

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CENTRO REGIONAL UNIVERSITARIO DE LOS SANTOS

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN
PRODUCCIÓN AGRÍCOLA SOSTENIBLE**

**EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN SOSTENIBLE EN EL CULTIVO
DE MAÍZ MECANIZADO EN POCRÍ DE LOS SANTOS**

ING. AGUSTÍN SOLÍS GONZÁLEZ
8-770-904

**TESIS PRESENTADA COMO UN REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAGISTER EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN PRODUCCIÓN
SOSTENIBLE**

PANAMÁ, REPÚBLICA DE PANAMÁ

2024

**EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN SOSTENIBLE EN EL CULTIVO
DE MAÍZ MECANIZADO EN POCRÍ DE LOS SANTOS**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN SOMETIDO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN PRODUCCIÓN
AGRÍCOLA SOSTENIBLE**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
DEPARTAMENTO DE POSTGRADO Y MAESTRÍA**

**PERMISO PARA SU PUBLICACIÓN, REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEBE
SER OBTENIDA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

APROBADO

PH. D. JOSÉ E. VILLARREAL N.

ASESOR

MSC. ING. LUIS A. BARAHONA A.

JURADO

MSC. ING. JOSÉ N. RIVERA

JURADO

LAS TABLAS, LOS SANTOS

REPÚBLICA DE PANAMÁ

2024

DEDICATORIA

El esfuerzo realizado dentro de este trabajo de investigación va, principalmente, dedicado a Dios, quien es el alfa y el omega, por brindarme la oportunidad de haber sabido enfrentar los retos puestos en esta carrera y, sobre todo, enfrentarlos con triunfos.

A mis hijos, Agustín Andrés Solís Villarreal, Mía Camila Solís Villarreal y Matías Sebastián Solís Villarreal, por llenarme de alegría día tras día y ser la fuente de inspiración para seguir adelante por el camino duro de la vida.

A mis padres, Agustín Solís Gallardo y Alicia González Zamudio, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí, el ejemplo de esfuerzo y la valentía para no temer a las adversidades, ya que, Dios está conmigo siempre.

A todos ellos, quiero dedicarles y agradecerles por siempre acompañarme, apoyarme, alentarme, orientarme y por siempre permitirme ser mejor persona.

Agustín

AGRADECIMIENTO

Al concluir una etapa maravillosa de mi vida quiero extender un profundo agradecimiento, a quienes hicieron posible este sueño, aquellos que junto a mí caminaron en todo momento y siempre fueron inspiración, apoyo y fortaleza. Esta mención en especial para Dios.

Mi gratitud, también a la Universidad de Panamá, a cada docente, quienes con su apoyo y enseñanzas constituyen la base de mi vida profesional, en especial al Dr. Msc. José Ezequiel Villarreal, a M.Sc. Ing. Alberto Barahona y al Ing. Rubén Samaniego, quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

A mis padres e hijos por enseñarme a ser perseverante y por creer en mí, a tener fe y recordar que: «El que persevera alcanza»

Sin olvidarme de alguien muy especial y cómplice en este logro alcanzado, que me enseñó, que el regalo más bonito que alguien te puede dar, es enseñar a volver a confiar, con acciones y con palabras.

Agustín

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE CUADROS	ix
INDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN	1
I. Objetivos generales y específicos	3
1.1. Objetivo general	3
1.2. Objetivos específicos	3
II. Revisión de literatura	4
2.1. Generalidades del cultivo de maíz.....	4
2.2. Descripción botánica de la planta	6
2.3. Fases de desarrollo de la planta de maíz.....	8
2.4. Características del cultivo del maíz.....	12
2.5. Aspectos edafoclimáticos	13
2.5.1. Luz solar	14
2.5.2. Temperatura	15
2.5.3. Agua.....	15

2.5.4. Suelos	18
2.6. Enfermedades y plagas del maíz	19
2.7. Sistemas de siembra.....	21
2.7.1. Labranza convencional y labranza de conservación	21
2.8. Micorrizas	24
III. Materiales y métodos	27
3.1. Localización geográfica del campo experimental.....	27
3.2. Tipo de diseño.....	28
3.3. Modelo matemático.....	28
3.4. Variables a evaluar.....	30
3.5. Unidad experimental.....	33
3.6. Material genético	34
3.7. Manejo agronómico	36
3.8. Muestreo en campo	36
IV. Resultados y discusión	38
4.1. Comprobación de los supuestos.....	38
4.2. Flor masculina (FlorM).....	39
4.3. Flor femenina (FlorF)	43
4.4. Altura de planta (AltP).....	44
4.5. Altura de mazorca (AltM)	46
4.6. Rendimiento en toneladas.....	47
4.7. Índice de vegetación de diferencial normalizado (NDVI).....	52
4.8. Porcentaje de nitrógeno (%N)	58
4.8.1. Análisis de correlación.....	62

4.9. Análisis multivariado de componentes.....	63
CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES	66
BIBLIOGRAFÍA	67
ANEXOS	75

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla N° 1. Etapas en el desarrollo de la planta de maíz.....	11
Tabla N° 2. Reducción del rendimiento en maíz debido a la sequía, según etapa fenológica del cultivo.....	17

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro N° 1. Prueba de normalidad y homogeneidad de varianza de las variables de respuesta.....	38
Cuadro N° 2. Cuadrados medios del análisis de varianzas de las distintas variables del cultivo.....	39
Cuadro N° 3. Prueba de comparación de medias de Duncan (Alfa=0.05) entre genotipos para días a floración masculina.....	40
Cuadro N° 4. Prueba de comparación de medias de Duncan (Alfa=0.05) para la interacción labranza por genotipo para días a floración masculina.....	41
Cuadro N° 5. Prueba de comparación de medias de Duncan (Alfa=0.05) para la interacción labranza x densidad x micorriza para días a floración masculina.....	42
Cuadro N° 6. Prueba de comparación de medias de Duncan (Alfa=0.05) entre genotipos para días a floración femenina.....	44
Cuadro N° 7. Prueba de comparación de medias de Duncan (Alfa=0.05) entre genotipos para altura de planta.....	45
Cuadro N° 8. Prueba de comparación de medias de Duncan (Alfa=0.05) entre labranza para altura de mazorca.....	46
Cuadro N° 9. Prueba de comparación de medias de Duncan (Alfa=0.05) entre genotipos para t/ha.....	48

Cuadro N° 10. Prueba de comparación de medias de Duncan (Alfa=0.05) entre densidad para t/ha.....	48
Cuadro N° 11. Prueba de comparación de medias de Duncan (Alfa=0.05) entre micorriza para t/ha.....	49
Cuadro N° 12. Prueba de comparación de medias de Duncan (Alfa=0.05) para la interacción genotipo por micorriza para t/has.....	50
Cuadro N° 13. Prueba de comparación de medias de Duncan (Alfa=0.05) para la interacción genotipo por densidad por micorrizas para t/ha.....	51
Cuadro N° 14. Prueba de comparación de medias de Duncan (Alfa=0.05) entre genotipos para NDVI.....	53
Cuadro N° 15. Prueba de comparación de medias de Duncan (Alfa=0.05) entre densidad para NDVI.....	54
Cuadro N° 16. Prueba de comparación de medias de Duncan (Alfa=0.05) entre micorriza para NDVI.....	54
Cuadro N° 17. Prueba de comparación de medias de Duncan (Alfa=0.05) para la interacción labranza por genotipo para NDV.....	55
Cuadro N° 18. Prueba de comparación de medias de Duncan (Alfa=0.05) para la interacción labranza por genotipo por densidad para NDVI.....	56
Cuadro N° 19. Prueba de comparación de medias de Duncan (Alfa=0.05) para la interacción labranza por genotipo por micorriza para NDVI.....	57
Cuadro N° 20. Prueba de comparación de medias de Duncan (Alfa=0.05) entre genotipo para %N Foliar.....	59

Cuadro N° 21. Prueba de comparación de medias de Duncan (Alfa=0.05) entre densidad para %N Foliar.....	59
Cuadro N° 22. Prueba de comparación de medias de Duncan (Alfa=0.05) entre micorriza para %N Foliar.....	60
Cuadro N° 23. Prueba de comparación de medias de Duncan (Alfa=0.05) para la interacción genotipo por densidad para %N Foliar.....	60
Cuadro N° 24. Prueba de comparación de medias de Duncan (Alfa=0.05) para la interacción densidad por micorriza para %N Foliar.....	61
Cuadro N° 25. Análisis de Correlación de Pearson.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Partes de la planta de maíz.....	8
Figura 2. Distintos estados fenológicos del maíz.....	11
Figura 3. Curva de utilización del agua durante el desarrollo de la planta de maíz.....	16
Figura 4. Localización geográfica de la evaluación de sistemas de producción sostenible de maíz mecanizado.....	27
Figura 5. Parcelas experimentales establecidas en campo.....	34
Figura 6. Híbridos utilizados en el cultivo y su tratamiento.....	35
Figura 7. Medición de índice de vegetación normalizada (NDVI).....	37
Figura 8. Análisis de componentes principal. BILOT.....	64

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Establecimiento del ensayo.....	75
Anexo 2. Inicio de siembra en el ensayo.....	75
Anexo 3. Híbrido de maíz inoculados con micorriza.....	76
Anexo 4. Germinación de la parcela área cero labranzas.....	76
Anexo 5. Medición del índice de vegetación para determinar el estado nutricional del ensayo, específicamente el elemento nitrógeno.....	77
Anexo 6. Unión de gametos masculino y femenino, mazorcas en llenado de grano.....	77
Anexo 7. Secado de las muestras en el horno.....	78
Anexo 8. Hoja de bandera seca y su respectivo peso.....	78
Anexo 9. Mazorca de maíz con 14% de humedad lista para la cosecha...	79
Anexo 10. Muestras de híbridos cosechados para determinar el rendimiento.....	79

EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN SOSTENIBLE EN EL CULTIVO DE MAÍZ MECANIZADO EN POCRÍ DE LOS SANTOS

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el sistema de producción sostenible adecuado para el cultivo de maíz mecanizado en Pocrí de Los Santos, mediante el uso de indicadores de sostenibilidad para la producción, se realizó una evaluación sobre el efecto de sistema de labranza, y uso de micorrizas en el rendimiento del cultivo de maíz, Distrito de Pocrí, provincia de Los Santos en el 2020, utilizando un diseño experimental de bloques completamente al azar con 3 repeticiones, con un arreglo factorial en 2x3x3x2 en con arreglo en faja, evaluando componente principales y su interacción como, densidad, genotipo, sistema de labranza y micorrizas. El uso de micorrizas en el cultivo de maíz, no se encontró un efecto sobre los días de floración cuando se evaluaron diferentes densidades de siembra en maíz. En el método de siembra con mayor eficacia fue el de labranza convencional en el cultivo de maíz alcanzando mayor floración masculina, en menos días. En la floración femenina existió diferencias estadísticas en los factores simple entre los genotipos, sin embargo, entre labranza, densidades y uso de micorrizas no existió diferencias estadísticas. Los genotipos que respondieron mejor al uso de micorrizas fueron el ADV9293 y SV1007. La mejor respuesta en el rendimiento utilizando densidad alta y aplicación de micorrizas fue el genotipo SV1007. Los genotipos SV1007 y ADV9293 tuvieron mejor vigor cuando se utilizó la labranza convencional y la utilización de micorrizas, mientras que el genotipo 30F35 mantuvo su vigor en la labranza mínima y convencional usando micorrizas. Por último, se observó que el rendimiento está asociado al vigor de índice de Vegetación de Diferencial (NDVI), %N y el uso de micorrizas en el cultivo de maíz, es decir, el uso de micorrizas tiene un efecto positivo en los componentes de rendimiento en el cultivo de maíz.

PALABRAS CLAVE: genotipo, micorrizas, rendimiento, sistema de siembra.

EVALUATION OF SUSTAINABLE PRODUCTION SYSTEMS IN THE CULTIVATION OF MECHANIZED CORN

ABSTRACT

With the objective of evaluating the sustainable production system suitable for the cultivation of mechanized corn in Pocrí de Los Santos, through the use of sustainability indicators for production, an evaluation was carried out on the effect of the tillage system and the use of mycorrhizae. in the yield of corn cultivation, Pocrí District, province of Los Santos in 2020, using a completely randomized block experimental design with 3 repetitions, with a factorial arrangement in 2x3x3x2 in a strip arrangement, evaluating principal components and their interaction such as density, genotype, tillage system and mycorrhizae. The use of mycorrhizae in corn cultivation, no effect was found on flowering days when different sowing densities in corn were evaluated. The most effective planting method was conventional tillage in corn cultivation, achieving greater male flowering in fewer days. In female flowering there were statistical differences in the simple factors between the genotypes, however, between tillage, densities and use of mycorrhizae there were no statistical differences. The genotypes that responded best to the use of mycorrhizae were ADV9293 and SV1007. The best response in performance using high density and mycorrhiza application was the SV1007 genotype. Genotypes SV1007 and ADV9293 had better vigor when conventional tillage and the use of mycorrhizae were used, while genotype 30F35 maintained its vigor in minimum and conventional tillage using mycorrhizae. Finally, it was observed that the yield is associated with the vigor of the Differential Vegetation Index (NDVI), %N and the use of mycorrhizae in the corn crop, that is, the use of mycorrhizae has a positive effect on the components of yield in corn cultivation.

KEYWORD: genotype, mycorrhizae, yield, planting system.

INTRODUCCIÓN

El maíz es de gran importancia económica a nivel mundial, ya sea como alimento humano, como alimento para el ganado o como fuente de un gran número de productos industriales. La diversidad de los ambientes bajo los cuales se cultiva el maíz es mucho mayor que la de cualquier otro cultivo.

Según el Ministerio de Desarrollo Agropecuario en su informe 2019-2020, la provincia de mayor producción del cultivo de maíz mecanizado es Los Santos, contribuyendo con el 80% del total producido en el país. El comportamiento de la producción en el quinquenio 2015-2016 al 2019-2020 tuvo un incremento del 89% que representa 93705800 kilogramos y, con respecto al año 2022, se incrementó en un 10%, es decir, 1884060 kilogramos. En cuanto a los rendimientos promedios por hectáreas se incrementaron en un 60% en el quinquenio, es decir, de 6700 kg/ha a 10700 kg/ha. La participación de los productores en la cosecha se incrementó en un 36.9% en ese período, que representan 243 y con respecto al año anterior en un 5%, o sea 37 participantes. En el proceso de siembra de este año 2020 participaron un total de 785 productores donde cosecharon el 99% de los mismos.

Con el paso de los años se han identificado los diferentes factores que más afectan el alto rendimiento en el cultivo de maíz, entre los que destacan: clima, nutrición, riego, híbrido, densidad de población, entre otros. De estos factores, la densidad de población, es decir, la cantidad de plantas a establecer en el terreno es una de las decisiones más complejas que toman los agricultores (INTAGRI, 2018).

Estudios realizados por Gordon (2001), demuestran que los métodos de preparación de suelo para las siembras comercial del cultivo de maíz dependen de las

condiciones de topografía y tipo de suelo del campo a cultivar, considerando las ventajas, así como inconvenientes. El aplicar alguno de ellos, bajo las condiciones no adecuadas del terreno, acarreará grandes perjuicios y pérdidas al productor.

La importancia socio-cultural del cultivo de maíz y la difícil situación en la que se encuentra la agricultura debido al incremento del costo de los fertilizantes, entre otros factores, plantea la necesidad de encontrar alternativas agroecológicas que mejoren la calidad del suelo, la producción del cultivo y la productividad del trabajo. Algunos productores están incorporando nuevas prácticas agrícolas que les permitan asegurar el suministro alimentario familiar, mejorar el ambiente ecológico y alcanzar un crecimiento económico (Pérez, 2012).

I. Objetivos generales y específicos

1.1 . Objetivo general

- Determinar el sistema de producción sostenible más adecuado para el cultivo de maíz mecanizado en Pocrí de Los Santos.

1.2. Objetivos específicos

- Identificar el método de siembra más adecuado para la región maicera de Pocrí, provincia de Los Santos.
- Establecer la densidad de siembra adecuada en cada método de siembra.
- Definir el impacto sostenible de fertilización biológica (micorrizas) versus la fertilización química en la producción de maíz mecanizado en Pocrí, provincia de Los Santos.

II. Revisión de literatura

2.1. Generalidades del cultivo de maíz

Aunque se ha dicho y escrito mucho acerca del origen del maíz, todavía hay discrepancias respecto a los detalles de su origen. Generalmente, se considera que el maíz fue una de las primeras plantas cultivadas por los agricultores desde hace 7000 a 10000 años. La evidencia más antigua del maíz como alimento humano proviene de algunos lugares arqueológicos en México donde algunas pequeñas mazorcas de maíz estimadas en más de 5 000 años de antigüedad fueron encontradas en cuevas de los habitantes primitivos (Wilkes, 1979, 1985).

De acuerdo con Paliwal et al., (2001), el debate sobre el origen del maíz todavía continúa y comprender ese problema no es solo de interés académico. Es importante en la promoción de programas agresivos de mejoramiento y para la transferencia de caracteres deseables de especies silvestres afines y cultivares locales en la evolución y el continuo mejoramiento del maíz. A pesar de su variedad de formas, es probable que todas las principales variedades de maíz conocidas en la actualidad, clasificadas como *Zea mays*, fueran cultivadas por pueblos indígenas cuando se descubrió el continente americano.

Se puede entonces resumir en que el maíz se difundió como un cultivo alimenticio en el Sur de Asia, alrededor de 1550 y hacia 1650 era un cultivo importante en Indonesia, Filipinas y Tailandia. Alrededor de 1750 el cultivo del maíz estaba

difundido en las provincias de Fukien, Hunan y Shechuan, en el Sur de China. De esta manera, en menos de 300 años el maíz viajó alrededor del globo y se estableció como un importante cultivo alimenticio en numerosos países (Dowswell et al., 1996).

La difusión del maíz a partir de su centro de origen en México a varias partes del mundo ha sido tan notable y rápida como su evolución a planta cultivada y productora de alimentos. Los habitantes de varias tribus indígenas de América Central y México llevaron esta planta a otras regiones de América Latina, al Caribe y después a Estados Unidos de América y Canadá. Los exploradores europeos llevaron el maíz a Europa y posteriormente los comerciantes lo llevaron a Asia y África (Paliwal et al., 2001).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 1993) el maíz, en conjunto con otros granos como el trigo y el arroz se consideran uno de los cereales más importantes del mundo, principalmente por suministra elementos nutritivos a los seres humanos y a los animales.

Sin embargo, en Panamá se cultivan las variedades como 30F-80 ,30k-75 ,30R-9, IDIAP-M-0512, P-0102, PB-0105, PB-0103, Variedad Guararé, las cuales son originaria de México, Centroamérica, Ecuador, Perú y Bolivia (IMA, 2020).

2.2. Descripción botánica de la planta

El maíz *Zea mays L.* es una planta monocotiledónea perteneciente a la familia Poaceae (Gramineae), Tribu Andropogoneae, con dos géneros: *Zea* ($2n=20$) y *Tripsacum* ($2n=36$). El género *Zea*, tiene además de la especie *Z. mays* (maíz común), cuatro especies conocidas generalmente como Teosintes (*Z. mexicana*, *Z. luxurians*, *Z. diploperennis* y *Z. perennis*) (Bolaños y Edmeades, 1993). Es una gramínea anual, robusta, de crecimiento determinado, que puede alcanzar hasta 5 m de altura, normalmente está compuesta de un solo tallo dominante, pero puede producir hijos fértiles (Gordón, 2021).

La semilla de maíz está contenida dentro de un fruto denominado cariósipide; la capa externa que rodea este fruto corresponde al pericarpio, estructura que se sitúa por sobre la testa de la semilla. Esta última está conformada internamente por el endosperma y el embrión, el cual a su vez está constituido por la coleorriza, la radícula, la plúmula u hojas embrionarias, el coleoptilo y el escutelo o cotiledón (Ortigoza et al., 2017).

El Tallo es una planta de tallo cilíndrico, simple, recto, robusto, y nudoso, según la variedad puede presentar un color verde, verde claro, morado. Alcanza una altura de 1 a 3 m. o más. El tallo se estructura en epidermis, la pared y la médula (Ríos, 2021).

Las Raíces son fasciculadas y robustas y su misión es, además de aportar alimento a la planta, ser un perfecto anclaje de la planta que se refuerza con la presencia de raíces adventicias (Ortigoza et al., 2017).

Las hojas del maíz son alternas, pubescentes en la parte superior y glabras en la parte inferior (Gordón, 2021).

Inflorescencia. Presenta flores femeninas en mazorcas laterales, mientras que la flor masculina está en la parte superior en forma de espiga. La floración masculina ocurre normalmente de 1 a 2 días antes que la floración femenina (protándrica), aunque en algunos cultivares se produce lo contrario (protoginia) (Gordón, 2021).

Mazorca al contrario de la mayor parte de las gramíneas, en el maíz la espiga es compacta y está protegida por las hojas transformadas, que en la mayoría de los casos la cubren por completo (Ortigoza et al., 2017).

Estructura del grano se desarrollan mediante la acumulación de los productos de la fotosíntesis, la absorción a través de las raíces y el metabolismo de la planta de maíz en la inflorescencia femenina denominada espiga. Esta estructura puede contener de 300 a 1000 granos según el número de hileras, el diámetro y longitud de la mazorca. En la *Figura 1*, se muestra las partes de la planta de maíz.

Figura 1. Partes de la planta de maíz.



Fuente: Ortigoza *et al.*, 2017. Guía técnica cultivo de maíz, p.24.

2.3. Fases de desarrollo de la planta de maíz

De acuerdo con Yzarra (2004) la fenología tiene como finalidad estudiar y describir de manera integral los diferentes eventos fenológicos que se dan, la realización de las observaciones fenológicas, consideradas importantes, son la base para la implementación de todo sistema agrícola, permitiendo a los productores agrarios obtengan con su aplicación una mayor eficiencia en la planificación y programación de las diferentes actividades agrícolas conducentes a incrementar la productividad y producción de los cultivos. La caracterización fenológica de los cultivares establece el marco temporal que forma el rendimiento y sus componentes En los puntos cardinales de germinación, iniciación floral, floración y madurez

fisiológica se delimitan respectivamente la fase vegetativa, reproductiva y de llenado de grano (Bolaños y Edmeades, 1993; Gordón, 2021).

- **Fase vegetativa:** La germinación y emergencia es seguida de una fase durante la cual el maíz desarrolla y acomoda el aparato radicular de acuerdo a la estructura foliar definitiva que va a sostener y aportar nutrientes para la formación de la mazorca y del grano (Saavedra, 2016). Por otro lado, Gordón (2021) indica en la fase vegetativa, la semilla germina y se establecen las plántulas; se expande el follaje y se forma la capacidad fotosintética del cultivo, la cual controla la producción de biomasa. La biomasa total producida por el cultivo está altamente correlacionada con el tamaño final de la mazorca, ya que, ésta ocupa cerca del 40% del peso total.
- **Fase reproductiva:** Según Saavedra (2016) cuando la planta ha diferenciado totalmente el número de hojas que van a constituir su estructura (aproximadamente 30 días después de la siembra), y alcanza una altura de 0,45 a 0,50 m, se inicia en el cono vegetativo, la formación de pequeñas protuberancias, la diferenciación de la espiga (órgano reproductor masculino).

La planta inicia una fase de crecimiento rápido vertical, con la elongación de los entrenudos inferiores del tallo. De acuerdo con Gordón (2021) entre los siete y diez días de diferenciación de la espiga, comienza la formación de una mazorca en miniatura, en una posición lateral del cono vegetativo. Como el maíz produce las flores masculinas en la inflorescencia terminal (espiga) y las flores femeninas en las axilas

laterales (mazorcas), existe una distancia entre ambas, por lo que el polen debe viajar más de un metro para fecundar los estigmas. Además, existe un período que va de 1 a 2 días, entre la emisión del polen (antesis) y la salida de los estigmas en la floración (barbeo), conocido ASI por sus siglas en inglés (Anthesis Siliking Interval). Ambos aspectos, hacen que la polinización y la producción de granos sea una fase extremadamente sensitiva al estrés ambiental causado por distintas variables climática (Bolaños y Edmeades, 1993; Gordón, 2021). Como muestran *la Tabla 1, y Figura 2*, las etapas y distintos estados fenológicos del maíz en el desarrollo de la planta en cada fase.

- **Fase de llenado de grano:** la fase que inicia después de la polinización y determina el peso final del grano y de la mazorca. El peso de grano está correlacionado con la duración y la cantidad de radiación interceptada durante esta fase, y la ganancia es afectada por estreses hídricos y nutrimentales (Fischer y Palmer, 1984; Gordón, 2021). Según Gordón (2021) el llenado a su vez está marcado por las siguientes fases:
- **Fase de arresto:** que puede durar de 12 a 20 días; es considerada la fase en donde el grano se comienza a formar.
- **Fase lineal:** que tiene una duración aproximada de 35 días, durante ésta, ocurre la acumulación de materia seca.
- **Fase de acumulación lenta:** cuya duración está entre 7 y 14 días y concluye con la aparición de la capa negra. Se considera que el grano está en la etapa de la “capa negra” cuando éste cesa de alimentarse de la planta, formándose

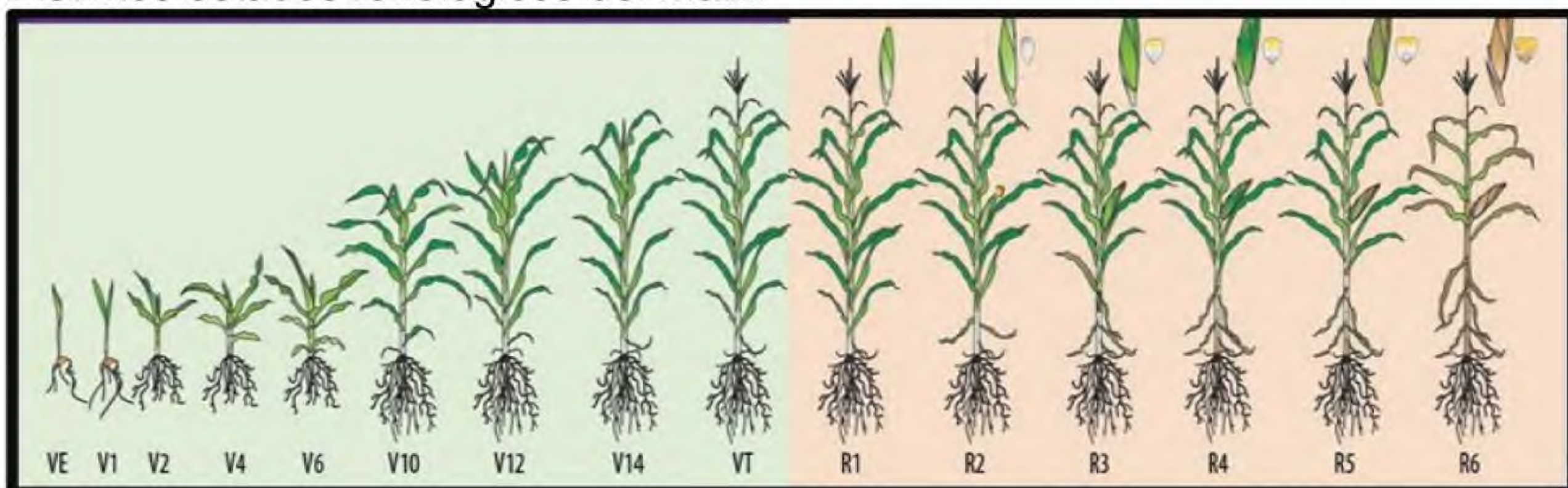
una capa de color negro que evita la entrada de nutrimentos al grano, aspecto que da nombre a esta fase. Después de la formación de la capa negra se conoce como Madurez Fisiológica y la misma se alcanza cuando el grano se acerca a los 35-32% de humedad (Brooking, 1990; Gordón, 2021).

Tabla N° 1.
Etapas en el desarrollo de la planta de maíz.

Etapa Vegetativa		Etapa reproductiva	
VE	Emergencia	R1	Seda
V1	Primera hoja	R2	Ampollamiento
V2	Segunda hoja	R3	Grano lechoso
V(n)	n-enésima hoja	R4	Grano pastoso
VT	Espigadura	R5	Llenado de grano
		R6	Madurez fisiológica

Nota: Desarrollo de las etapas del maíz, Saavedra, 2016, p.17

Figura 2.
Distintos estados fenológicos del maíz.



Fuente: Ciampitti *et al.*, (2016).

2.4 Características del cultivo del maíz

De acuerdo con el IDIAP (2021) el maíz se cultiva bajo diferentes condiciones de adaptación agroecológica. El manejo agronómico del cultivo depende de la zona en donde se realiza la actividad y está influenciada por aspectos climatológicos (precipitación, humedad relativa, temperatura), altitud sobre el nivel del mar, topografía, épocas de siembra y aspectos socioeconómicos de los agricultores.

La producción de maíz se registra mayormente en la región de Azuero, siendo la provincia de Los Santos, la que más produce maíz por las condiciones agroclimáticas, y aunque en menor escala también se cultiva el rubro en Chiriquí, Coclé, Veraguas y Darién (MIDA, 2021).

El maíz es uno de los cultivos de mayor variabilidad genética y adaptabilidad ambiental, sembrándose en latitudes que van desde los 55°N a los 40°S y del nivel del mar hasta 3,800 m de altitud. Existen cultivares de menos de 1.0 m de altura, de ocho a nueve hojas y una madurez de 60 días, y otros con más de 5.0 m de altura, de 40 a 42 hojas y una madurez de 340 días (Fischer y Palmer, 1984; Gordón, 2012).

Según Carballo et al., (2005) se considera en términos generales el maíz es una hierba gramínea de ciclo corto de gran eficiencia fotosintética. Por lo tanto, presenta raíces adventicias, que emergen de los primeros nudos del tallo; aparte de un sistema radicular fibroso (fasciculado) y abundante. Los cuales se mantienen erecta la planta, dándole fortaleza contra el acame.

Por otro lado, la morfología o arquitectura de la planta también ha sido objeto de presiones de evolución que han dado lugar a una gran variabilidad del número, la longitud y la anchura de las hojas, así como de la altura de las plantas, los lugares en que aparecen las mazorcas, el número de éstas por planta, los ciclos de maduración, los tipos de granos y el número de hileras de granos, entre otras muchas características (FAO, 2018).

La Comisión Económica de las Naciones Unidas para América Latina y el Caribe, conocida como CEPAL (2013), en comparación con otras plantas de cultivo, el maíz tiene una baja demanda de agua para producir masa seca. El maíz necesita 300 litros de agua para producir 1 kg de masa seca. Este valor también se denomina coeficiente de transpiración.

2.5. Aspectos edafoclimáticos

Para Paliwal (2001) algunos ambientes aptos para el maíz en las zonas tropicales tienen, sin embargo, limitaciones a causa de la intercepción de la radiación por parte de la capa de vegetación nativa que está por encima del maíz.

El comportamiento individual de las plantas es afectado directamente por factores tales como la nubosidad y la densidad del cultivo y muchos ambientes en que se cultiva maíz dependen de la pluviosidad.

De acuerdo a Lafitte (2017) la fisiología del cultivo depende del factor genético y de la forma de crecimiento y desarrollo de la planta depende de las condiciones ambientales: temperatura, humedad y aireación, el maíz germina dentro de los 6 días. Períodos de sequía y temperaturas altas provocan una maduración temprana. No requiere luz para germinar y no presenta problemas de latencia. La temperatura óptima para la germinación es: 20 a 25° C, mínima de 10° C y máxima de 40° C.

Además, Gordón (2020) resalta que los aspectos fisiológicos son de suma importancia para el cultivo del maíz, las condiciones ambientales donde se puede cultivar el grano deben cumplir con varios parámetros o condiciones para que la germinación sea la adecuada. Estudios realizados tomando en cuenta la distribución de las lluvias en Azuero durante los últimos años indican que las siembras de esta región deben realizarse entre el 20 de agosto y el 10 de septiembre. Siembras antes de esta fecha, son afectadas severamente por la enfermedad conocida como achaparramiento.

2.5.1. Luz solar

Se considera el maíz una planta determinada de días cortos. Por lo tanto, significa que el progreso hacia la floración se retrasa progresivamente a medida que el fotoperíodo excede un valor crítico mínimo. Para la mayoría del germoplasma de maíz el fotoperíodo crítico es entre 11 y 14 horas (Fischer y Palmer, 1984; Gordón, 2001). En ex trópico comprendido entre 0 y 30° de latitud, el fotoperíodo varía de un mínimo y máximo de 11 .6 a 14.4 horas a través del año (Gordón, 2001).

2.5.2. Temperatura

Según Ortigoza et al., (2019) el maíz es un cultivo que precisa temperaturas relativamente altas para un máximo desarrollo. Por debajo de los 8 grados centígrados el crecimiento es nulo en la mayoría de los cultivares utilizados en nuestro país. Con temperaturas superiores, el desarrollo de hojas es más veloz, siendo beneficioso, ya que en éstas se produce el proceso de fotosíntesis, producto del cual la planta se alimenta y crece. Por ello, temperaturas medias están asociadas con mejores rendimientos finales del cultivo.

Además, se considera que debido al cambio de una etapa fenológica a la siguiente se produce en base a la acumulación térmica por encima de la temperatura base (10° C). La temperatura óptima para el desarrollo está entre 30° y 34° C y la temperatura máxima o crítica ante la cual se interrumpe el desarrollo normal de la planta se ubica entre 40° y 44° C (Gordón, 2021).

2.5.3. Agua

De acuerdo a diversos estudios, el umbral mínimo de precipitación mediante el cual puede esperarse cosecha de grano en el cultivo de maíz es de 430 mm de agua (Dietzel *et al.*, 2015).

En cambio, Deras (2019) considera que la falta de agua es el factor más limitante en la producción de maíz en las zonas tropicales. Cuando hay estrés hídrico

o sequía durante las primeras etapas (15 a 30 días) de establecido del cultivo puede ocasionar pérdidas de plantas jóvenes, reduciendo así la densidad poblacional o estancar su crecimiento.

El consumo de agua varía a lo largo del desarrollo de la planta de maíz; al inicio la demanda por el agua es baja, pero a medida que pasa el tiempo la misma se incrementa, para reducir su consumo nuevamente al final del cultivo (Kranz et al., 2008). La Figura 3 muestra la curva de utilización del agua durante el desarrollo de la planta de maíz, desde el crecimiento vegetativo, espigamiento y llenado de grano y por último el secado y madurez del grano.

Figura 3.
Curva de utilización del agua durante el desarrollo de la planta de maíz.
Fuente: Kranz *et al.* (2008).

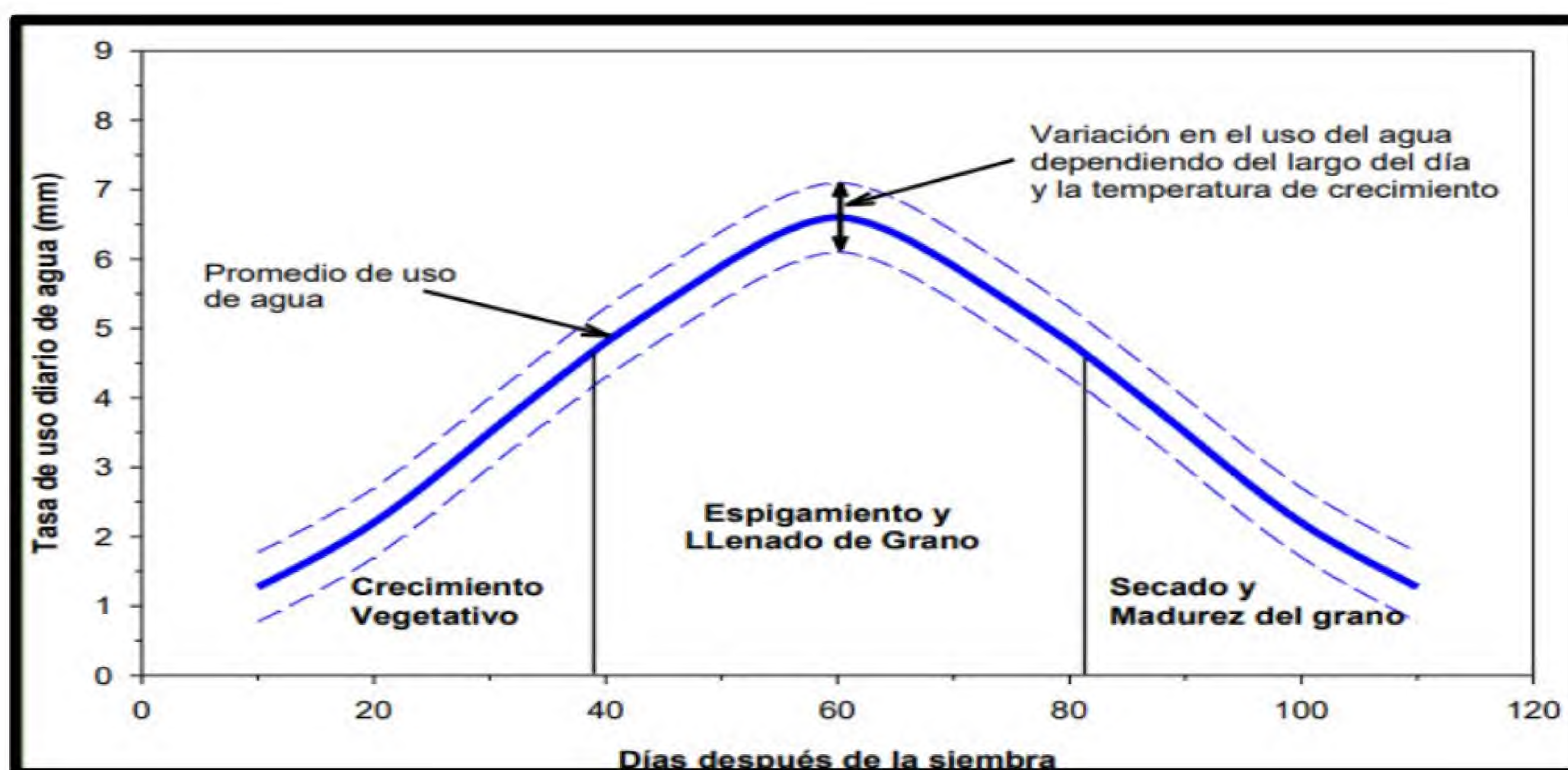


Tabla N°2.

Reducción del rendimiento en maíz debido a la sequía, según etapa fenológica del cultivo.

Edad de la planta de maíz días después de siembra	Fase o estado del cultivo	Reducción del rendimiento por día de sequía (%)	% Total de reducción	% Reducción por Etapas
1-30	VE-V9	
31-50	V10-V18	2.0	25	25(Vegetativa)
51-79	VT-R2	6.0	50	
80-100	R3-R5	1.5	25	75 (Reproductiva)

Fuente: Fenología del cultivo de Sáez *et al.*, (2018).

VE = Germinación; Vn = Fase vegetativa en donde n (5, 6, 15, 16) es el número de hojas abiertas; R2 = Mazorca en estado de ampolla; R3 = Mazorca en estado lechoso; R5= Mazorca en estado dentado.

Por último, Gordón (2021) como muestra la tabla 2, sobre la reducción del rendimiento en maíz debido a la sequía, según etapa fenológica del cultivo, debido a los requerimientos del cultivo, se pueden identificar dos fases o períodos críticos. La primera etapa va desde la germinación hasta los 50 días después de la siembra (dds); es decir, cuando aún el cultivo se encuentra en la fase vegetativa. En esta fase se puede reducir hasta un 25% el rendimiento. Mientras que la segunda fase se inicia a los 51 dds y culmina cuando el cultivo ha llegado a la madurez fisiológica; es decir, cuando el cultivo ha desarrollado sus órganos reproductivos, pudiéndose reducir hasta el 75% del total del rendimiento.

Según Gordón (2020) analizando el estudio comprendido en el periodo de 1995 hasta el 2018, en el cual se tomaron registros de lluvia de 12 pluviómetros ubicados a lo largo de su zona maicera. Los mismos estaban localizados en los distritos de Pedasí (2), Pocrí (2), Las Tablas (2), Guararé (2), Los Santos (2) y Parita (2). Dentro de los principales datos de los pluviómetros en Parita, La Villa, Tablas Abajo, Cocobolas, los dos (2) de Pocrí y el de Pedasí tuvieron registros durante los 24 años del estudio (registros llevados por ANAM y el Departamento de Hidrometeorología de la Empresa de Transmisión Eléctrica S.A. (ETESA).

Los pluviómetros de Ciénaga Larga, El Ejido, Guararé y Pedasí A, tuvieron registros de 23 años. Por otra parte, los ubicados en París de Parita y Pedasí E registraron 16 y 20 años, respectivamente. Se estimó el promedio mensual por año y promedio general de la región.

2.5.4. Suelos

El maíz muestra notoria predilección por suelos ricos en materia orgánica y dotada de adecuadas propiedades físicas y biológicas del suelo. El suelo ideal para el cultivo de maíz es de textura intermedia, de franco a franco-arcilloso. Los suelos para el maíz deben ser bien drenados y aireados, al ser este uno de los cultivos menos tolerantes a la baja difusión de aire en el suelo. El pH ideal para la siembra de maíz es de 5,5 a 7,0 existiendo fuera de estos límites problemas de toxicidad de ciertos elementos (Ortigoza *et al.*, 2019).

Para Paliwal (2001) la comprensión de los aspectos socioeconómicos de los ambientes del maíz es esencial para una adecuada planificación y para llevar a cabo programas de mejoramiento y producción.

El maíz es medianamente tolerante a los contenidos de sales en el suelo o en las aguas de riego; un contenido de sales totales solubles de 0.5% en el suelo, o bien, 15.3 g·l⁻¹ en la solución del suelo retrasan la germinación de la semilla, sin afectar sus porcentajes de emergencia. Las plantas mueren cuando la concentración alcanza valores de 1.15% o 43 g·l⁻¹ (Gordón, 2021).

2.6. Enfermedades y plagas del maíz

El maíz en los climas tropicales es afectado por un gran número de patógenos, causando importantes daños económicos a su producción.

- **Bacteriosis:** *Xanthomonas stewartii* afecta al maíz. Los síntomas se manifiestan en las plantaciones en las hojas y en el tallo (Sosa, 2019).
- **Roya del maíz:** enfermedad fúngica que se caracteriza por provocar pústulas de color marrón en las hojas del maíz. Normalmente aparece en bandas y se sitúan en la parte media de la hoja. Se desarrolla en lugares con alta humedad (Pilar, 2017).
- **Tizón foliar del maíz:** afecta a las hojas inferiores del maíz. Las manchas son grandes de 3 a 15 cm y la hoja va tornándose de verde a parda. Sus ataques

son más intensos en temperaturas de 18 a 25°C. Las hojas caen si el ataque es muy marcado (Sosa, 2019).

- **Antracnosis:** es una enfermedad fúngica que afecta al maíz y al sorgo. El hongo inverna en restos de hojas y tallos infectados, y produce esporas en el verano cuando las temperaturas aumentan (Pionner, 2021).
- **Carbón del maíz:** *Ustilago maydis*. Son agallas en las hojas del maíz, en las mazorcas y en los tallos. Esta enfermedad se desarrolla a una temperatura de 25 a 33°C. Su lucha se realiza basándose en tratamientos específicos con funguicidas (Sosa, 2019).
- **Mancha de asfalto:** es una enfermedad producida por la interacción sinérgica de tres hongos: *Phyllachora maydis*, *Monographella maydis* y *Coniothyrium phyllachorae*, se alimentan de los azúcares de las plantas, provocando la muerte de las hojas y finalmente de la planta (INTAGRI, 2016).

Según Paliwal (2001) entre algunas plagas del maíz tenemos:

- **Gusano de alambre.** Viven en el suelo aparecen en suelos arenosos y ricos en materia orgánica.
- **Gusanos grises.** Son larvas de clase lepidópteros pertenecientes al género *Agrotis*. *Agrotis ipsilon*.
- **Pulgones.** El pulgón más dañino del maíz es *Rhopalosiphum padi*, ya que se alimenta de la savia provocando una disminución del rendimiento final del cultivo y el pulgón verde del maíz *Rhopalosiphum maidis* es transmisor de virus

al extraer la savia de las plantas atacando principalmente al maíz dulce, esta última especie tampoco ocasiona graves daños debido al rápido crecimiento del maíz.

- **Spodoptera spp (Gusano cogollero).** El daño ocurre cuando la larva perfora las flores y frutas de la planta hospedera y se alimenta dentro de la planta; las larvas también pueden alimentarse de las hojas de las plantas hospederas. Esta plaga invasiva se puede encontrar tanto en los ambientes del campo como en los invernaderos (USDA, 2015).

2.7. Sistemas de siembra

Según Gordón (2021) existen tres tipos o métodos de preparación del suelo para la siembra del cultivo de maíz, la elección de la más adecuada, dependerá de las condiciones de topografía y del tipo de suelo a cultivar. Considerando tanto las ventajas como los inconvenientes, aplicar uno de ellos bajo las condiciones no adecuadas del terreno, acarreará grandes perjuicios y pérdidas al productor.

2.7.1 Labranza convencional y labranza de conservación

La labranza, es una práctica cultural muy importante al momento de la preparación del suelo antes de la siembra. Es la manipulación mecánica del suelo, con el objetivo de mejorar algún impedimento físico para el cultivo (Romero 2002).