $\mu$  27839.52..., 1389.41 (1157.26),  $P < 0.05$  (Cuadro A-52). Los tratamientos (T1 y T2) produjo los mayores rendimientos de biomasa; mientras que el tratamiento (T2 y T5) produjo los menores rendimientos de biomasa.

T3) produjo estadísticamente iguales rendimientos. Y los tratamientos (T4 y T5) produjeron estadísticamente iguales y los menores rendimientos de biomasa.

Lo anterior está estrechamente relacionado con lo investigado por Arrazate *et al.* (2005) donde obtuvieron resultados de biomasa aérea en las variedades de maíz: Zacatecas 58 original (Zo), Cafime original (Co) y sus respectivas variedades mejoradas para resistencia a la sequía, Zacatecas 58 Selección Masal 19 (Z19) y Cafime Selección Masal 16 (C16) en condiciones de sequía y riego, mostraron que la cantidad de biomasa se redujo gradualmente conforme el periodo de sequía fue más prolongado, lo cual podría ser atribuido al estrés hídrico. Las variedades mejoradas Z19 y C16 disminuyeron en menor grado su biomasa que sus respectivas variedades originales Zo y Co.

Según los resultados obtenidos en esta investigación, aplicando periodos de estrés hídrico de: 8, 16, 24 y 32 días. Se obtuvieron rendimientos de peso de biomasa de: 23473.65, 20808.76, 15932.60 y 13267.71 kilogramos/hectárea respectivamente para el híbrido H-59. El riego permanente (T1) produjo el mayor rendimiento de biomasa de: 27556.01 kilogramos/hectárea. Mientras que para la variedad CENTA Pasaquina los rendimientos peso de biomasa fueron: 23700.45, 19788.17, 17690.28 y 14515.10 kilogramos/hectárea respectivamente. El riego permanente produjo el mayor rendimiento de biomasa de: 28123.01 kilogramos/hectárea.

#### **4.12. Análisis económico.**

##### **Presupuesto total.**

El método del análisis económico se realizó en base al Manual Metodológico de Evaluación Económica del CIMMYT (1988). Realizando el presupuesto total. Donde se presentan los rendimientos medios, el rendimiento ajustado al 10% y el beneficio bruto de campo que valora el rendimiento ajustado. Se determinó el beneficio bruto en campo según el precio del grano de maíz del Anuario Estadístico del MAG-ENAPM (2015) en kilogramos por hectárea. En el presupuesto total se realizó en base al total de costos fijos y costos variables del cual se determinó la inversión total por hectárea cultivada. El presupuesto total enumera los beneficios netos. Estos se calcularon restando el total de los costos totales de los beneficios brutos de campo (Cuadro 10).

Cuadro 10: presupuesto total para una hectárea

Análisis económico de la investigación por ha						
Descripción	Unidades	T1	T2	T3	T4	T5
RM	kg	4928.2	3544.65	3045.38	1257.43	794.98
RA 10%	kg	4435.38	3190.185	2740.842	1131.687	715.482
BBC	US\$0.22/kg	975.78	701.84	602.99	248.97	157.41
Costos Fijos						
Fertilizante	(650kg/ha)	300	300	300	300	300
Semilla	(16kg/ha*US\$2.00)	32	32	32	32	32
Transporte	(3 viajes*US\$20)	60	60	60	60	60
$\Sigma$ CF	US\$	392	392	392	392	392
Costos Variables						
MO en campo	(12d/ha*US\$7.00)	84	84	84	84	84
Fertilizante foliar	(3lt/ha*US\$15.00)	45	45	45	45	45
MO aplic. herbic.	4d/h/ha*US\$7	28	28	28	28	28
Costo herbicida	(3lt/ha*US\$20)	60	60	60	60	60
$\Sigma$ CV	US\$	217.00	217.00	217.00	217.00	217.00
CT	US\$	609.00	609.00	609.00	609.00	609.00
BN	US\$	366.78	92.84	-6.01	-360.03	-451.59
TRmg	US\$	0.60	0.15	-0.01	-0.59	-0.74

### Tasa de Retorno Marginal.

La tasa de retorno marginal (TRmg) indica lo que el agricultor espera ganar con su inversión. Sin embargo, si el cultivo está expuesto a prolongados periodos de estrés hídrico la Tasa de Retorno Marginal disminuye gradualmente. De forma tal, que la menor tasa de retorno marginal se obtuvo en el (T5), siendo de US\$-0.74 centavos, tanto, que de US\$1.00 invertido el productor pierde el dólar más US\$0.74 centavos. La mayor tasa de retorno marginal se obtiene donde el cultivo no sufrió estrés hídrico (T1) con una TRmg=3.57. Es decir que de cada dólar invertido se recupera, el dólar más US\$0.60 centavos.

### Curva de beneficios netos.

La curva de beneficios netos (figura 18). Indica la relación entre los costos totales y los beneficios netos obtenidos por el productor. Es decir, que determina el punto de equilibrio, donde el productor no pierde ni gana. Según, la curva de beneficios netos el punto de equilibrio se sitúa en el tratamiento (T2). Lo que indica que económicamente el cultivo

después de 8 días de estrés hídrico, el productor se expone a perder y no recuperar la inversión realizada.

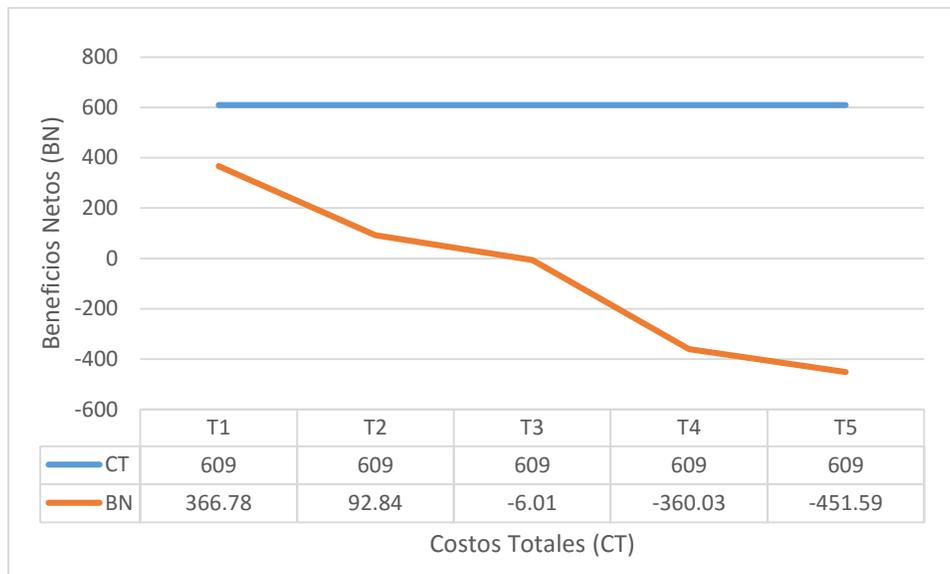


Figura 18: curva de beneficios netos y costos totales.

## 5. CONCLUSIONES.

Los períodos de 24 y 32 días de sequía, fueron los que se vieron más afectados en el rendimiento de grano con pérdidas de 72.35 y 83.86% para el híbrido H-59 y 72.40 y 85.71% para la Variedad CENTA Pasaquina.

En el período de ocho días de sequía, la planta obtuvo recuperación al establecer el riego, obteniendo rendimiento de granos de 3557.88kg/ha equivalente a 54.8qq/mz. Lo cual superó los promedios nacionales del ciclo agrícola 2014/2015.

Para las características de mazorca, la sequía provocó efectos en el desarrollo, de forma tal, que los períodos de 16, 24 y 32 días, registraron mayor efecto en cuanto a la disminución de longitud. En comparación al riego permanente y al período de ocho días de sequía. Al mismo tiempo se registró que, los períodos de 24 y 32 días de sequía, fue donde se obtuvieron los menores diámetros de mazorca y el Porcentaje de llenado de mazorca, los períodos de sequía de 16, 24 y 32 días fue donde se registró un mayor efecto en comparación con el período de ocho días de sequía.

De los germoplasmas evaluados; el híbrido H-59 fue el que mejor se adaptó a los períodos de estrés hídrico aplicados, obteniendo un comportamiento mayor en rendimiento de grano y superando a la Variedad CENTA Pasaquina, la cual obtuvo el menor rendimiento de grano.

## **6. RECOMENDACIONES.**

Continuar estas investigaciones en otras zonas climáticas y en diferentes texturas de suelos para comprobar los efectos que la sequía provoca en el desarrollo del cultivo y en las características fenológicas y fenométricas. Y al mismo tiempo utilizar esta investigación como referencia de base.

Como alternativa a los productores de maíz en la zona costera, y en base a los resultados obtenidos en esta investigación, se recomienda utilizar ambos germoplasmas debido a que soportaron prolongados períodos de sequía y se obtuvieron rendimientos de grano aceptables desde el punto de vista de seguridad alimentaria.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

**Andrade, F H; Cirilo, A G. 1994.** Sowing date and maize productivity. Kernel number determination. Crop Science. Mar del Plata. AR. 34 p

**Arenas, F; Barros, A. 2013.** El maíz. agricultura especial. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. AR. 26 p

**Arrazate, C H; Galán, J D; López, C; Castaneda, C; Iñiguez, J. 2008.** Respuesta a altos niveles de estrés hídrico en maíz. Colegio posgraduado. San Luis Potosí. MX. 27-37 p

**Arrazate, C H; Trejo, C; López, C; Molina, J D; Santacruz, A y Castillo, F. 2005.** Comparación de la tolerancia a la sequía de cuatro variedades de maíz (*Zea mays* L.) y su relación con la acumulación de prolina. En línea. Caracas. VE. Consultado: 05 oct. 2016.

Disponible:[http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S037818442005000900010&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S037818442005000900010&lng=es&tlng=es)

**BCR (Banco Central de Reserva de El Salvador). 2013.** Anuario estadístico. Exportaciones e importaciones de granos básicos periodo 2012/2013. DIGESTYC. San Salvador. SV. 72 p

**Boyer, J S; Westgate, M E. 2004.** Grain yields with limited water. Delaware State University. US. 10 p

**Buckler, E; Stevens, N. 2006.** Maize origins. Domestication and selection. US Department of Agriculture. Agricultural Research Service and the National Science Foundation. Ed. Motley. US. 67-90 p

**Campos, H; Cooper, M; Edmeades, G; Loffler, C; Schussler, J; Ibanez, M. 2006.** Changes in drought tolerance in maize associated with fifty years of breeding for yield in the U.S. Corn Belt. Iowa State University. 14 p

**Cazco, C. 2006.** Cultivos de maíz. Universidad Técnica del Norte. Ibarra. EC. 15 p

**CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova”). 2008.** Variedades de maíz de alta calidad proteica. IICA. Ciudad Arce. SV. 8 p

**CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova”). 2010.** Guía Técnica el Cultivo de Maíz. IICA. Ciudad Arce. SV. 37 p

**CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova”). 2011.** Guía Técnica el Cultivo de Maíz. IICA. Ciudad Arce. SV. 45 p

**CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova”). 2013.** Guía Técnica el Cultivo de Maíz. IICA. Ciudad Arce. SV. 35 p

**CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova”). 2014.** Guía Técnica el Cultivo de Maíz. IICA. Ciudad Arce. SV. 42 p

**CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2010.** Efectos del cambio climático sobre la agricultura. ONU. México D F. 70 p

**CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). 1999.** Manejo de los ensayos e informe de los datos para el Programa de Ensayos Internacionales de Maíz. D.F. México. 20 p

**CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). 1999.** Manual metodológico de evaluación económica. Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. México D.F. 70 p

**Classen, M M; Shaw, RH.1970.** Water deficit effect on corn. Grain Components. Agronomy Journal. Wisconsin State University. US. 652- 655 p

**CPC (Centro de Predicción Climática). 2015.** Clima reciente, perspectiva diciembre 2015 ha abril 2016. DGOA/MARN. San Salvador. SV. 29 p

**De la Torre, A P; Fajnzylber, P; Nash, J. 2009.** Low Carbon, High Growth. Latin American Responses to Climate Change. The World Bank Washington D C. US. 101 p

**Denmead, O T and Shaw, R H. 1960.** The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. *Agronomy Journal*. Wisconsin State University. US. 272-274 p

**Deras, H R. 2003.** Evaluación de variedades de maíz de polinización libre. Resultados de investigación 2004. CENTA (Programa de granos básicos). Ciudad Arce. SV. 12 p

**Deras, H R. 2006.** Comprobación de rendimiento de híbridos de alta calidad. Resultados de investigación. CENTA (Programa de granos básicos). Ciudad Arce. SV. 16 p

**Deras, H R. 2014.** Guía del cultivo de maíz. CENTA (Programa de granos básicos). Ciudad Arce. SV. 32 p

**DGOA (Dirección General Del Observatorio Ambiental). 2016.** Informe especial de datos de la Estación Meteorológica “La Providencia”. San Luis Talpa. SV. 3 p

**DISAGRO. 2016.** Programa de fertilización y fitosanitario en cultivo de maíz. San Salvador. SV. s p (3 p)

**Di Rienzo, J A; Casanoves, F; Balzarini, M G; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, C W. 2008.** InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba. AR. 336 p

**Doebley, J. 1990.** Molecular evidence and the evolution of maize. Department of Plant Biology. Minnesota State University. Saint Paul. US. 6- 27 p

**ENAPM (encuesta nacional agropecuaria de propósitos múltiples). 2015.** Maíz. retrospectiva, superficie, producción, rendimiento e índices. DGEA-MAG. San Salvador. SV. 63 p

**Espinoza, A; Ortega, p; Mendoza, M. 1999.** Guía Tecnológica 4. Cultivo de Maíz. Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA). Managua, NI. 20 p.

**FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación).**  
**1993.** Land and water integration and river basin management. Roma. IT. Consultado: 16  
jun. 2016. Disponible:  
<http://www.fao.org/documents/showcdr.asp?urlfile=/docrep/V5400e00.htm>.

**FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación).**  
**2014.** Perspectivas de cosechas y situación alimentaria 2014. Roma. IT. Consultado: 15  
jun. 2016. Disponible: <http://www.fao.org/3/a-i4096s.pdf>

**FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación)**  
**2006.** World Food Summit. Rome Declaration on World Food Security. Ed 2. Roma. IT.  
Consultado: 26 may. 2016. Disponible: [ftp://ftp.fao.org/es/ESA/policybriefs/pb\\_02\\_es.pdf](ftp://ftp.fao.org/es/ESA/policybriefs/pb_02_es.pdf).

**Fassio A; Carriquiry, A I; Tojo, C Romero, R. 1998.** MAÍZ: Aspectos sobre fenología.  
Montevideo. Ed. INIA. UY. 01-11 p

**Fonseca, A E; Westgate, M E. 2005.** Relationship between desiccation and viability of  
maize pollen. Iowa State University. US. 124 p

**Garces, N. 1998.** Cultivos de la sierra. Universidad Central del Ecuador, Facultad de  
ciencias agronómicas. Quito. 89 p

**Gaut, B; d'Ennequin, M; peek, A; Sawkins, M. 2000.** Maize as a model for the evolution  
of plant nuclear genomes. Department of Ecology and Evolutionary Biology. California  
State University. US. 8

**Gordón, G. 2007.** Guía Técnica. Manejo Integrado del Cultivo de Maíz. Instituto de  
Investigación Agropecuaria. Ciudad de Panamá. 47 p.

**Grant, R F; Jackson, B S; Kiniry, J R and Arkin, G F. 1989.** Water deficit timing effects  
on yield components in maize. Texas State University. US. 65 p

**Harlan, J R. 1992.** Origins and processes of domestication in grass evolution and  
domestication. Cambridge university. Ed. Chapman. UK. 159-175 p

**Heisey, P; Edmeades, G. 1999.** Maize in Drought-Stressed Enviroments. Technical Options and Research Resource Allocation. México D F. CIMMYT. 68 p

**Howden, S M; Soussana, J F; Tubiello, F N; Chhetri N; Dunlop M; Meinke H. 2007.** Adapting agriculture to climate change. *Proceedings of the National American Society.* Universidad Pensilvania. US.100 p

**IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2014.** Las Cadenas de valor de maíz blanco y frijol en Centroamérica: actores, problemas y acciones para su competitividad. Cooperación Suiza. Ed. Ren\_Rivera. San José. CR. 127 p

**IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2010.** Semilla certificada de maíz blanco. Hibrido H-59. CENTA. San Salvador. SV. 8 p

**INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). 2005.** Sequía meteorológica. Metodologías para el análisis y manejo de los riesgos naturales (MET-ALARN). Managua. NI. 50 p

**INTA (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria). 2010.** Cultivo del maíz guía tecnológica para la producción de maíz. Managua. 2da ed. No 3. NI. 36 p

**IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2007.** Climate Change. The Physical Science Basis. IPCC Secretariat. Ginebra, SW. 14 p

**Jackson, R D; Idso, S B; Reginato, R J; Pinter Jr, P J. 1981.** Canopy temperature as a crop water stress indicator. Water Resour. USDA. Ohio. US. 43-85 p

**Jugenheirmer, R. 1988.** Maíz: Variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semilla. México DF. Limusa. 311-331 p

**Jurgens, S K; Johnson, R R and Boyer, J S. 1978.** Dry matter production and translocation in maize subjected to drought during grain fill. Beltsville. Maryland. US. 678-682 p

**Kuehl, R. 2001.** Principios estadísticos para el diseño y análisis de investigaciones. Diseño de experimentos. Ed. Thomson. 2da Ed. D. F. México. 680 p.

**Laffite, H R. 1994.** Identificación de problemas en la producción de maíz tropical. Guía de Campo. México D F. CIMMYT. 122 p

**LeRoy, S; Hargreaves, G; Kern Stutler, R. 1985.** Irrigation scheduling manual. International Irrigation Center. Department of Agricultural Engineering and Irrigation. Utah State University. US. 221 p

**MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2013.** Encuesta de Intenciones de Siembra 2013/2014. DGEA. San Salvador. SV.34 p

**MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2016.** Boletín Climatológico Mensual y anual. SNET. San salvador. SV. 16 p

**Martínez, A; Zelada, C; Herrera, M. 2005.** Creación de un modelo de sistemas de información geográficos (SIG) para una finca, caso Campo Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de El Salvador. Título para optar al grado de ingeniero agrónomo. SV. 85 p

**Mera, A G; Montaña C, X. 2015.** Evaluación de Arreglos Espaciales y Densidades Poblacionales en Híbridos de Maíz Comercial en Zonas de Bosque Tropical Seco durante la Época Lluviosa. Tesis de grado para optar al título de ingeniero agrícola. Escuela superior politécnica del litoral. Gauyaquil. EC. 71 p

**Merino, G .1998.** Evaluación de los impactos del cambio climático en la seguridad alimentaria de El Salvador. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. San Salvador. SV. 69 p

**Monsanto. 2008.** Como se desarrolla una planta de maíz. Ritchie S. Iowa State University. US. 21 p

**Morales, N. 2008.** Manual de recomendaciones técnicas cultivo de maíz. INTA. San José. CR. 68 p

**NaanDanJain Irrigation Ltd. 2016.** Sistema de riego por goteo para parcelas pequeñas. IL. Jerusalén. 6 p

**Nelson, G C; Rosegrant, M W; Koo, J; Robertson, R; Sulser, T; Zhu, T; Ringler, C; Msangi, S; Palazzo, A; Batka, M; Magalhaes, M; Valmonte-Santos, R; Ewing, M; Lee D. 2009.** Cambio Climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación. Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias IFPRI Washington, D C. US. 19 p

**Nesmith, D S; Ritchie, J M. 1992.** Maize (*Zea mays* L.) response to a severe soil water deficit during grain filling. Field Crops Research. Michigan State University. US. 23-35 p

**Netafim. 2015.** Mejores Prácticas para el Maíz. Tel Aviv. IL. Consultado: 18 jun. 16. Disponible: <http://www.netafim-latinamerica.com/about-us>

**Ober, E S; Setter, T L; Madison, J T; Thompson, J F; Shapiro P. 1991.** Influence of water deficit on maize endosperm development. Cornell university. New York. US. 154-164 p

**OCDE (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico. Agricultura). 2010.** El impacto potencial del cambio climático sobre los agroecosistemas. El caso del cultivo del maíz, proyecciones al futuro. Universidad Autónoma de Puebla. MX. 14 p

**ONU (Organización de las Naciones Unidas). 1992.** Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático. New York. US. 27 p

**Ordaz, J L; Ramírez, D; Mora, j; Acosta, A; Serna, B. 2010.** El Salvador. efectos del cambio climático sobre la agricultura. CEPAL. ONU. México D F. 70 p

**Ouattar, S R; Jones, J; Crookston, R K. 1987.** Effect of water deficit during grain filling on the pattern of maize kernel growth and development. Universidad de Minnesota. US. 726-730 p

**Parsons, D. 1988.** Manual para la Educación Agropecuaria. Trillas. México DF. 59 p

**Perelló, E; Hernández, V; Peralta, M; Moreno, Y. 2016.** Physiological markers for drought tolerance in maize (*Zea mays* L.). Colegio de postgraduados de la Universidad de Chapingo. Ciudad de México.

**Pioneer DuPont. 2008.** Rendimiento del grano del maíz en relación al estrés durante las distintas etapas de desarrollo. Boletín técnico. Buenos Aires. AR. 12 p

**PMA (Programa Mundial de Alimentos de la Naciones Unidas). 2004.** El costo del hambre: impacto económico y social de la desnutrición infantil. CEPAL. New York. US. 142 P

**Sandal M. 2014.** Comportamiento agronómico de tres híbridos de maíz *Zea mays* L. Tesis de grado para optar al título de ingeniero agropecuario. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. EC. 93 p

**Shaw, R H. 1988.** Climatic requirement. In Corn and corn improvement. Ed. by G F. 3ra ed. Madison. Wisconsin. US. 09-38 p

**SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales). 2016.** Perspectiva del clima para el período de marzo a agosto de 2016 El Salvador. San salvador. SV. 5 p

**Tubiello, F N; Soussana, J F; Howden M. 2007.** Crop and Pasture Response to Climate Change. Proceedings of the National American Society. Universidad de Pennsylvania. US 104 p.

**USDA (United States Department of Agriculture). 2013.** World Agricultural Production. Washington. US. 73 p

**Westgate, M E and Boyer, J S. 1985.** Carbohydrate reserves and reproductive development at low leaf water potentials in maize. Crop Scien. University of Delaware. US. 769 p

**Yzarra, W. 2010.** Manual de observaciones fenológicas en cultivos agrícolas. Ministerio de Agricultura. Dirección General de Competitividad Agraria. Lima. PE. 98 p

## 8. ANEXOS.

Cuadro A-1: Descripción taxonómica de la planta de maíz.

Taxonomía	
<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Liliopsida
<b>Orden</b>	Cyperales
<b>Familia</b>	Poaceae
<b>Género</b>	Zea
<b>Especie</b>	mays
<b>Nombre Científico</b>	<i>Zea mays</i> L.
<b>Nombre Común</b>	Maíz

Fuente: Mera & Montaña, 2015

Cuadro A-2: Plagas del suelo de importancia económica en el cultivo de maíz.

Nombre común	Nombre Científico	Daño	Control	Dosis
<b>Gallina ciega</b>	<i>Phillophaga spp</i>	Raíces y tallo	Carbosulfan	225 g/12 kg de semilla
<b>Gusano de alambre</b>	<i>Metanotus sp</i>	Raíces y tallo	Thiodicard	1 lt/46 kg de semilla
<b>Piojo de zope</b>	Blapstinus sp	Granos por germinar	Foxim	64 kg/ hectárea
<b>Gusano cortador</b>	<i>Agrotis sp</i>	Raíces y base del tallo	Clorpirifos	9 a13 kg/ hectárea

Fuente: CENTA 2008

Cuadro A-3: Elementos nutritivos necesarios para el maíz.

<b>ELEMENTO</b>	<b>KG/HA</b>
* Nitrógeno	187
* Fósforo	38
* Potasio	192
* Calcio	38
* Magnesio	44
* Azufre	22
Cobre	0.1
Zinc	0.3
Boro	0.2
Hierro	1.9
Manganeso	0.3
Molibdeno	0.01

Fuente: CENTA 2008

\*Nutrimentos que se absorben en mayores cantidades (macroelementos) y elementos secundarios.

Cuadro A-4: Retrospectiva periodo agrícola 2005/2015, superficie, producción y rendimiento.

<b>Año agrícola</b>	<b>Superficie (mz)</b>	<b>Producción (qq)</b>	<b>Rendimiento (qq/mz)</b>
<b>2005/06</b>	367,224	1,806,086.8	49.2
<b>2006/07</b>	348,726	1,353,050.6	38.8
<b>2007/08</b>	343,614	1,538,715.5	44.8
<b>2008/09</b>	366,314	1,910,170.0	52.2
<b>2009/10</b>	374,128	1,729,123.7	46.2
<b>2010/11</b>	362,706	1,689,848.6	46.6
<b>2011/12</b>	383,417	1,663,975.0	43.4
<b>2012/13</b>	406,089	2,036,846.5	50.2
<b>2013/14</b>	420,690	1,906,743.1	45.3
<b>2014/15</b>	449,061	1,781,111.8	39.7

Fuente: ENAPM 2015

Cuadro A-5: Características agronómicas de los germoplasmas de maíz.

CARACTERÍSTICAS	Germoplasmas	
	H-59	CENTA Pasaquina
	Híbrido Triple	Var. polinización libre
<b>Ciclo vegetativo</b>	110-115 días	90-95 días
<b>Días a floración</b>	55	45
<b>Altura de planta (cm)</b>	247	187
<b>Altura de mazorca (cm)</b>	135	89
<b>Reacción a sequía</b>	No evaluada	Tolerante
<b>Reacción al acame</b>	Tolerante	Tolerante
<b>Aspecto de tallo</b>	Vigoroso	Vigoroso
<b>No. Hileras/mazorca</b>	14	14
<b>Color/tipo de grano</b>	Blanco semi dentado	Blanco Dentado
<b>Rendimiento (qq/mz)</b>	95-100	65

Fuente: CENTA, 2014.

Figura A-1: Distribución del sistema de riego NaanDanJain Irrigation en el cultivo de maíz.

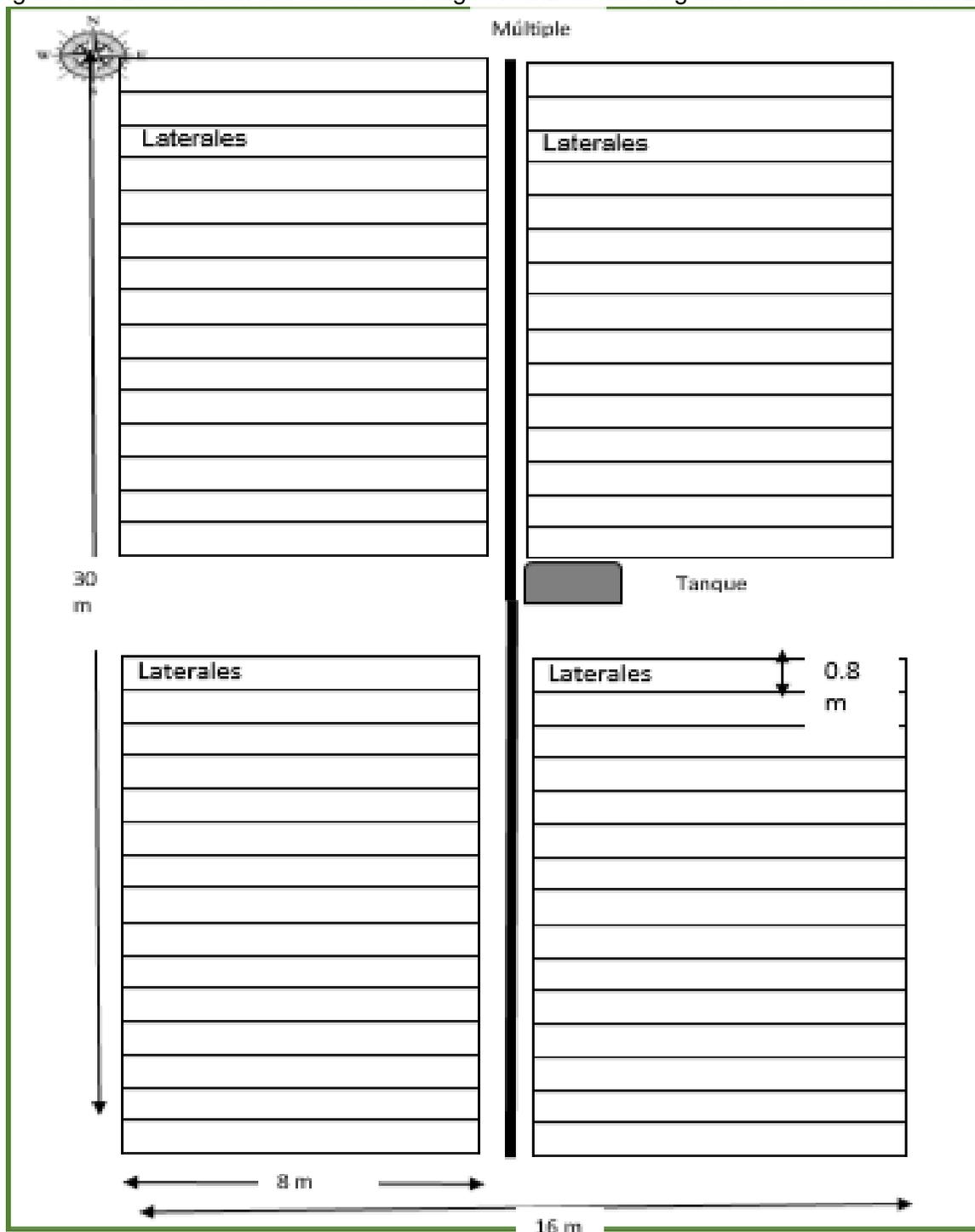
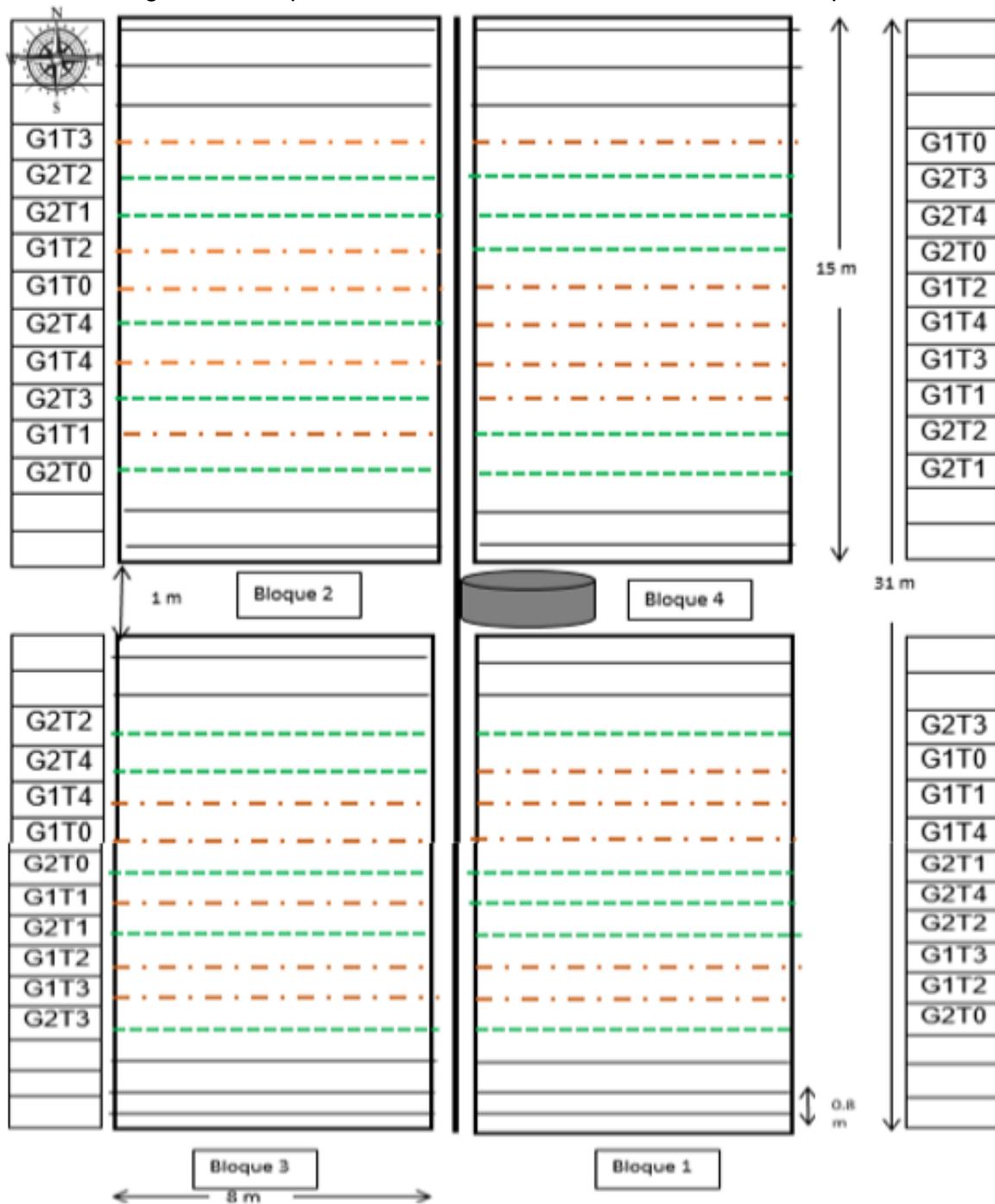


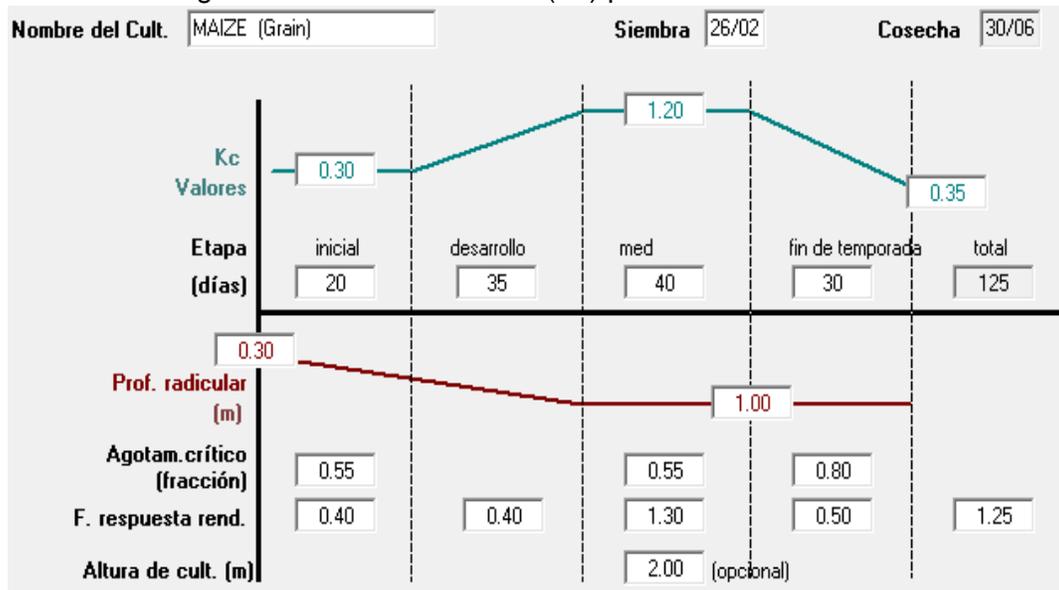
Figura A-2: Mapa de distribución de los tratamientos en los bloques.



Simbología

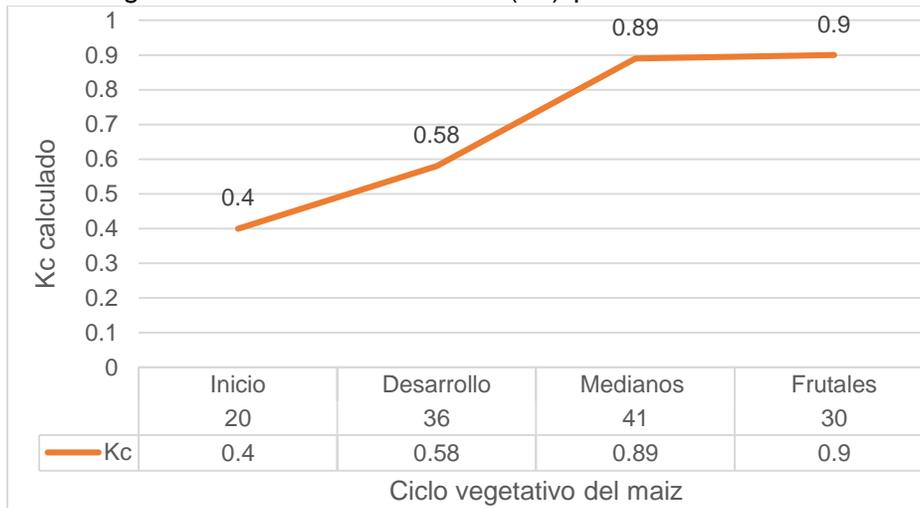
- G1= Germoplasma: Híbrido H-59 (H-59)
- ..... G2 = Germoplasma: CENTA Pasaquina (VCP)
- Bordes

Figura A-3: Constate teórico (Kc) para el cultivo de maíz.



Fuente: LeRoy et al 1985

Figura A-4: Constate calculada (Kc) para cultivo de maíz.



Cuadro A-6: Evapotranspiración del cultivo de maíz (Etc).

Meses	f	M	A	M	J
<b>ETP MM/D</b>	5.6	6	5.7	5	4.9
<b>Kc PROM/ MES</b>	0.4	0.58	0.89	1.1	0.9
<b>ETC MM/D</b>	2.24	3.48	5.07	5.5	4.41
<b>ETC MM/MES</b>	6.72	107.88	152.1	170.5	132.3
<b>∑ ETC = 569.5 mm de agua durante el ciclo vegetativo</b>					

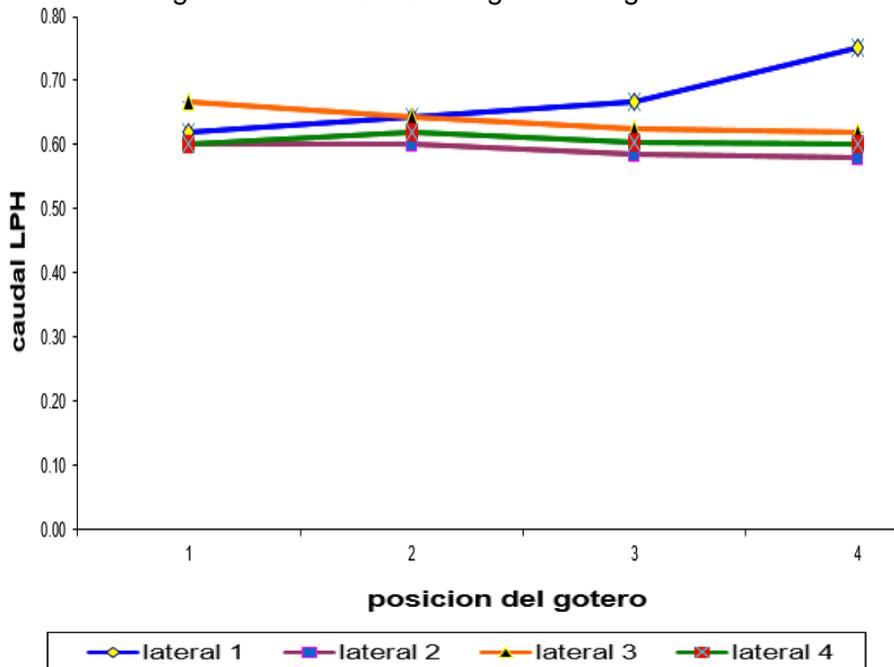
Cuadro A-7: Caudal de los emisores litro por hora. (LPH).

Emisores	Laterales			
	1	2	3	4
1	0.62	0.60	0.67	0.60
2	0.64	0.60	0.64	0.62
3	0.67	0.58	0.63	0.60
4	0.75	0.58	0.62	0.60
<b>Prom Lateral</b>	0.67	0.59	0.64	0.61

Cuadro A-8: Porcentaje de eficiencia del sistema de riego por goteo.

<b>Qe min LPH:</b>	<b>0.59</b>
<b>Qe max LPH:</b>	0.68
<b>Qe med LPH</b>	0.63
<b>CU i :</b>	<b>94.21 %</b> (debe ser mayor que 92 %)
<b>CU g:</b>	<b>92.98 %</b> (debe ser mayor que 90 %)

Figura A-5: Caudal de los goteros según lateral.

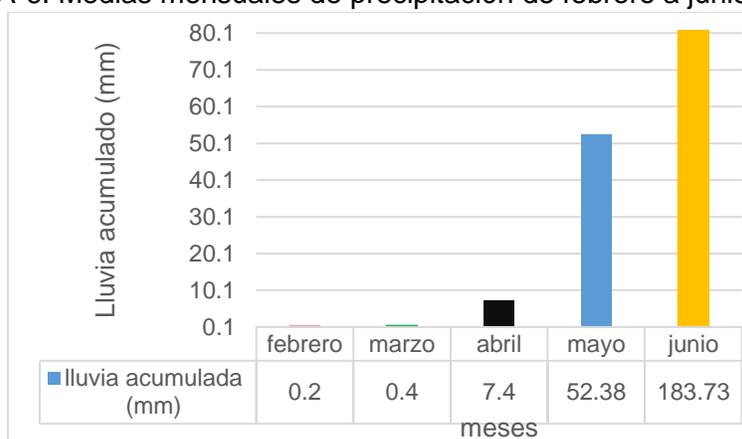


Cuadro A-9: Promedios mensuales de precipitación de febrero a junio de 2016

<b>ESTACIÓN: STA. CRUZ PORRILLO</b>	
<b>mes</b>	<b>lluvia acumulada (mm) datos reales 2016</b>
<b>febrero</b>	0.2
<b>marzo</b>	0.4
<b>abril</b>	7.4
<b>mayo</b>	52.38
<b>junio</b>	183.73

Fuente: MARN 2016

Figura A-6: Medias mensuales de precipitación de febrero a junio de 2016

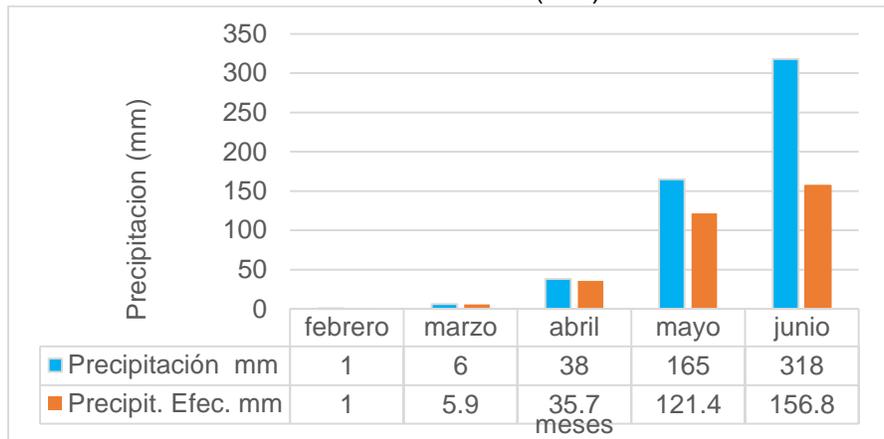


Cuadro A-10: Comportamiento de precipitación de febrero a junio del registro histórico de la base de datos de la FAO. (mm)

<b>ESTACIÓN: STA CRUZ PORRILLO. MÉTODO DE CÁLCULO: USDA S.C.</b>		
<b>Meses</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Precipit. Efec.</b>
	<b>mm</b>	<b>mm</b>
<b>Enero</b>	2.0	2.0
<b>Febrero</b>	1.0	1.0
<b>Marzo</b>	6.0	5.9
<b>Abril</b>	38.0	35.7
<b>Mayo</b>	165.0	121.4
<b>Junio</b>	318.0	156.8
<b>Total</b>	530.0.	322.80

Fuente: FAO 2016

Figura A-7: medias de precipitación de febrero a junio del registro histórico de la base de datos de la FAO. (mm)



Fuente: FAO 2016

Cuadro A-11: promedios mensuales de humedad relativa en porcentajes.

<b>ESTACIÓN: STA CRUZ PORRILLO</b>	<b>MÉTODO DE CÁLCULO: USDA S.C.</b>
<b>meses</b>	%
<b>enero</b>	65
<b>febrero</b>	66
<b>marzo</b>	67
<b>abril</b>	72
<b>mayo</b>	79
<b>junio</b>	81
<b>julio</b>	78

Fuente: FAO 2016

Cuadro A-12: Promedios mensuales de temperatura máxima, mínima y promedios en grados centígrados (°C)

<b>ESTACIÓN: STA CRUZ PORRILLO</b>	<b>MÉTODO DE CÁLCULO: USDA S.C.</b>	
	Temperaturas (°C)	
<b>meses</b>	Mínimas	máximas
<b>enero</b>	19.4	35.8
<b>febrero</b>	19.8	35.9
<b>marzo</b>	21.1	36.0
<b>abril</b>	22.6	35.9
<b>mayo</b>	23.0	34.9
<b>junio</b>	22.4	33.3
<b>julio</b>	22.0	34.4

Fuente: FAO 2016

Cuadro A-13: Análisis del supuesto de normalidad según Shapiro-Wilks para altura de planta (m) en última etapa de su desarrollo.

<b>VARIABLE</b>	<b>N</b>	<b>MEDIA</b>	<b>D.E.</b>	<b>W*</b>	<b>P (UNILATERAL D)</b>
<b>RDUO alt/planta</b>	200	0.00	0.25	0.99	0.9626

Cuadro A-14: análisis de la varianza paramétrica para altura de planta (m) en su última etapa de desarrollo.

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>P- VALOR</b>
<b>Modelo</b>	5.62	5	1.12	18.01	<0.0001
<b>Tratamiento</b>	5.04	4	1.26	20.20	<0.0001
<b>Germoplasma</b>	0.58	1	0.58	9.26	0.0027
<b>Error</b>	12.11	194	0.06		
<b>Total</b>	17.73	199			

Cuadro A-15: Prueba de Tukey para altura de planta (m) en la última etapa de desarrollo de según germoplasmas.

<b>GERMOPLASMAS</b>	<b>MEDIAS</b>	<b>N</b>	<b>E.E.</b>		
<b>1</b>	1.95	100	0.02	A	
<b>2</b>	2.05	100	0.02		B

Cuadro A-16: Prueba de Tukey para altura de planta (m) en la última etapa de desarrollo según los tratamientos.

TRATAMIENTOS	MEDIAS	N	E.E.		
V	1.84	40	0.04	A	
III	1.87	40	0.04	A	
IV	1.90	40	0.04	A	
II	2.17	40	0.04		B
I	2.21	40	0.04		B

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

Cuadro A-17: Análisis del supuesto de normalidad según Shapiro-Wilks para diámetro de tallo (mm) en la última etapa de su desarrollo.

VARIABLE	N	MEDIA	D.E.	W*	P (UNILATERAL D)
RDUO Diam/planta mm	200	0.00	2.22	0.97	0.0097

Cuadro A-18: Análisis de normalidad para diámetro de tallo (mm) según criterio de Raíz Cuadrada.

VARIABLE	N	MEDIA	D.E.	W*	P (UNILATERAL D)
RDUO Diam/planta mm	200	0.00	0.00	0.22	0.0013

Cuadro A-19: Análisis de varianza no paramétrica según Kruskal y Wallis de diámetro de tallo (mm) en su última etapa de desarrollo según germoplasmas.

GERMOPLASMA	N	MEDIAS	D.E.	MEDIANAS	H	P
1	100	27.22	2.62	27.7	0.1	0.7517
2	100	27	2.57	27.65		

Cuadro A-20: Análisis de la varianza no paramétrica según Kruskal y Wallis de diámetro de tallo (mm) en su última etapa de desarrollo según tratamientos.

TRATAMIENTO	N	MEDIAS	D.E.	MEDIANAS	H	P
I	40	29.03	1.69	29	57.57	<0.0001
II	40	27.94	2.53	28		
III	40	27.34	2.06	27.8		
IV	40	25.66	2.37	26		
V	40	25.58	2.46	25.75		

Cuadro A-21: Prueba de comparación de A pares para diámetro de plantas (mm) en la última etapa de desarrollo de según los tratamientos.

TRATAMIENTOS	MEDIAS			
V	25.58	A		
IV	25.66	A		
III	27.34		B	
II	27.94		B	
I	29.03			C

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

Cuadro A-22: Prueba de Comparación de A pares para días a floración según los tratamientos.

TRATAMIENTOS	MEDIAS	
IV	51.13	A
III	49.00	A
I	47.13	A
V	46.75	A
II	46.38	A

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

Cuadro A-23: Análisis del supuesto de normalidad según Shapiro-Wilks para altura de mazorca (m) en última etapa de su desarrollo.

VARIABLE	N	MEDIAS	D.E.	W*	P (UNILATERAL D)
RDUO alt/mazorca	200	0.00	0.15	0.98	0.0369

Cuadro A-24: Análisis de normalidad para altura de mazorca (m) según criterio de Raíz Cuadrada.

VARIABLE	N	MEDIAS	D.E.	W*	P (UNILATERAL D)
RDUO RAIZ alt/mazorca	200	0.00	0.08	0.96	< 0.0001

Cuadro A- 25: Análisis de la varianza no paramétrica según Kruskal Y Wallis de altura de mazorca (m) por germoplasmas.

GERMOPLASMAS	N	MEDIAS	D.E,	MEDIANAS	H	P
1	100	1.01	0.16	1.00	16.18	0.0001
2	100	0.91	0.16	0.90		

Cuadro A-26: Prueba de Comparación de A pares para altura de mazorca (m) según germoplasmas.

GERMOPLASMAS	MEDIAS		
1	1.01	A	
2	0.91		B

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

Cuadro A-27: Análisis de la varianza no paramétrica según Kruskal y Wallis de altura de mazorca (m) según tratamientos.

TRATAMIENTOS	N	MEDIAS	D.E.	MEDIANAS	H	P
1	40	1.06	0.16	1.10	34.38	<0.0001
2	40	1.01	0.17	1.05		
3	40	0.89	0.14	0.90		
4	40	0.87	0.14	0.90		
5	40	0.96	0.18	0.98		

Cuadro A-28: Prueba de Comparación de A pares para altura de mazorca (m) según los tratamientos.

TRATAMIENTOS	MEDIAS			
5	0.87	A		
4	0.89	A		
3	0.96		B	
2	1.01		B	C
1	1.06			C

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

Cuadro A-29: Análisis del supuesto de normalidad según Shapiro-Wilks para longitud de mazorca (cm).

VARIABLE	N	MEDIA	D.E.	W*	P (UNILATERAL D)
RDUO long/mazorca	200	0.00	2.71	0.98	0.3762

Cuadro A-30: Análisis de la varianza (ANVA) paramétrica para longitud de mazorca (cm).

F.V	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Modelo	342.46	5	68.49	9.07	<0.0001
Germoplasma	10.13	1	10.13	1.34	0.2484
Tratamiento	332.33	4	83.08	11.00	<0.0001
Error	1465.50	194	7.55		
Total	1807.96	199			

Cuadro A-31: Prueba de Tukey para longitud de mazorca (cm) de según germoplasmas.

GERMOPLASMA	MEDIAS	N	E.E.	
2	18.26	100	0.27	A
1	18.71	100	0.27	A

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

Cuadro A-32: Prueba de Tukey para longitud de mazorca (cm) según los tratamientos.

TRATAMIENTOS	MEDIAS	N	E.E.			
4	16.83	40	0.43	A		
5	17.38	40	0.43	A		
3	18.50	40	0.43	A	B	
2	19.35	40	0.43		B	C
1	20.38	40	0.43			C

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

Cuadro A-33: Análisis del supuesto de normalidad según Shapiro-Wilks para diámetro mazorca (mm).

VARIABLE	N	MEDIA	D.E.	W*	P(UNILATERAL D)
RDUO_Diam/mazorca	200	0.00	4.86	0.99	0.7604

Cuadro A-34: Análisis de la varianza paramétrica (ANVA) para el diámetro mazorca (mm).

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Modelo	1595.25	5	319.05	13.18	<0.0001
Germoplasmas	524.88	1	524.88	21.69	<0.0001
Tratamientos	1070.37	4	267.59	11.06	<0.0001
Error	4694.67	194	24.20		
Total	6289.92	199			

Cuadro A-35: Prueba de Tukey para el diámetro de la mazorca (mm) según germoplasmas.

GERMOPLASMAS	MEDIAS	N	E.E.		
2	49.90	100	0.49	A	
1	53.14	100	0.49		B

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

Cuadro A-36: Prueba de Tukey para el diámetro de mazorca (mm) según los tratamientos.

TRATAMIENTOS	MEDIAS	N	E.E.			
4	48.18	40	0.78	A		
5	49.75	40	0.78	A	B	
3	51.70	40	0.78		B	C
2	53.65	40	0.78			C
1	54.33	40	0.78			C

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

Cuadro A-37: Análisis del supuesto de normalidad según Shapiro-Wilks para número de hileras por mazorca.

VARIABLE	N	MEDIA	D.E.	W*	P(UNILATERAL D)
RDUO hileras/mazorca	200	0.00	1.68	0.94	<0.0001

Cuadro A-38: Análisis de normalidad para número de hileras por mazorca según criterio de Raíz Cuadrada.

VARIABLE	N	MEDIA	D.E.	W*	P(UNILATERAL D)
RDUO RAIZ hileras/mazorca	200	0.00	0.23	0.94	<0.0001

Cuadro A-39: Análisis de la varianza no paramétrica según Kruskal Y Wallis en número de hileras por mazorca de acuerdo a germoplasmas.

GERMOPLASMAS	N	MEDIAS	D.E.	MEDIANAS	H	P
1	100	14.98	1.68	15.00	42.83	<0.0001
2	100	13.15	1.68	13.00		

Cuadro A-40: Prueba de comparación de A pares para número de hileras por mazorca según germoplasmas.

GERMOPLASMAS	MEDIAS		
2	13.15	A	
1	14.98		B

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

Cuadro A-41: Análisis de la varianza no paramétrica según Kruskal y Wallis para número de hileras por mazorca según tratamientos.

Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
1	40	14.03	1.67	14	0.68	0.9489
2	40	14.25	1.77	14		
3	40	14.1	2.18	14		
4	40	14.03	1.89	14		
5	40	13.93	2.09	14		

Cuadro A-42: Análisis del supuesto de normalidad según Shapiro-Wilks para porcentaje de llenado de mazorca.

VARIABLE	N	MEDIA	D.E.	W*	P(UNILATERAL D)
RDUO % llenado/mazorca	200	0.00	13.60	0.93	<0.0001

Cuadro A-43: Análisis de la varianza no paramétrica según Kruskal Y Wallis en porcentaje de llenado de mazorca de acuerdo a germoplasmas.

GERMOPLASMA	N	MEDIAS	D.E.	MEDIANAS	H	P
1	100	67.03	26.21	69.74	3.6	0.0579
2	100	57.61	31.83	64.73		

Cuadro A-44: Análisis de la varianza no paramétrica según Kruskal y Wallis en porcentaje de llenado de mazorca de acuerdo a los tratamientos.

TRATAMIENTOS	N	MEDIAS	D.E.	MEDIANAS	H	P
1	40	99.15	0.41	99.17	159.69	<0.0001
2	40	76.79	10.89	79.25		
3	40	63.24	17.79	66.34		
4	40	49.56	19.84	59.17		
5	40	22.85	15.13	23.81		

Cuadro A-45: Prueba de comparación de A pares para porcentaje de llenado de mazorca según los tratamientos.

TRATAMIENTOS	MEDIAS					
5	22.85	A				
4	49.56		B			
6	63.24			C		
2	76.79				D	
1	99.15					E

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

Cuadro A-46: Auto vectores del diagrama de Biplot para las variables relacionadas con la mazorca del maíz.

Variable	e1	e2
alt/mazorca (m)	0.47	0.21
long/ mazorca (m)	0.48	-0.38
diam/ mazorca (mm)	0.51	0.01
no hileras/ mazorca	0.31	0.80
% llenado/mazorca	0.43	-0.41

Correlación cofenética= 0.980

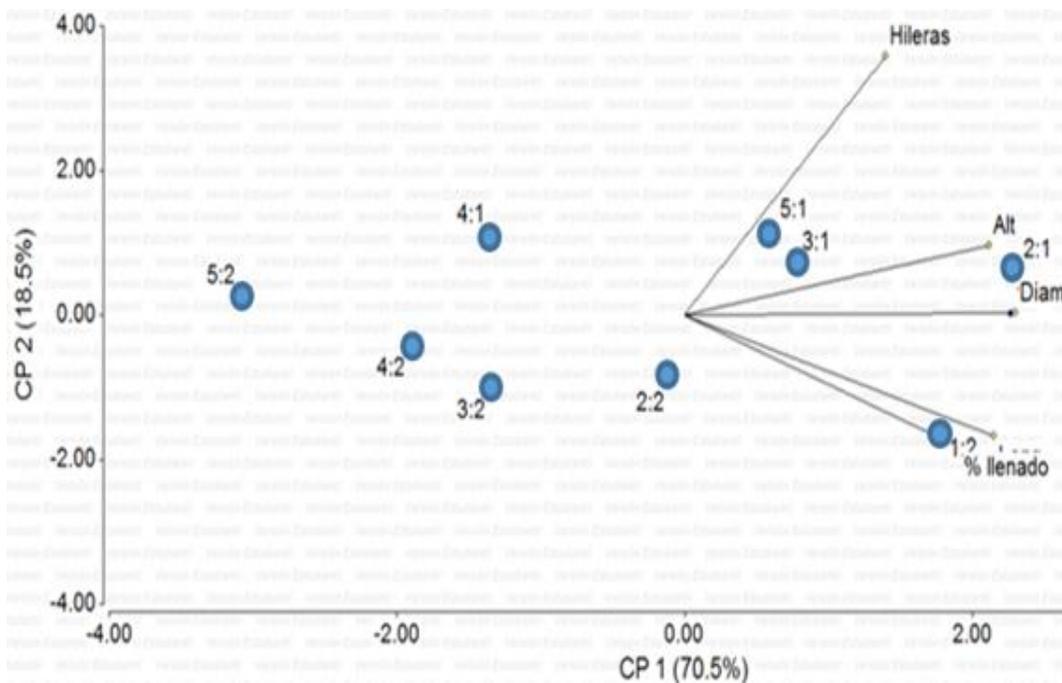


Figura A-8: Diagrama Biplot de componentes principales para altura, longitud, diámetro, número de hileras y porcentaje de llenado de mazorca.

Cuadro A-47: Análisis del supuesto de normalidad según Shapiro-Wilks para rendimiento de grano (kg/ha).

Variable	n	media	D.E.	W*	P (unilateral D)
RDUO kg/ha	40	0.00	351.25	0.94	0.1251

Cuadro A-48: Análisis de la varianza paramétrica para rendimiento de grano (kg/ha) de maíz.

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
MODELO	88528190.69	5	17705638.14	125.11	<0.0001
GERMOPLASMA	69555.60	1	69555.60	0.49	0.4880
TRATAMIENTO	88458635.09	4	22114658.77	156.27	<0.0001
ERROR	4811676.64	34	141519.90	-	-
TOTAL	93339867.34	39	-	-	-

Cuadro A-49: Prueba de Tukey para el rendimiento de grano (kg/ha) según tratamientos.

TRATAMIENTO	MEDIAS	N	E.E.	LETRAS		
5	732.60	8	133.00	A		
4	1326.06	8	133.00		B	
3	3035.99	8	133.00			C
2	3557.88	8	133.00			C
1	4809.60	8	133.00	D		

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

Cuadro A-50: Análisis del supuesto de normalidad según Shapiro-Wilks para rendimiento de biomasa (kg/ha).

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (unilateral d)
RDUO kg/ha	40	0.00	3056.20	0.95	0.2324

Cuadro A-51: Análisis de la varianza paramétrica para el rendimiento de biomasa(kg/ha).

F.V	SC	GI	CM	F	p-valores
MODELO	968822788.28	5	193764557.66	18.09	<0.0001
GERMOPLASMA	3087530.35	1	3087530.35	0.29	0.5949
TRATAMIENTO	965735257.93	4	241433814.48	22.53	<0.0001
ERROR	364273154.85	34	10713916.32		-
TOTAL	1333095943.13	39		-	

Cuadro A-52: Prueba de Tukey para el rendimiento de biomasa (kg/ha) según los periodos de estrés hídricos.

TRATAMIENTO	MEDIAS	N	E.E	LETRAS		
5	13891.41	8	1157.26	A		
4	16811.44	8	1157.26	A	B	
3	20298.47	8	1157.26		B	C
2	23587.05	8	1157.26			C D
1	27839.52	8	1157.26	D		

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