



REPÚBLICA DE PANAMÁ
— GOBIERNO NACIONAL —

INSTITUTO DE INNOVACIÓN
AGROPECUARIA DE PANAMÁ

Manual técnico

EL MAÍZ EN PANAMÁ:

Características, requerimientos y
recomendaciones para su
producción en ambientes con alta
variabilidad climática



Citación

Gordón Mendoza, Román

Manual técnico

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

Panamá: Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá, 2021
108 p.

- | | |
|-------------------------|--------------|
| 1. Tecnología | 3. Prácticas |
| 2. Agricultura tropical | 4. Técnicas |

Impreso: ISBN 978-9962-677-66-6

Digital: ISBN 978-9962-677-65-9

Manual Técnico

EL MAÍZ EN PANAMÁ:

**Características, requerimientos y
Recomendaciones para su
Producción en ambientes con alta
Variabilidad climática**

Panamá, 2021

Contenido

1. ANTECEDENTES.....	7
2. LA PLANTA DE MAÍZ	9
2.1. <i>Descripción botánica de la planta</i>	9
2.2. <i>Fases de desarrollo de la planta de maíz</i>	9
2.3. <i>Etapas de desarrollo del cultivo para cada genotipo o cultivar</i>	11
2.4. <i>Duración de las etapas desarrollo de una planta de maíz</i>	15
3. REQUERIMIENTOS PARA EL CULTIVO DE MAÍZ	19
3.1. <i>Requerimientos de Luz Solar</i>	19
3.2. <i>Requerimientos de Temperatura</i>	19
3.3. <i>Requerimientos de Agua</i>	20
3.4. <i>Requerimientos de Suelo</i>	23
4. ZONAS POTENCIALES PARA EL CULTIVO DE MAÍZ.....	23
5. ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN LA REGIÓN DE AZUERO.....	24
5.1 <i>Análisis de la lluvia a través de los años (Regional)</i>	24
5.2 <i>Análisis de las lluvias por localidades</i>	25
6. ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO	26
6.1 <i>Selección de Cultivares de Maíz</i>	26
6.2 <i>Preparación del terreno y siembra del Cultivo de maíz</i>	28
6.3 <i>Siembra</i>	30
6.4 <i>Manejo de la fertilización en el cultivo de maíz</i>	39
6.5 <i>Criterios para la aplicación de nutrimentos en el maíz</i>	41
6.6 <i>Respuesta del maíz a los distintos nutrimentos</i>	42
6.7 <i>Manejo de la fertilización suplementaria</i>	44
6.8 <i>Fuentes de Nitrógeno de Lenta Liberación</i>	45
6.9 <i>Uso de leguminosas en rotación al cultivo</i>	46
6.10 <i>Diagnóstico de deficiencias de nitrógeno</i>	48
6.11 <i>Programa de fertilización</i>	50
7. ASPECTOS FITOSANITARIOS DEL MAÍZ	52
7.1 <i>Muestreo para las observaciones de campo</i>	53

7.2	Manejo de las Arvenses en el Cultivo de Maíz	54
a.	Biología y Ecología de las arvenses en el cultivo de maíz	55
b.	Manejo de malezas en el maíz	60
c.	Herbicidas a utilizar en el control de malezas	62
7.3	Manejo de Insectos y Ácaros en el Cultivo de Maíz	64
7.4	Manejo de enfermedades en el cultivo de maíz	72
8.	MANEJO DE PROBLEMAS ABIÓTICOS O NO INFECCIOSOS	79
8.1.	Daños por fertilizantes	79
8.2.	Daño de herbicidas	79
8.3.	Otros problemas	81
a.	Excesiva humedad	81
b.	Acame	82
9.	ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO ANTES DE LA COSECHA	82
9.1.	Cosecha	84
9.2.	Manejo Post Cosecha	85
10.	ASPECTOS RELEVANTES DE LA INVESTIGACIÓN EN MAÍZ	86
11.	COSTO DE PRODUCCIÓN	89
12.	ACTIVIDADES PARA PROMOVER EN PARCELAS DE DIFUSIÓN TECNOLÓGICA	91
13.	BIBLIOGRAFÍA	92

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

Román Gordón Mendoza¹

1. ANTECEDENTES

El maíz es considerado uno de los cultivos más importantes del país; por ello que, entre las políticas sectoriales del Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA), el maíz está considerado como uno de los rubros prioritarios para el país. En el año 2013 se estableció la Ley 107, denominada la Ley de Granos o Programa de Incentivos de la producción nacional de granos, en la que se busca garantizar la seguridad alimentaria, disminuir el costo de la canasta básica, lograr la autosuficiencia de varios rubros, entre ellos el maíz, así como el de retornar la rentabilidad de este rubro. Adicionalmente, en el sector agropecuario nacional se han establecido las cadenas agroalimentarias, entre ellas la Cadena de Maíz, cuyo propósito es coordinar todas las acciones y esfuerzos entre los distintos actores de la actividad maicera del país.

En Panamá cada año se consume aproximadamente 487,600 toneladas de grano, de los cuales en promedio el país produce 89,000 toneladas y el resto son importadas. Del maíz que ingresa a los canales

de comercialización, un 12% corresponde al consumo humano, y 88% al consumo de alimentos para animales. En Azuero, el área sembrada de maíz ha fluctuado en los últimos años, con un promedio de 15 mil hectáreas en las últimas diez campañas; esta actividad involucró en promedio unos 600 productores en ambas provincias de esta región (MIDA, 2020a). Por otra parte, solo la provincia de Los Santos produce el 97.1% del maíz nacional.

En los últimos 20 años, el clima del país se ha caracterizado por ser desfavorable a la mayoría de las actividades agropecuarias y se han presentado un gran número de desastres naturales. Los recientes cambios derivados de factores como el calentamiento global producto de la emisión de gases invernadero y la crisis del precio de los alimentos, entre otros, han aumentado la vulnerabilidad y el riesgo de las comunidades rurales y de los productores. Estos cambios han causado un impacto significativo en la seguridad alimentaria y pobreza extrema. Es así como sequías al inicio de los ciclos de siembra, lluvias más intensas en algunos períodos de cultivo y la aparición de nuevas plagas, están causando trastornos importantes en la

¹ IDIAP, Centro de Innovación Agropecuaria de Azuero "Ing. Germán De León". e-mail: gordon.roman@gmail.com

productividad y la seguridad alimentaria. Reportes de investigaciones recientes, incluyendo estudios de modelación, señalan que el impacto del calentamiento global podría causar significativas disminuciones en el rendimiento de maíz y otros cultivos en los próximos años (Ruane *et al.*, 2013).

La Segunda Comunicación Nacional de Panamá para el Cambio Climático, determinó un deterioro por estrés hídrico y térmico principalmente en el maíz. El aumento de la temperatura y las sequías recurrentes podría llegar a exponer los suelos a una severa desertización en el Arco Seco (ANAM, 2011). Las altas temperaturas (Sáez *et al.*, 2018), aunado al estrés hídrico (Núñez *et al.*, 2018a), tienen un efecto directo en la fenología de este cultivo, influenciando su potencial productivo. El estrés ambiental, cualquiera que sea su manifestación, también afecta a los microorganismos involucrados en el reciclaje de nutrientes en el suelo, afectando su disponibilidad, reduciendo la eficiencia del uso de los fertilizantes, provocando un aumento en las cantidades aplicadas, provocando una contaminación ambiental e incrementando el costo de producción. Existe consenso en que un incremento en la temperatura podría generar pérdidas en los cultivos (Lobell *et al.*, 2013, Chaves y Gutiérrez, 2017).

Bajo el contexto antes anunciado, la identificación de cultivares y prácticas agronómicas de manejo con alta capacidad de adaptación y resiliencia a la variabilidad

climática que disminuyan el efecto de la sequía producirá beneficios económicos para los agricultores y contribuirá a mitigar el efecto del cambio climático al reducir el impacto de la sequía, convirtiéndose en una prioridad inmediata para los sistemas de investigación. De esta manera se busca cerrar la brecha entre la demanda y la oferta de este grano, que es ampliamente utilizado tanto para la alimentación humana como para la formulación de piensos para animales. Ante la situación mundial sobre el uso de este grano para la producción de etanol en los países desarrollados, principalmente en los Estados Unidos, se ha incrementado el valor de la tonelada; lo cual es una oportunidad para el productor nacional de ampliar la producción de este rubro y así contribuir con la seguridad alimentaria nacional, con la producción sostenible y competitiva del cultivo.

La variabilidad climática significa un cambio importante del patrón de producción de la cadena del maíz, representando enormes retos y desafíos para los productores y otros actores. La dependencia de la importación de maíz, a futuro, puede ser un factor de alto riesgo para la seguridad alimentaria nacional, para la actividad económica en general y para el agro negocio de los pequeños, medianos y grandes productores en particular; además de las empresas que procesan el grano. Es importante resaltar que cuando los precios internacionales bajan, las industrias de piensos tienden a desestimar la producción nacional, lo que a futuro puede ser altamente riesgoso. Cualquier acuerdo comercial, debe

estar respaldado por un esfuerzo en el incremento de la productividad nacional; sin importar lo que suceda con los precios del mercado internacional.

2. LA PLANTA DE MAÍZ

Es importante conocer algunos aspectos interesantes de la planta de maíz para una mayor comprensión de su naturaleza. A continuación, se presenta algunos detalles sobre la planta de maíz.

2.1. 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, 1993a; Beadle, 1980). 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.

Las hojas del maíz son alternas, pubescentes en la parte superior y glabras en la parte inferior. Es una planta monoica (produce las flores masculinas y femeninas en distintas partes de la planta), 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). Es de polinización libre y cruzada con gran producción de polen (25 a 30 mil granos por óvulo); granos en hileras incrustados en la tusa; mazorca en su totalidad cubierta por hojas (capullo); grano del tipo cariopsis; metabolismo fotosintético tipo C₄ (Kiesselbach, 1949; Purseglove, 1972; Fischer y Palmer, 1984).

El maíz está entre los cultivos de mayor variabilidad genética y adaptabilidad ambiental. Se siembra en latitudes que oscilan desde los 55º Norte a los 40º Sur y del nivel del mar hasta 3,800 m de altitud. Existen cultivares de menos de 1.0 m de altura, de 8 a 9 hojas y una madurez de 60 días, y otros con más de 5.0 m de altura, 40 a 42 hojas y una madurez de 340 días (Fischer y Palmer, 1984). En cuanto a su importancia nutritiva, el maíz se considerada uno de los cereales básicos en la alimentación humana, debido al aporte en calorías y proteínas. El grano de maíz está constituido aproximadamente por 77% de almidón, 2% de azúcares, 9% de proteínas, 5% de aceites, 5% de pentosanas y 2% de cenizas (Jugenheimer, 1988).

2.2. Fases de desarrollo de la planta de maíz

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, 1993a). La duración de cada una de estas fases depende del genotipo, del fotoperíodo y de la temperatura (Fischer y Palmer, 1984; Birch *et al.*, 1998).

a. Fase vegetativa

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 (Bolaños y Barreto, 1991).

b. Fase reproductiva

La formación de la mazorca, así como el número de mazorcas por planta y el número de granos por mazorca, es decir, la fracción cosechable de la biomasa se determina en esta fase. 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 climáticas (Bolaños y Barreto, 1991; Bolaños y Edmeades, 1993c).

c. Fase de llenado de grano

La fase de llenado de grano comienza 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). El llenado a su vez está marcado por tres etapas, a saber:

- 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 (Ritchie y Hanway, 1982; Brooking, 1990).

2.3. Etapas de desarrollo del cultivo para cada genotipo o cultivar

Las etapas del desarrollo fenológico del maíz dependen de temperaturas específicas para cada cultivar. En la temperatura considerada base (Tbase) hay una completa ralentización o detenimiento metabólico y la tasa de progreso fenológica es nula (0). En la temperatura óptima (Topt) el desarrollo fenológico es máximo y tiene un valor relativo de 1.0; mientras que en la temperatura crítica (Tcrt) la tasa de progreso decrece nuevamente a cero por efectos negativos del excesivo calor (Bolaños y Edmeades, 1993a). La relación de la fenología del maíz con la temperatura se ha descrito mediante el uso del tiempo termal (TT) o los grados día de crecimiento (Hatfield y Dold, 2018).

Hay una variedad de funciones térmicas en los modelos de cultivos actuales que capturan la relación entre la temperatura y el desarrollo del maíz. Estas se pueden agrupar en tres tipos de funciones que representan relaciones empíricas lineales simples, relaciones empíricas no lineales más complejas y funciones apoyadas en relaciones sobre procesos entre la temperatura y las

respuestas bioquímicas a nivel de órganos. Las diferencias en las temperaturas cardinales, así como las tasas relativas de desarrollo dentro de rangos de temperatura específicos, se varían entre ellos.

En el modelo GGD_{10,30} (modelo lineal) el rango de las temperaturas cardinales es de 10º C para Tbase y de 30º C para Topt (Kumudini *et al.*, 2014). Otro modelo conocido y basado en funciones no lineales es el de Unidades de Calor del Cultivo (Crop Heat Units o CHU) basado en su respuesta a una temperatura constante durante un periodo de 24 horas. Kumudini *et al.* (2014) encontró que la precisión para estimar la fenología del modelo CHU, es superior al modelo GDD_{10,30}.

El tiempo termal (TT) con el modelo GDD_{10,30} se calcula como la suma de los grados de temperatura (ºC) que se acumulan diariamente por arriba de Tbase y por debajo de Topt, y tiene unidades de ºC por día (ºCd). Si la temperatura excede Topt, entonces se le resta el excedente al TT para el cálculo del día y acumulativo. Para el cálculo del TT se toma la temperatura promedio diaria o la temperatura resultante del promedio entre las temperaturas máxima y mínima del día. El Cuadro 1 presenta un ejemplo del cálculo de TT para unos datos arbitrarios (Bolaños y Edmeades, 1993a).

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

Cuadro 1. Ejemplo para calcular el tiempo termal diario y acumulativo con datos de temperatura promedio, usando temperaturas cardinales de $T_{base}=10$, $T_{opt}=30$ y $T_{crt}=45$.

Día	Temperatura promedio	Acumulación diaria	Acumulación Total
1	15	5	5
2	18	8	13
3	20	10	23
4	25	15	38
5	27	17	55
6	30	20	75
7	31	19	94
8	32	18	112
9	29	19	131

Fuente: Bolaños y Edmeades (1993a)

De acuerdo a Edmeades *et al.* (1993), la fenología de la planta de maíz pasa por distintos eventos puntuales, los que seguidamente se describen y se presenta en paréntesis el tiempo termal necesario para que se den dichos eventos:

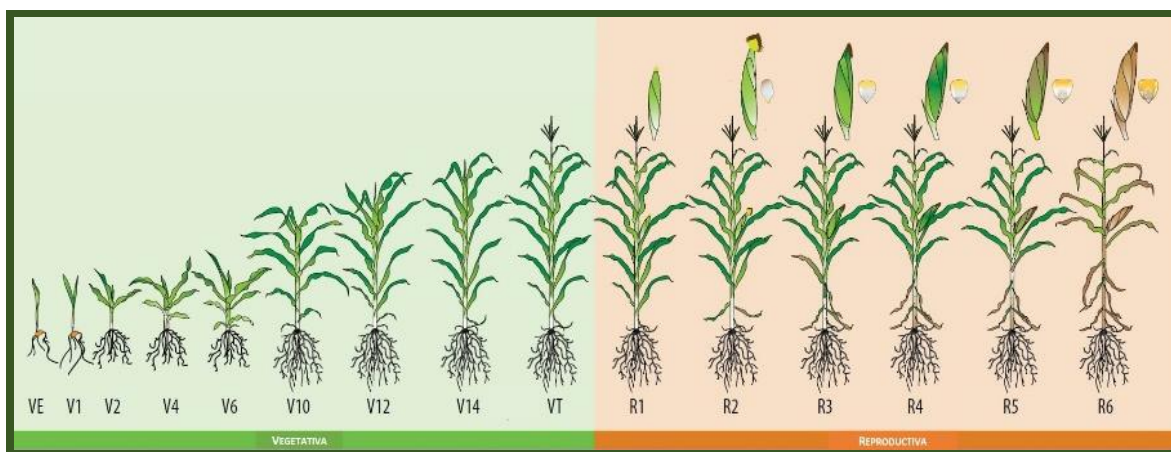
- **Siembra:** Se inicia la germinación. Se requiere humedad y temperaturas adecuadas para esta fase.
- **Emergencia:** Ocurre la emergencia del coleóptilo arriba de la superficie del suelo (50-150 °Cd).
- **Iniciación de Hojas:** La semilla de maíz posee o tiene de 5 a 6 hojas ya formadas en el grano. En esta etapa se da el plastocrón el cual es conocido como el intervalo de iniciación de hojas sucesivas. En esta etapa se pasa de un estado foto insensitivo a uno foto sensitivo (inductivo), ocurre generalmente 4 días antes de la iniciación de la espiga (20-24 °Cd).
- **Iniciación de la Espiga:** Se da cuando la iniciación de hojas ha terminado y marca el comienzo de la fase reproductiva. Se retrasa si el fotoperíodo en la fase inductiva excede el valor crítico, lo cual ocurre aproximadamente al 40% del tiempo entre emergencia y emisión de los estigmas (300-400 °Cd).
- **Iniciación de las Mazorcas:** Los meristemas laterales se inician en sucesión acropetal (de la parte más alta de la planta hacia abajo) y se convierten en mazorcas en sucesión basipetal (de la base hacia el ápice) en las axilas de las hojas excepto las 6 u 8 hojas superiores. Los meristemas inferiores pueden convertirse en hijos (400-500 °Cd).
- **Emergencia de Hojas:** Después de la iniciación, las hojas crecen hasta que la

punta se encuentra visible y luego hasta que quede totalmente expandida. En esta fase las aurículas y la lígula (collar) se encuentran visibles (34-44 °Cd).

- *Emergencia de la Espiga:* La aparición de la espiga aparece después de la expansión de la última hoja, denominada generalmente Hoja Bandera (40-80 °Cd).
- *Antesis:* Es el momento en donde las primeras anteras visibles se encuentran derramando polen (500-1100 °Cd).
- *Emisión de Estigmas:* Cuando los primeros estigmas de las mazorcas (barba de la mazorca) se encuentran visibles. Normalmente ocurre de 1 a 2 días después de la antesis (500-1100 °Cd).
- *Fase Lineal de Llenado de Grano:* Generalmente acontece de 12 a 20 días después de la polinización, en esta fase el grano puede acumular de 6 a 7 mg por día.
- *Grado de Lechosidad del Grano:* En esta fase el contenido de humedad del grano es un indicador del desarrollo fenológico.
- *Madurez Fisiológica:* Se produce cuando finaliza el aumento de peso de grano y coincide con la formación de una capa negra en la región placentar del grano; esto es de 1 a 2 días después de desaparición de la línea lechosa y con

humedad del 35-33%. La senescencia de las hojas de la mazorca sirve de indicador visual. Una vez la planta llega a esta etapa, el grano está apto para la cosecha (1,000-2,000 °C).

Para determinar las etapas de desarrollo del cultivo desde el punto de vista fenológico se utilizó la metodología propuesta por Ritchie y Hanway (1982). En ella se identifican dos grandes períodos: el vegetativo, subdividido en estadios identificados con la letra V y un subíndice correspondiente al orden de la última hoja completamente extendida (lígula o collar visible) al momento de la observación, en donde el primer estado se denomina VE el cual es cuando ocurre la emergencia de la plántula. Luego siguen los V1, V2, hasta llegar a Vn (en donde n es el número final de hojas) y la fase vegetativa termina en VT o fase donde es visible la panoja, también llamado espigamiento. A partir de este momento se inicia la fase reproductiva, identificada con la letra R y un subíndice que va de 1 a 6, delimitando así las seis etapas en que se divide esta fase. La primera fase se denomina R1 (emergencia de los estigmas o barbeo), luego sigue R2 (cuaje o estado de ampolla), R3 (grano lechoso), R4 (grano pastoso), R5 (grano duro o dentado) y R6 (madurez fisiológica). Desde los estadios R2 hasta R5, corresponde al llenado de los granos (Figura 1).



Fuente: Ciampitti *et al.* (2016). https://pbs.twimg.com/media/CiQo-a_UgAM0enE.jpg

Figura 1. Distintos estados fenológicos de acuerdo a Ritchie y Hanway (1982).

Hay varios métodos para contar el número de hojas, en este trabajo se utiliza el desarrollado por la Universidad de Iowa (Ritchie y Hanway, 1982; Abendroth *et al.*, 2011) en el que se cuentan las hojas verdaderas en función de la

visibilidad del collar de cada hoja. La primera hoja con collar visible (estructura que se encuentra en la base de la hoja), tiene una punta redondeada; el resto presenta puntas agudas (Figura 2).

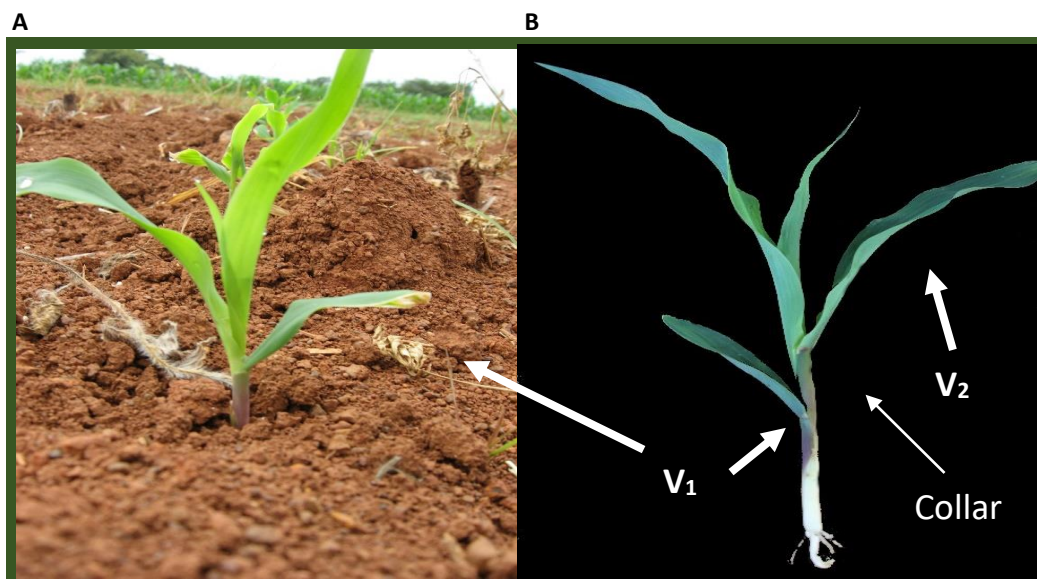


Figura 2. Plantas en etapa V1 (A) en donde la segunda hoja no tiene el collar visible y planta en etapa V2 (B) se observa el collar de las dos primeras hojas.

2.4. Duración de las etapas desarrollo de una planta de maíz

Para determinar la duración de cada una de las etapas de distintos genotipos, se seleccionó una variedad (IDIAP-MV-1102) y un híbrido (P-4226) las cuales fueron sembradas en la Estación Experimental El Ejido. Durante el estudio las temperaturas mínimas y máximas estuvieron en el rango de 23.4° a 30.6° C. Este estudio encontró pocas diferencias entre ambos tipos de cultivares para la duración de cada una de los puntos cardinales que definen las distintas etapas (Sáez *et al.*, 2018). Los dos cultivares evaluados demostraron semejanza en los días requeridos para la aparición de cada hoja. Se observó una ligera variación en el tiempo termal requerido para la formación de cada hoja. Sin embargo, ambos materiales finalizan el ciclo con valores de tiempo termal iguales.

El tiempo promedio requerido para la salida de una hoja nueva desde V1 a la V11 para ambos cultivares, fue de aproximadamente 2.97 días (50.7 °Cd) y a partir de la V12 en adelante se redujo a 1.93 días (32.9 °Cd) (Figura 3). En la variedad la finalización del período juvenil se dio a los 24 ± 0.4 días con un tiempo termal acumulado de 370 ± 4 °Cd. Para el híbrido el fin de la etapa juvenil fue a los 25 ± 0.9 días, con un tiempo termal acumulado de 417 ± 7 °Cd. Al final de la etapa juvenil se suspende la formación de hojas y el meristema apical se convierte en la inflorescencia masculina (espiga) (Figura 4). La mazorca (flor femenina) se forma

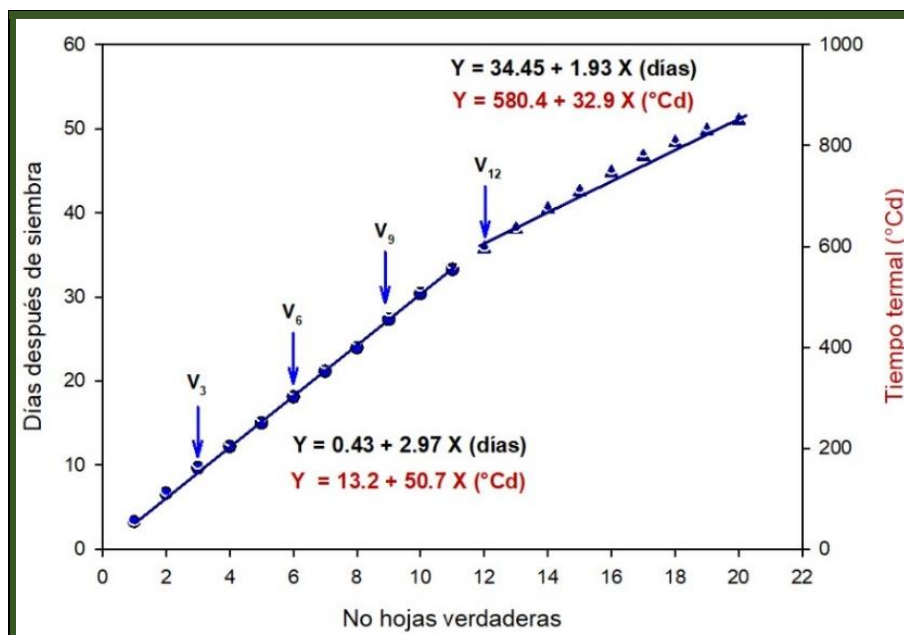
aproximadamente a los 36 días después de la siembra (dds), es decir, de 10 a 11 días después de la iniciación de la espiga. La longitud de la mazorca (número de granos por hilera) se determina en las últimas semanas antes de la aparición de las panojas. El estrés en este momento puede reducir el número de granos producidos en cada hilera; sin embargo, el número final de granos se determina durante y después de la polinización. La antesis se dio a los 51 ± 0.5 días (905 ± 12 °Cd) y la salida de estigmas de las flores femeninas ocurre cerca de los 52 ± 0.6 (945 °Cd). En este momento culmina la fase vegetativa, y se inicia la fase reproductiva. Para ambos cultivares el fin de la etapa vegetativa se dio a los 52 días (VT). La transición del desarrollo vegetativo al desarrollo reproductivo (de VT a R1) es un período crucial para la determinación del rendimiento de los granos. En este momento, el brote de la mazorca superior se convierte en dominante.

La etapa de barbeo (R1) se dio a los 54 ± 0.9 dds acumulando 949 ± 8 °Cd en ambos cultivares. La R2 (fase de ampolla) se presentó 10 días después de la emisión de los estigmas y acumuló 1,162 ± 18 °Cd. En esta etapa los granos son blancos, similares a una ampolla y contienen un fluido claro. Los granos contienen cerca de 85% de humedad. El embrión se desarrolla en cada grano; la división celular está completa y comienza el llenado de grano. A los once días después los granos pasan al estado lechoso o R3 acumulando un tiempo termal de 1,319 ± 17

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

°Cd. En esta etapa los estigmas se secan y los granos alcanzan su color final. Estos contienen un fluido lechoso que puede ser extraído al presionarlos entre los dedos; este fluido es el resultado de la acumulación de almidón. A los catorce días después de la R3 (aproximadamente 26 a 30 días después de floración) los granos pasan al estado pastoso o R4 con 1449 ± 16 °Cd acumulados. En esta etapa el almidón acumulado en los granos adquiere una consistencia pastosa; ocurre una rápida acumulación de almidón y nutrientes, los granos poseen un 70% de humedad y comienzan a sufrir una depresión en su extremo superior.

Más adelante, pasan al estado de R5 (fase de grano duro o dentado) en donde la humedad de los granos se reduce a 55%, mientras que el contenido de almidón aumenta. Para llegar a esta fase los cultivares acumularon 1926 °Cd y la misma se presentó 4 días después de la R4. Por último, los granos pasan a la madurez fisiológica (R6), la cual se caracteriza por presentar una capa negra en la base del grano, impidiendo el movimiento de materia seca y nutriente desde la planta hacia el mismo. Los granos alcanzan su máximo peso (30% a 35% humedad) y se encuentran fisiológicamente maduros (Figura 5).

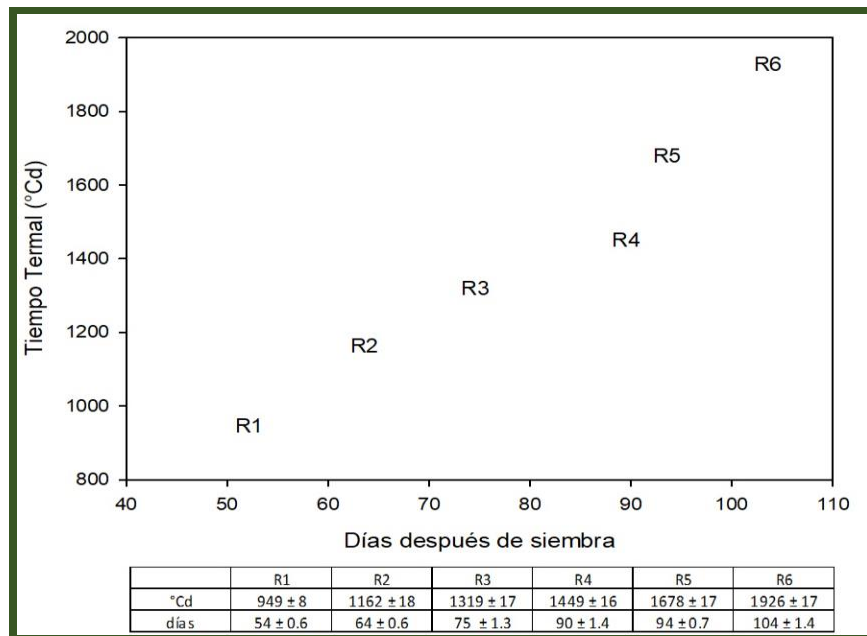


Fuente: Sáez *et al.* (2018)

Figura 3. Duración (días) y Tiempo Termal (°Cd) requerido para la aparición de cada hoja para la variedad IDIAP-MV-1102 y el híbrido P-4226.



Figura 4. Plantas de maíz mostrando el meristemo apical en la etapa V7 o fin de la etapa juvenil.



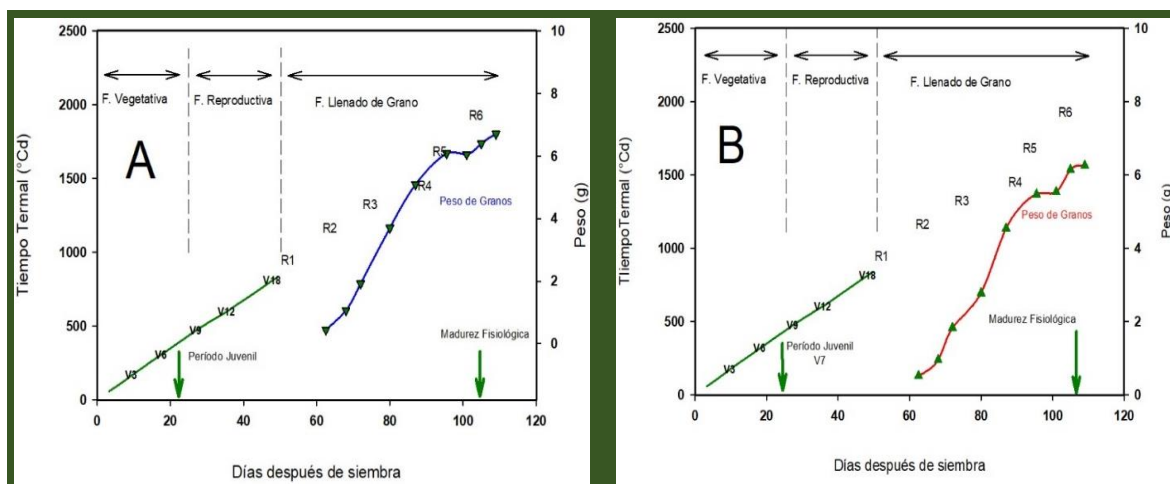
Fuente: Sáez *et al.* (2018).

Figura 5. Tiempo (días) y Tiempo Termal (°Cd) de las distintas fases de la Etapa Reproductiva de la variedad IDIAP-MV-1102 y el híbrido P-4226.

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

La fase de llenado de grano inició 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 es afectada por estrés hídrico y nutricional (Fischer y Palmer 1984). El híbrido P-4226 presentó una ganancia de peso al día de 0.12 g, mientras que en la variedad la ganancia promedio fue de 0.11 g por día. Esta ganancia superior del híbrido se transformó en un mayor peso de mazorcas (221 vs 166 g) y mayor número de granos por mazorca (489 vs 426 granos). La descripción fenológica completa de ambos cultivares es de suma importancia para el entendimiento de los eventos fenológicos.

La duración de cada una de estas fases o etapas depende del genotipo, del fotoperíodo y de la temperatura. La edad cronológica del cultivo al final del ciclo productivo fue de 118 días equivalente a 2012 °Cd, el período vegetativo culminó con 20 hojas expandidas en el híbrido (Figuras 6A). y la variedad, respectivamente (Figuras 6B). La acumulación máxima de unidades de calor fue de 889 °Cd al final del período expandido. El IDIAP-MV-1102 durante el período vegetativo utilizó 890 °Cd de tiempo termal acumulado y para el período reproductivo utilizó 1,926 °Cd de tiempo termal. El P-4226 alcanzó la madurez fisiológica a los 104 dds. Este material utilizó un tiempo termal de 889 ± 9 °Cd en el período vegetativo y en el período reproductivo presentó un tiempo termal de $1,755 \pm 26$ °Cd.



Fuente: Sáez *et al.* (2018).

Figura 6. Fases de desarrollo del cultivo de un híbrido (A) y variedad (B) de maíz y su duración aproximada.

3. REQUERIMIENTOS PARA EL CULTIVO DE MAÍZ

Como toda especie viviente la planta de maíz requiere de algunas condiciones mínimas para su normal desarrollo; más adelante se presentan algunas de estas condiciones.

3.1. *Requerimientos de Luz Solar*

El maíz es una planta determinada de días cortos (Fischer y Palmer, 1984); esto significa que el progreso hacia la floración se retrasa a medida que el fotoperíodo excede un valor crítico mínimo. Para la mayoría del germoplasma de maíz el fotoperíodo crítico es de 11 a 14 horas (Birch *et al.*, 1998). En el trópico entre 0° y 30° de latitud norte y sur, el fotoperíodo varía de un mínimo de 11.6 a un máximo de 14.4 horas a través del año (Gates, 1980). En ambientes tropicales el efecto del fotoperíodo en la fenología del maíz no es tan importante en los componentes del rendimiento como número de hileras de granos (Allison y Daynard, 1979). Según Gouesnard *et al.*, (2002) las poblaciones originadas en altitudes y latitudes bajas son muy sensibles al fotoperíodo, mientras que las poblaciones de las tierras altas nunca muestran una sensibilidad elevada al fotoperíodo sin importar su latitud.

3.2. *Requerimientos de Temperatura*

La duración de cada una de las etapas fenológicas puede presentar una gran variabilidad, dependiendo principalmente del

genotipo y del ambiente, en especial la temperatura y el fotoperíodo (Allison y Daynard, 1979). En el maíz, el 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. Lizaso *et al.*, (2018) encontraron que temperaturas cálidas aceleran la tasa de desarrollo, resultando en fases vegetativas y reproductivas más cortas (aproximadamente 30 días para todo el ciclo). El estrés por calor no provocó retraso de la formación de estigmas en relación con la antesis (intervalo extendido de formación de estigmas-antesis). Estos autores indicaron que el rendimiento de grano de maíz se reduce bajo estrés por calor, principalmente a través de la viabilidad del polen que a su vez determina el número de granos; aunque también se ha detectado un efecto menor pero significativo del componente femenino.

Existe una fuerte interacción de la temperatura con el déficit de presión de vapor (VPD), se ha demostrado que la viabilidad del polen disminuye al disminuir el contenido de humedad producto del aumento de la temperatura y VPD. Está pérdida de la viabilidad ocurre en el tiempo de movimiento del polen desde la panoja a los estigmas de la mazorca (Fonseca y Westgate, 2005). Estos resultados sugieren que a medida que aumenta la temperatura y

aumenta el VPD, es más probable que la polinización podría sufrir interrupciones, especialmente con la posibilidad de eventos de temperatura más extremas. Cuantificar el impacto de los episodios de temperaturas extremas sobre la viabilidad del polen y la interrupción de los procesos reproductivos será más importante con la proyección de que los eventos de temperaturas extremas aumentarán con el cambio climático (Tebaldi *et al.*, 2006). Estos rangos de temperatura y el potencial de eventos extremos serán importantes para el crecimiento y la producción de maíz, debido a la proyección de que las temperaturas aumentarán en el futuro (Hatfield y Dold, 2018).

3.3. Requerimientos de Agua

El agua es el factor más limitante en el rendimiento de grano como del forraje de maíz en muchas regiones del mundo (FAO, 1993). El efecto del agua sobre la producción de maíz en las zonas tropicales es determinante; ya que su carencia durante la etapa de crecimiento puede marchitar las plantas jóvenes y reducir la densidad de población, así como reducir el número de mazorcas por planta (Bolaños y Edmeades, 1993b). 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). Según Udom y Kamalu (2019) el requerimiento total de agua del cultivo durante la temporada de desarrollo fue de 456.9 mm, con una tasa media diaria

consumida de 4.22 mm y 3.91 mm. El período pico de agua utilizada por el cultivo se encontró en la fase de emergencia de la espiga (5.66 mm por día) y durante el período de formación del rendimiento (6.31 mm por día). El cultivo de maíz requiere para un normal desarrollo de 500 a 800 mm de lluvia bien distribuida (Lafitte, 2001; Steduto *et al.*, 2012). Solo una fracción de la materia seca producida forma el grano, lo que significa que un cultivo con buena disponibilidad de agua usa alrededor de 800 a 1,000 gramos de agua por cada gramo de grano producido (Lafitte, 2001). 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) (Figura 7).

El cultivo de maíz se encuentra expuesto a diferentes tipos de estrés (bióticos y abióticos) en cada una de las fases fenológicas comprendidas desde la siembra hasta la madurez fisiológica. Se ha estudiado el efecto de las deficiencias hídricas en la reducción del rendimiento de la biomasa y grano de maíz (Denmead y Shaw, 1960; Traore *et al.*, 2000). El rendimiento del grano puede reducirse disminuyendo los componentes del rendimiento, tales como tamaño de la mazorca, número de granos por mazorca o peso del grano. En la floración (unas dos semanas antes de la emisión de estigmas hasta dos semanas después de éstas) el maíz es muy sensible al estrés hídrico y ante una escasez de agua durante este período, el

rendimiento de grano puede ser seriamente afectado (Sah *et al.*, 2020; Andrade *et al.*, 2002; Vega *et al.*, 2001).

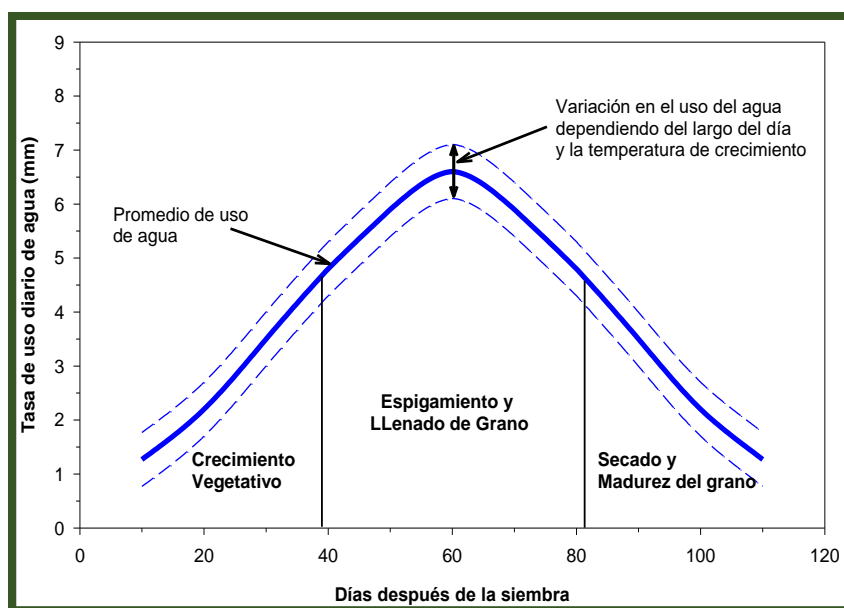
Las deficiencias hídricas antes o durante el barbeo y la polinización resultó en un número reducido de granos, mientras que las deficiencias durante o después del barbeo redujo el peso del grano (Claassen y Shaw, 1970). Por otra parte, Edmeades *et al.* (1993) indican que un intervalo acortado entre la antesis y el barbeo (ASI) se asocia con la tolerancia al estrés hídrico que ocurre alrededor de la floración. No se sabe si esto refleja diferencias en las fechas de inicio de las espigas y las mazorcas, o en las tasas de desarrollo y crecimiento de la mazorca. Los resultados indican que una disminución del ASI de la selección en una población mejorada se debe en gran parte a una mayor tasa de acumulación de biomasa por espiguilla y al desarrollo de menos espiguillas por espiga.

Durante el llenado de granos, el principal efecto de la sequía es reducir su tamaño (Lafitte, 1994; Hall *et al.*, 1981). Por otro lado, NeSmith and Ritchie (1992) atribuyeron la pérdida de rendimiento por deficiencias hídricas durante la pre-antesis a una reducción en el número de granos bien desarrollados. Bryant *et al.* (1992) indicaron que el déficit hídrico afecta el rendimiento al disminuir la biomasa acumulada y el índice de cosecha (relación entre el rendimiento de

grano y el peso seco de la planta). Traore *et al.* (2000), sin embargo, encontraron que el índice de cosecha se vio afectado por este déficit solo cuando se impuso estrés durante la antesis. Este efecto ha sido estudiado y se ha demostrado que está estrechamente relacionado con las épocas de siembra (Lauer *et al.*, 1999; Norwood, 2001).

La primera etapa del cultivo susceptible a deficiencias hídricas se da desde la etapa juvenil V7 hasta la emergencia de la espiga (VT), pudiendo reducirse el rendimiento hasta en un 25% de su potencial. Sin embargo, la etapa más crítica va de la floración masculina a la segunda etapa de la fase reproductiva conocida como fase de grano lechoso o R2. En esta fase se puede perder hasta un 50% del potencial de rendimiento por deficiencias hídricas. En la fase de llenado del grano, la cual va de la etapa R2 a la etapa R5, el rendimiento de grano se puede reducirse hasta un 25% por deficiencias hídricas (Mc Williams *et al.*, 1999; Shaw y Newman, 1985). Antes de que el cultivo llegue a floración (Fase Vegetativa) las deficiencias hídricas pueden reducir el rendimiento en un 25%, mientras que luego de la floración hasta la madurez fisiológica (Fase Reproductiva) las mermas pueden ser de hasta el 75%. El Cuadro 2 resume como se afecta el rendimiento de grano por día de sequía en el cultivo de maíz (Mc Williams *et al.*, 1999; Denmead y Shaw, 1960).

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA



Fuente: Kranz *et al.* (2008) modificado

Figura 7. Curva de utilización del agua durante el desarrollo de la planta de maíz.

Cuadro 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 ¹	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: McWilliams *et al.* (1999) modificado. ¹ Fenología del cultivo modificada 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.

En resumen, 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.

3.4. **Requerimientos de Suelo**

El maíz puede producir buenas cosechas en una amplia variedad de suelos. Hay suelos excesivamente pesados (arcillosos) y suelos muy sueltos (arenosos); los primeros, por su facilidad a inundarse y, los segundos, por su propensión a secarse excesivamente no son recomendables para la producción de este grano. En general, los mejores suelos para el cultivo del maíz son los de textura media (francos), fértiles, bien drenados, profundos y con elevada capacidad de retención para el agua (Llanos, 1984).

Puede tener buenos resultados el maíz puede cultivarse en suelos con un pH entre 5.5 a 8.0, aunque el óptimo corresponde a suelos con una ligera acidez (pH entre 6.0 y 7.0). Un pH fuera de esos límites suele aumentar o disminuir la disponibilidad de ciertos elementos; produciéndose toxicidad o carencia del elemento. Con un pH inferior a 5.5, a menudo hay problemas de toxicidad por aluminio (Al) y manganeso (Mn), con carencias de fósforo (P) y magnesio (Mg). Con un pH superior a 8.0 (o superior a 7.0 en suelos calcáreos), tienden a presentarse carencias de hierro (Fe), manganeso (Mn) y Zinc (Zn) (Lafitte, 1994). 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.

4. **ZONAS POTENCIALES PARA EL CULTIVO DE MAÍZ**

Panamá cuenta con tres grandes zonas agroecológicas con potencial para el cultivo de maíz, estas son Azuero, Chiriquí y Darién; a continuación, se detallan cada una de estas zonas.

- *Azuero*: En la zona costera de la región de Azuero (provincias de Herrera y Los Santos) se ubica el área productora de maíz. En general, esta zona se encuentra a una altitud entre 10 y 50 msnm; con precipitación pluvial promedio entre 800 y 1,200 mm, está ubicado en el Bosque Seco Tropical. El pH de los suelos va de ácido hasta poco ácido (4.5 a 6.5), y la textura en la mayoría de los casos es franco-arcillo-arenosa perteneciente a los órdenes alfisol e inceptisol. A pesar de ser un área relativamente pequeña en la región de Azuero se puede identificar una zona con mayor potencial de rendimiento (comprendida por los distritos de Las Tablas, Pocrí y Pedasí) y otra más al norte compuesta por los distritos de Guararé, Los Santos, Chitré y Parita. En relación a los suelos, ambas zonas son similares en fertilidad, siendo la diferencia principal el acumulado de las lluvias durante la época de siembra del cultivo en la región.

- *Chiriquí:* La zona de producción de esta provincia ocupa dos áreas, una en la zona costera de los distritos de Alanje y Barú; con suelos del orden alfisol (Alanje) y entisoles e inceptisoles (Barú) y la otra en la zona de Caisán. Los suelos de la primera zona (Alanje y Barú) son muy parecidos a la región de Azuero, pero se diferencian en que esta zona presenta un mayor promedio anual de lluvias. La zona productora de maíz de Caisán se ubica en una zona derivada de cenizas volcánicas (andisoles) a una altitud entre 400 y 1,000 msnm; y la precipitación pluvial promedio está entre 1,200 y 2,500 mm y ubicado en el Bosque Húmedo Tropical (Barú y Alanje) y Bosque muy Húmedo Premontano (Caisán). El pH de los suelos va de 5.5 a 6.8.
- *Darién:* El área productora de maíz de la provincia de Darién se ubica entre 8°30' Latitud Norte y 77°55' Longitud Oeste; a 150 msnm. Pertenecen a la zona ecológica denominada Bosque Húmedo Tropical, con precipitaciones anuales de 2,800 mm y una temperatura media de 28°C. Encontramos que los corregimientos de Agua Fría, Santa Fe, Metetí, Río Iglesias y Yavisa son los que presentan mejor condición agroclimática para el desarrollo del cultivo y presentan suelos del orden alfisol.

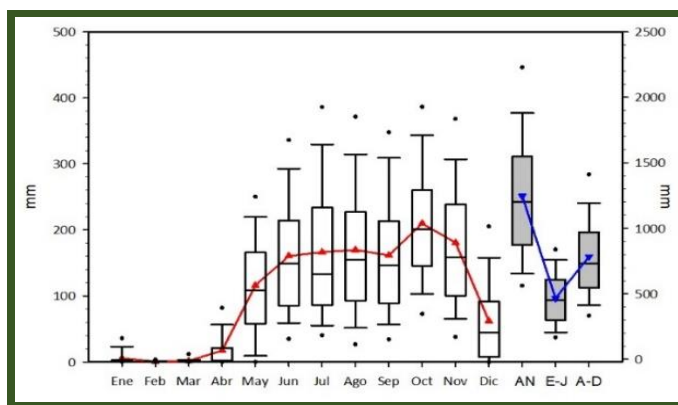
5. ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN LA REGIÓN DE AZUERO

La región de Azuero concentra la mayor área dedicada al cultivo mecanizado de maíz a nivel nacional; a continuación, se presenta información sobre el comportamiento de los regímenes de precipitación en esta provincia.

5.1 *Análisis de la lluvia a través de los años (Regional)*

Gordón (2020) realizó un estudio para caracterizar la precipitación pluvial de la región de Azuero, tomando en consideración los registros de lluvia de 12 pluviómetros ubicados a lo largo de la zona maicera de esta región. Se encontró que octubre fue el mes con mayor promedio de lluvia (209 mm); en tanto que febrero y marzo fueron los meses que registraron la menor cantidad de lluvia durante el período de estudio. Los meses con mayor variación en dicho período fueron noviembre y agosto con valores de desviación estándar superior a 66.0 mm por año. La distribución de lluvias en esta región, según el análisis realizado, indica que las mismas se inician al final del mes de abril, luego la misma va incrementado en los meses subsiguientes, con una ligera disminución en septiembre y un decrecimiento a partir de octubre. El mes de diciembre presenta una baja precipitación (61 mm), la cual se registra generalmente en los primeros 15 días del mes (Figura 8).

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA



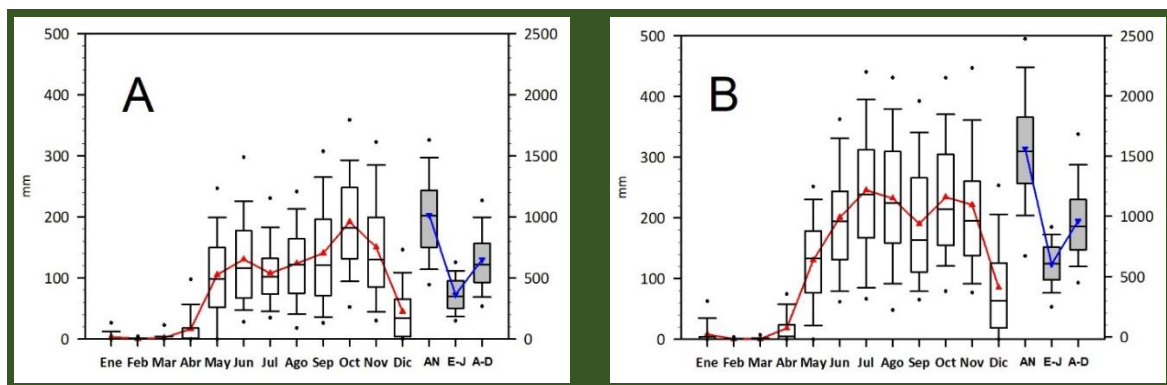
Fuente: Gordón (2020).

Figura 8. Distribución de lluvia en la región de Azuero de 1995 a 2018. Triángulos rojos representan la media mensual. Triángulos azules representan la media acumulada anual (AN), enero-julio (E-J) y agosto-diciembre (A-D). Cajas de Tukey representan la distribución de la lluvia.

5.2 Análisis de las lluvias por localidades

De acuerdo al análisis de los registros de cada pluviómetro, la región puede dividirse en dos zonas. En las localidades de la zona norte (distritos de Parita, Los Santos y Guararé), se observa una canícula durante el mes de junio, mientras que en las localidades de la zona sur (distrito de Las Tablas, Pocrí y Pedasí) la

misma se da en septiembre (Figura 9A). En ambas zonas, el mayor registro se observa en el mes de octubre. Otra gran diferencia entre ambas áreas, es el acumulado anual y el acumulado entre agosto a diciembre (época de siembra del cultivo de maíz en la región), siendo más lluviosa la zona sur por más de 350 mm en ambos períodos (Figura 9B).



Fuente: Gordón (2020).

Figura 9. Distribución de la lluvia en las zonas norte (A) y sur (B) de la región de Azuero, 1995-2018. Triángulos rojos representan la media mensual. Triángulos azules representan la media acumulada anual (AN), enero-julio (E-J) y agosto-diciembre (A-D). Cajas de Tukey representan la distribución de la lluvia.

6. ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO

En los últimos años ha sido muy frecuente trabajar los cultivos según especialidades, hasta el punto que en el manejo integral del cultivo todas las disciplinas se han perdido. Como ejemplo, está el manejo integrado de plagas, cuya filosofía es que ninguna disciplina es más importante que otra, todas deben aplicarse, y establecerse una correlación entre ellas. Esto significa que al momento de tomar una decisión en el campo debe haber un consenso de los especialistas, para que la decisión final sea la mejor y sea aplicada en la fase del cultivo que requiera de la misma. Seguidamente detallamos los aspectos más relevantes en el manejo del cultivo de maíz.

6.1 Selección de Cultivares de Maíz

Es de suma importancia, al momento de seleccionar el cultivar a sembrar, conocer sobre las principales características de todos los materiales que se encuentran disponibles en el mercado. El material seleccionado debe tener: Alto potencial de rendimiento, estabilidad genética, adaptación a la zona (que no interactúe con los diferentes ambientes) y tolerancia a las enfermedades más comunes de la región. En el país se viene usando híbridos simples para el sistema de siembra con máquinas y niveles altos de fertilizantes y otros agroquímicos (altamente tecnificado). En el sistema denominado chuzo con tecnología, que se basa en siembras manuales, también se utiliza fertilizantes y herbicidas, pero en cantidades más bajas que

el sistema altamente tecnificado; además se utilizan variedades sintéticas, igualmente este tipo de material es usado en los sistemas de agricultura familiar.

a. Selección de Híbridos:

El IDIAP realiza todos los años, ensayos en distintas áreas del país, con la finalidad de evaluar los cultivares introducidos por las casas comerciales, así como los que se puedan generar en la institución. Para seleccionar híbridos se realizan estudios de adaptabilidad y estabilidad de los genotipos que requieren ser introducidos al país; después de varios años de investigación se seleccionan los híbridos en común y se realizan estudios de confiabilidad de la respuesta para la recomendación de los mismos (Camargo *et al.*, 2002, 2004).

Estudios realizados por Gordón y Camargo (2020), donde evaluaron el rendimiento de siete híbridos en los últimos cuatro años (2016-2019), indicaron que los híbridos P-4039, ADV-9789 y ADV-9779 presentaron un comportamiento superior con relación al testigo tradicional 30F-35. Estos tres híbridos combinan alto potencial de rendimiento y una amplia adaptabilidad a los diferentes ambientes y años; esto de acuerdo a los análisis de estabilidad y confiabilidad de la respuesta realizados en el estudio. Así como estos materiales, existen en el país otros híbridos de buen potencial de rendimiento que han sido evaluados en los ensayos de adaptación de la institución para su registro. Todos estos híbridos al momento de su

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

registro presentaron rendimientos superiores o similares al testigo de más uso en el país a través de múltiples localidades de Azuero y Chiriquí (Cuadro 3).

b. Selección de Variedades:

Al igual que en los híbridos, en los últimos años se han llevado a cabo experimentos para la selección de variedades de polinización abierta, principalmente de variedades sintéticas, que ha diferencias de las liberadas en los años 80, presentan una base genética más estrecha y que están conformadas de 8 a 12 líneas endogámicas. Siendo éstas, líneas élites de los programas de tolerancia a sequía, pudrición de mazorcas y alto rendimiento del CIMMYT.

En un estudio realizado por Gordón *et al.* (2020) después de tres años (2017-2019), el testigo nacional IDIAP-MV-1102, fue superado en más del 15% por el sintético IDIAP-MV-1816. El análisis estabilidad identificó a este último como el más estable a través de las localidades. El análisis de la confiabilidad de la respuesta normalizada, indicó que en ocho de cada diez localidades el IDIAP-MV-1816 superó al testigo nacional. En el siguiente cuadro se presenta el rendimiento en los ensayos realizados en distintas localidades del país de las variedades que actualmente cuentan con registro para ser sembradas en el país (Cuadro 4).

Cuadro 3. Rendimiento de grano (ton-ha⁻¹) en los ensayos de evaluación de la Prueba Regional de los híbridos de maíz con registro para su uso en Panamá. 2009-2019.

Híbridos	Casa	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	4 años	Prom
P-4039	Pioneer								8.06	8.02	8.39	9.47	8.49	8.49
P-4226	Pioneer				7.93	9.31	9.54	4.76	7.58	7.97	8.00	8.31	7.97	7.87
ADV-9779	Advanta									7.57	7.86	8.14	7.86	7.72
ADV-9293	Advanta								6.92	7.26	6.88	9.00	7.51	7.51
ADV-9789	Advanta									7.53	7.34	9.10	7.99	7.44
30F-35 ^a	Pioneer	7.45	8.79	8.90	5.94	8.07	8.71	4.77	6.60	6.94	7.35	7.46	7.09	7.42
SV-3243	S Valle									7.01	6.86	7.86	6.94	6.94
SV-292	S Valle									6.52	7.03		6.77	6.77
ADV-9022	Advanta								6.93	7.08			7.01	7.01
SYN-750	Syngenta								6.29	6.30			6.30	6.30
IMPACTO	Syngenta								5.71	6.24			5.98	5.98
DAS-3383	Corteva			8.10	6.70	5.99			5.98				5.98	6.69
DK-7088	Dekalb	7.62	7.67											7.65
XB-6012	Panamco					6.48	7.90							7.19
SV-1007	S Valle		7.10	8.72				4.58						6.80
XB-7253	Panamco					6.32	6.75							6.53
XB-7116	Panamco					5.71	6.98							6.35
2B-604	Dow						4.52	4.59	6.94				6.94	5.35

^a Híbrido con mayor área sembrada en el país, se utiliza como testigo en las pruebas de registro de nuevos híbridos.

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

Cuadro 4. Rendimiento de grano (ton·ha⁻¹) en los ensayos de evaluación de la Prueba Regional de las variedades de maíz con registro para su uso en Panamá. 2009-2019.

Variedades	Color y tipo grano	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	4 años (16-19)	Prom
IDIAP-MV-1816	Amarillo-normal									6.88	6.28	6.29	6.48	6.48
IDIAP-MQ-09	Blanco-QPM			7.48	6.30	5.13			4.62	5.50			5.06	5.81
IDIAP-MQ-18	Amarillo-QPM									6.79	4.74		5.76	5.76
IDIAP-MV-1102	Amarillo-normal		5.53	6.96	6.02	7.12	1.77		6.02	5.80	5.47	5.43	5.68	5.57
IDIAP-MV-0706	Amarillo-normal	6.85	5.05	6.19	5.01	5.56			4.51	3.41			3.96	5.13
IDIAP-MQ-12	Amarillo-QPM	5.30			5.07	4.97			4.36	3.87			4.12	4.50
IDIAP-ProA-04	Alto βcarotenos						3.05		4.20	4.02			4.11	3.76

6.2 Preparación del terreno y siembra del Cultivo de maíz

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.

a. Labranza convencional:

Se puede preparar el suelo en forma convencional cuando el terreno es plano, no erosionable, muy compactable, y cuando la disponibilidad del tiempo, de energía y de

capital no constituya un impedimento. En este sistema se remueve toda la superficie del suelo, incorporando el mantillo de la superficie con el uso del arado y de una rastra liviana (Barnett, 1989). En los últimos años el uso del arado ha sido sustituido con uno o más pases de Semi-Roma, con posteriores pases de rastra liviana. La preparación se realiza en los meses de junio a julio. Con el arado o la Semi-Roma puede hacerse dos pases a una profundidad entre 20 y 30 cm, con un intervalo de 15 días entre cada uno. La profundidad de la rastra debe estar entre 15 y 20 cm (Figura 10). Para completar la preparación, es necesario realizar de dos a tres pases de rastra, procurando que el último se haga un día antes o en el momento de la siembra y en el mismo sentido de ésta.

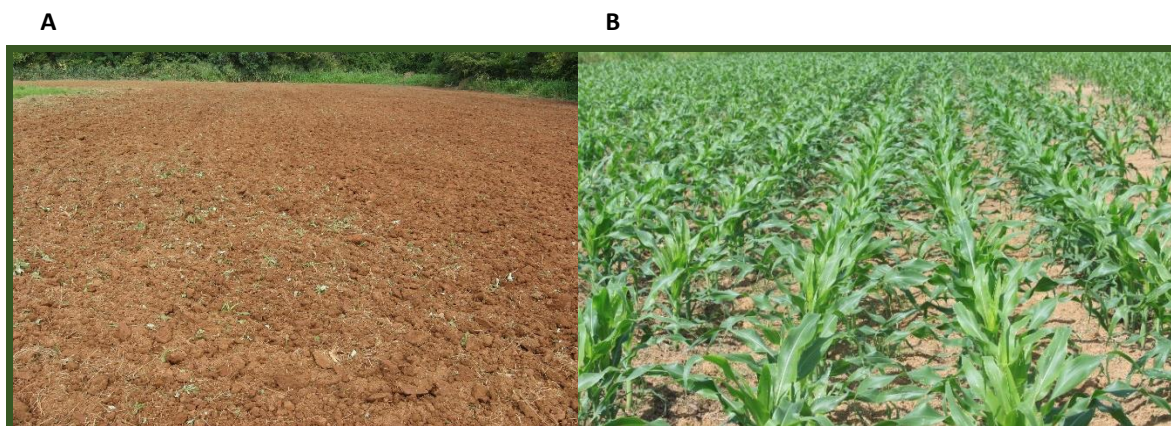


Figura 10. Preparación convencional del terreno con suelo desprovisto de rastrojo superficial (A) y desarrollo de la planta de maíz con control de malezas con el uso de herbicidas pre emergentes (B).

b. Labranza de conservación:

En este sistema de labranza, es menor la pérdida de suelo o agua en comparación al sistema convencional; además en este tipo de labranza el mantillo o rastrojo superficial debe estar presente, ya que el mismo juega un papel importante para reducir las pérdidas de suelo y/o agua. El uso de la labranza de conservación, cumplen con los objetivos a corto y largo plazo, relacionado al número mínimo de operaciones incluyendo, por definición, los sistemas que van desde la labranza cero hasta labranza mínima (Barnett, 1989).

- *Labranza mínima:* En este tipo de labranza se consideran todas aquellas formas que incluyen una o más operaciones mecánicas sin incorporación total del rastrojo o residuo superficial. La semi roma se utiliza en el mes de julio, para incorporar (20 a 30 cm de profundidad) o destruir parcialmente

la maleza presente en el terreno. Luego de 10 a 15 días antes de la siembra se aplica un herbicida quemante para el control de la maleza que aparece desde el pase de la semi roma hasta el momento de aplicar los herbicidas (Figura 11A).

- *Labranza cero:* Con esta labranza sólo se prepara una franja angosta, o corte hecho por los discos de la máquina sembradora o por la punta de un palo o coa. Una semana antes de la siembra, el terreno es quemado químicamente con un herbicida como glifosato (0.82 a 1.64 kg i.a. \cdot ha $^{-1}$). Si la maleza sobre el terreno alcanza más de 1 m, debe ser cortada de manera manual (machete) o mecánica (chapeadora). También se puede dejar el rastrojo del cultivo anterior, colocando los tallos de maíz a favor de la nueva siembra (Figura 11B).

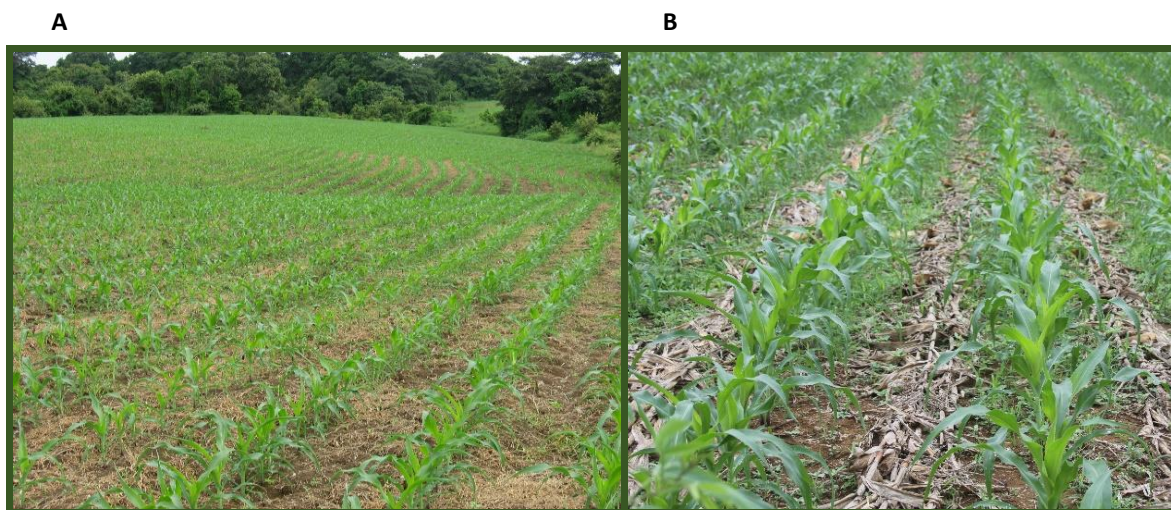


Figura 11. Siembra en labranza mínima con la aplicación de herbicidas quemantes previo a la siembra (A) y siembra colocando el rastrojo del cultivo anterior a favor de la nueva siembra (B).

6.3 *Siembra*

Una vez se tiene preparado el suelo, el siguiente paso es la siembra de la parcela seleccionada, considerada como una de las actividades más importantes. Entre las consideraciones que se tienen que tomar para la siembra están la época, la densidad y la profundidad de siembra del grano.

a. **Época de siembra**

La selección de la época o fecha para la siembra de cualquier cultivo, es una de las primeras decisiones que toma el productor y la misma tiene mucha incidencia en el éxito o fracaso de las actividades agrícolas. Para la buena elección de esta fecha, están involucrados varios factores climáticos que son del dominio o conocimiento de los productores de una zona agrícola específica. Entre estos factores, la precipitación pluvial

(lluvia), la temperatura promedio y la radiación solar son los de mayor importancia. De estas tres variables la que mayor variación y de menor pronóstico es la lluvia, la cual varía mucho de un año a otro. La fecha de siembra es tomada en la mayoría de las zonas del país, en base a la experiencia que tienen los productores o simplemente por tradición.

En la actualidad, con la ayuda de las computadoras personales y de programas computacionales específicos (ej.: DSSAT, Cropsyst, AquaCrop), la escogencia de la mejor fecha de siembra puede ser seleccionada suministrando a estos programas con los datos de suelo, clima y cultivar a utilizar. También hay que considerar que, en muchas ocasiones o años, la distribución de las lluvias es irregular, escasa o excesiva. Esto se traduce en un desarrollo inadecuado del cultivo, de tal manera, que

siempre existe un cierto riesgo no controlable por el productor. La época de siembra del cultivo de maíz varía de acuerdo con las distintas regiones del país, por ejemplo:

- **Caisán:** Las siembras deben realizarse en los meses de abril y mayo; sin embargo, es mejor realizarlas tan pronto se regularicen las lluvias.
- **Darién:** Se realizan siembras tanto de primera coa (abril-mayo) como en la segunda coa (agosto-septiembre).
- **Barú:** De acuerdo al régimen de lluvias predominante en esta región se recomienda realizar las siembras entre los meses de septiembre a octubre.
- **Azuero:** Es por todos conocido que el régimen de lluvias en la región de Azuero ha variado en los últimos años. Esto ha generado cierta incertidumbre entre los productores por modificar la época tradicional de siembra. Para determinar la época de siembra más adecuada en una región en particular, se debe analizar la distribución de lluvias y relacionarla con las etapas más susceptibles del cultivo.

Estudios realizados en la región de Azuero indica que hay dos zonas bien definidas en esta región en función de los volúmenes de lluvias, así como por su distribución (Gordón, 2020; Gordón *et al.*, 2004a). Al realizar un análisis de

riesgo para determinar fechas de siembra encontraron fechas límites para establecer parcelas de este cultivo. La recomendación de la época de siembra varía de acuerdo a las zonas (norte o sur) en que se encuentren los distritos. El riesgo hídrico en los períodos críticos de formación del rendimiento en siembras fuera de la fecha de recomendación, aumentó con relación a las siembras realizadas dentro del período recomendado.

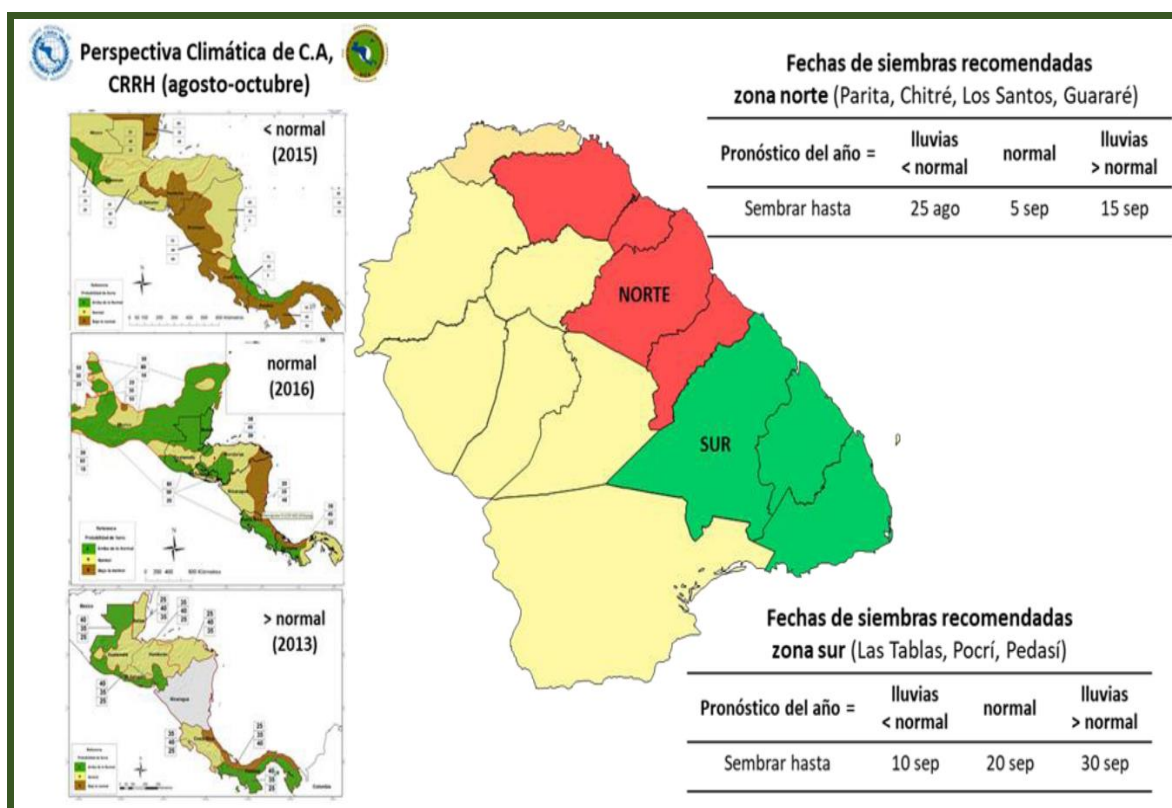
Las siembras en la zona norte (distritos de Parita, Los Santos y Guararé) tienen como límite máximo el 5 de septiembre, mientras que en los distritos de la zona sur de la península (Las Tablas, Pocrí y Pedasí) las siembras pueden realizarse hasta 20 de septiembre cuando el pronóstico indica que va a llover de acuerdo a la media histórica. Estas fechas indican el último día que se debe sembrar para escapar al efecto de la falta de agua en el llenado de las mazorcas. La recomendación es que en ambas zonas las siembras se puedan iniciar a mediados de agosto. Es importante señalar que las siembras realizadas en el mes de octubre son de alto riesgo por efecto de la sequía en cualquiera de las dos zonas de la región de Azuero, por lo que no es recomendable bajo ningún motivo, realizar siembras en este mes. En caso de haber pronóstico de lluvias irregulares con una media por debajo de lo histórico o suspensión de éstas a

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

principio o mediados del mes de noviembre, las siembras deben adelantarse 10 días con fechas límites del 25 de agosto (norte) y 10 de septiembre (sur). En caso de pronósticos de lluvias por encima del promedio histórico o presencia de lluvias hasta finales de diciembre, las siembras se pueden postergar 10 días; fijando las fechas límites para el 15 de septiembre en los

distritos del norte y de 30 de septiembre en los distritos del sur (Figura 12).

Los pronósticos de lluvia o perspectiva climática utilizados, son los que emite cada año para el trimestre de agosto a octubre el Foro del Clima de Mesoamérica del Comité Regional de Recursos Hídricos (CRRH) del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA).



Fuente: Gordón (2020).

Figura 12. Fechas de siembra recomendadas para la región de Azuero, según pronóstico de lluvia.

El efecto del agua sobre la producción de maíz en las zonas tropicales es determinante; su falta durante la etapa de crecimiento puede matar las plantas jóvenes y reducir la densidad de población. El principal efecto de la sequía en el período vegetativo es que reduce el crecimiento de las hojas, de modo que el cultivo capta menos radiación solar. En la floración (unas dos semanas antes de la emisión de estigmas hasta dos semanas después de éstas) el maíz es muy sensible al estrés hídrico y si el agua escasea durante este período el rendimiento de grano puede ser seriamente afectado. Durante el llenado de granos, el principal efecto de la sequía es reducir el tamaño de éstos (Lafitte, 1994; Hall *et al.*, 1981). Este efecto ha sido estudiado y se ha demostrado que está estrechamente relacionado con la época de siembra (Lauer *et al.*, 1999; Norwood, 2001).

El rendimiento de grano en los ensayos sembrados dentro del rango de siembra recomendado por el pronóstico de lluvia de cada año, fue superior a los ensayos sembrados después del mismo (Cuadro 5). Sólo en los años 1997 y 1999 se observó un incremento en el rendimiento de los ensayos sembrados tarde. La reducción durante el período de estudio presenta un rango de 5 a 74%. Al dividir el período estudiado en cuatro etapas, se observa que en el periodo de 1995 a 1998, el sembrar fuera del rango recomendado refleja pérdidas en el rendimiento de 0.2%. Luego en los siguientes

dos períodos, entre los años 2000 y 2010 la reducción se incrementa a casi 20%.

En el período más reciente que comprende los años de 2011 a 2018 el sembrar fuera de la recomendación representa una merma aproximadamente del 50% (Cuadro 5). Esto indica claramente que con el pasar de los años, el sembrar fuera de las fechas recomendadas se convierte en un alto porcentaje de reducción del potencial de rendimiento del grano en el cultivo (Gordón, 2020; Gordón *et al.*, 2004b).

De acuerdo a resultados presentados, las siembras en la región de Azuero deben establecerse entre finales de julio y principios de septiembre. En este período se encontró que las siembras pueden escapar de la escasez de lluvias en las etapas críticas del cultivo. Sin embargo, Gordón *et al.* (1993a) encontraron que existe una relación bien marcada entre la época de siembra y la incidencia de la enfermedad conocida como achaparramiento cuyo vector es el *Dalbulus maidis*. Estos mismos resultados encontraron Gordón *et al.* (1998) en dos localidades; en ambos trabajos se concluyó que siembras a finales de julio están propensas a ser afectadas significativamente por esta enfermedad. Estos autores encontraron que la población del *D. maidis* que existe es altamente virulenta, ya que, a pesar de las bajas poblaciones encontradas, se observa un alto porcentaje de plantas afectadas con el síntoma de la enfermedad. La información

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

generada señala que las siembras de maíz en la región de Azuero están limitadas, por una parte, por el régimen de lluvias y, por otra, por la existencia del achaparramiento. Esto indica, que a pesar que en los últimos días del mes de julio (15 al 30) se puede escapar de la deficiencia hídrica, el riego de ser afectados por la enfermedad limita la siembra. Si se

toma en cuenta que todos los híbridos sembrados en la región son susceptibles a esta enfermedad, las siembras realizadas antes de esta fecha son altamente susceptibles a ser afectadas, por lo que finalmente se recomienda sembrar después del 1 de agosto hasta el 15 de septiembre.

Cuadro 5. Precipitación pluvial, rendimiento y reducción promedio anual y por períodos de tiempo de acuerdo a la época de siembra de ensayos sembrados en la región de Azuero, Panamá. 1995-2018.

Año	Ppt ¹ (mm)	Rendimiento de grano (ton·ha ⁻¹)			Reducción rendimiento		Año	Ppt ^a (mm)	Rendimiento de grano (ton·ha ⁻¹)			Reducción rendimiento	
		Prom	Siembra Rec ²	Siembra No Rec ³	ton·ha ⁻¹	%			Prom	Siembra Rec ²	Siembra No Rec ³	ton·ha ⁻¹	%
1995	784	4.66	4.68	4.28	0.40	-9	2007	1105	6.82	7.18	5.98	1.21	-17
1996	850	4.77	4.86	4.12	0.74	-15	2008	920	6.98	7.35	6.33	1.02	-14
1997	580	3.71	3.70	4.79	-1.10	30	2009	785	6.96	7.62	5.66	1.95	-26
1998	819	5.31	5.58	5.04	0.54	-10	2010	1058	6.96	8.77	6.36	2.41	-28
1999	1213	6.17	6.03	6.21	-0.18	3.0	2011	813	7.66	8.22	5.39	2.83	-34
2000	627	6.17	6.43	5.17	1.26	-20	2012	722	6.22	6.87	4.72	2.15	-31
2001	725	6.03	6.24	5.77	0.46	-7	2013	854	6.64	7.31	3.97	3.34	-46
2002	711	5.57	6.78	4.55	2.24	-33	2014	693	7.83	8.80	3.98	4.82	-55
2003	830	7.35	7.58	6.45	1.13	-15	2015	321	4.65	6.43	1.69	4.74	-74
2004	776	6.58	6.89	5.76	1.13	-16	2016	957	6.36	7.24	4.16	3.08	-43
2005	974	6.96	7.44	6.00	1.44	-19	2017	871	6.81	7.70	3.25	4.45	-58
2006	679	6.06	6.17	5.90	0.28	-5	2018	516	6.83	7.27	4.61	2.66	-37

Periodo	Rendimiento de grano ton·ha ⁻¹			Reducción del rendimiento	
	Promedio	Siembra dentro de Fecha recomendada	Siembra fuera de Fecha recomendada	ton·ha ⁻¹	%
95 - 99	4.92	4.97	4.89	0.08	-0.2
00 - 05	6.44	6.89	5.62	1.28	-18.4
06 - 10	6.76	7.42	6.05	1.37	-17.7
11 - 18	6.66	7.48	3.97	3.51	-47.1

Fuente: Gordón (2020).

¹Precipitación acumulada de septiembre a diciembre de cada año, ²Ensayos sembrados dentro de las fechas recomendadas según año, ³Ensayos sembrados fuera de las fechas recomendadas según año.

De acuerdo a resultados presentados, las siembras en la región de Azuero deben establecerse entre finales de julio y principios de septiembre. En este período se encontró que las siembras pueden escapar de la escasez de lluvias en las etapas críticas del cultivo. Sin embargo, Gordón *et al.* (1993a) encontraron que existe una relación bien marcada entre la época de siembra y la incidencia de la enfermedad conocida como achaparramiento cuyo vector es el *Dalbulus maidis*. Estos mismos resultados encontraron Gordón *et al.* (1998) en dos localidades; en ambos trabajos se concluyó que siembras a finales de julio están propensas a ser afectadas significativamente por esta enfermedad. Estos autores encontraron que la población del *D. maidis* que existe es altamente virulenta, ya que, a pesar de las bajas poblaciones encontradas, se observa un alto porcentaje de plantas afectadas con el síntoma de la enfermedad. La información generada señala que las siembras de maíz en la región de Azuero están limitadas, por una parte, por el régimen de lluvias y, por otra, por la existencia del achaparramiento. Esto indica, que a pesar que en los últimos días del mes de julio (15 al 30) se puede escapar de la deficiencia hídrica, el riego de ser afectados por la enfermedad limita la siembra. Si se toma en cuenta que todos los híbridos sembrados en la región son susceptibles a esta enfermedad, las siembras realizadas antes de esta fecha son altamente susceptibles a ser afectadas, por lo que finalmente se recomienda sembrar después del 1 de agosto hasta el 15 de septiembre.

b. Densidad de siembra

La tolerancia a la densidad en los cultivares modernos ha sido una de las causas del aumento en rendimiento (Pandey y Gardner, 1992; Fischer y Palmer, 1984). Densidades bajas de plantas son una de las razones fundamentales del bajo rendimiento de maíz encontrados en los trópicos (Bolaños y Barreto, 1991; Bolaños *et al.*, 1993). Akbari *et al.*, (2015) encontraron que densidades crecientes de plantas de maíz toleraran la presencia de malezas hasta la etapa V9 con aproximadamente 6 a 15% de pérdida de rendimiento. La densidad ideal para un cultivar, es aquella que produce el mayor rendimiento de grano cuando el cultivo se desarrolla en condiciones favorables (sin limitaciones de suelo y clima), situación poco frecuente en los campos. Por consiguiente, aquella densidad que produce el mayor rendimiento de grano en campos de productores bajo las variantes anuales de clima y manejo del cultivo, es diferente a la ideal.

En zonas de precipitación pluvial errática y baja, el riesgo de fracaso del cultivo aumenta a medida que aumenta la densidad. Si la densidad se ajusta debido a la sequía, es preciso considerar que el control de malezas debe atenderse, ya que, una menor población de maíz proyecta menos sombra, favoreciendo de esta forma el crecimiento de las malezas en el campo (Lafitte, 1994). Una vez se haya decidido la densidad recomendada, es necesario calcular las pérdidas esperadas

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

desde la siembra a la cosecha para obtener la tasa de siembra recomendada, esto es, se comparará la densidad de cosecha en la zona con el número de semillas que siembra el agricultor. La densidad de siembra recomendada se divide por uno menos el porcentaje de pérdidas (1 - % de pérdidas) para obtener la tasa recomendada de siembra. Por ejemplo, si se recomienda un cultivar con una densidad de siembra de 65,000 plantas por hectárea y se espera que alrededor del 5% de las plantas se pierdan entre la siembra y la cosecha a causa del ataque de insectos y enfermedades, la tasa recomendada de siembra es entonces:

$$TRS = DSR / (1 - \% \text{ pérdidas por plagas})$$

En donde:

TRS = Tasa de siembra recomendada y
 DSR = Densidad de siembra recomendada

Reemplazando del ejemplo anterior:

TRS = 65,000 ÷ (1 - 0.05) = 68,420 semillas por hectárea

Si hay 60,000 semillas en una bolsa, entonces se necesita utilizar 1.2 bolsas de semillas por hectárea.

Las distancias entre hileras para alcanzar las poblaciones óptimas, deben ajustarse de acuerdo a las labores que se realicen después de la germinación del maíz y del tipo de suelo. Estudios realizados en los últimos años en la región de Azuero indican que las poblaciones de plantas que optimizan el rendimiento de grano son de 5.7 a 6.5 plantas·m⁻² (Gordón *et al.*, 1992a; 1993b; 2000a). En estudios posteriores encontraron que la población podría aumentar de 6.5 a 7.2 plantas·m⁻² (Gordón *et al.*, 2000a; Gordón y Franco 2010a). Las distancias recomendadas entre hileras están entre 75 y 90 cm. La distancia entre plantas por hectárea dependerá de la distancia entre hileras. En el Cuadro 6 se muestran las distancias entre hileras y plantas dentro del surco para obtener las diferentes densidades de semillas por hectárea al momento de siembra.

Cuadro 6. Densidad de plantas resultante de las combinaciones de distancia entre plantas y surcos, para optimizar el rendimiento de grano.

No de Semilla/5 m	23	24	25	26	28	29	31	33
	Distancia entre semillas (cm)							
Distancia entre surcos (m)	22	21	20	19	18	17	16	15
0.75	60.6	63.5	66.7	70.2	74.1			
0.80			62.5	65.8	69.4	73.5		
0.85				61.9	65.4	69.2	73.5	
0.90					61.7	65.4	69.4	74.1

c. Profundidad de siembra

Durante la siembra pueden surgir varios problemas: 1) La inadecuada preparación de la tierra, con presencia de terrones o encostramiento que impiden sembrar a una profundidad uniforme o, incluso, obstaculizar la germinación; 2) La preparación de la tierra con demasiada anticipación a la siembra o de manera desuniforme ocasiona que las arvenses se desarrollen con ventaja sobre el cultivo; y 3) La colocación de las semillas a una profundidad inadecuada (muy profunda o superficial). La preparación de la tierra se realiza para establecer una estructura en el suelo favorable para el desarrollo de la semilla, incorporar residuos, combatir plagas, entre otras razones. En muchas zonas la estructura del suelo permite un buen desarrollo del cultivo sin necesidad de labranza, siempre que la maleza se controle con otros métodos. Los residuos se pueden dejar en la superficie del suelo si no impiden las operaciones de campo.

En casos de labranza cero o mínima en donde el rastrojo superficial sea abundante se deben utilizar los discos cortadores corrugados utilizados para cortar el rastrojo y permitir la siembra adecuada de la semilla (Figura 13A). Estos discos cortan el rastrojo en cualquier tipo de suelo y con cualquier residuo orgánico; a la vez mejora el rendimiento de la sembradora porque aporta más peso y consigue un mejor corte y remoción del suelo. El disco remueve una pequeña porción del suelo de entre 11 y 13 mm permitiendo depositar la semilla en la profundidad deseada y en contacto con el

suelo para su óptima germinación; evitando de esta manera el implante de la semilla sobre el rastrojo. La cantidad de ondulaciones de los discos cortadores es el número de ondas hacia arriba que presentan las cuchillas de siembra; a mayor cantidad de ondulaciones, mayor capacidad de laboreo o de ruptura en terrones más pequeños. Las cuchillas con pocas ondulaciones son adecuadas para suelos arenosos y con muchas ondulaciones para suelos arcillosos.

Cuando un suelo está correctamente preparado, permite colocar la semilla a la profundidad correcta y proporciona un buen contacto entre ésta y el suelo. La profundidad correcta es aquella en donde la semilla absorbe el agua, está protegida de la desecación y los pájaros; además evita que germine con lluvias ligeras, impidiendo que la plántula logre la superficie antes de agotar sus reservas de nutrientes o ser atacada por plagas del suelo. La profundidad de siembra correcta para el maíz de tierras tropicales bajas es de 5 a 7 cm, pero puede ser de hasta 10 cm cuando la semilla es grande y sana (Lafitte, 1994).

Para garantizar la profundidad correcta se debe calibrar previamente la sembradora con el uso del aditamento especial (barra controladora de la profundidad) y ruedas apisonadoras que traen las sembradoras (Figura 13B). En el caso de labranza mínima o cero es fundamental que se utilicen los discos corrugados ubicados frente a donde cae la semilla, los cuales cortan el rastrojo superficial del terreno, evitando que la semilla quede sobre el rastrojo o muy superficial.

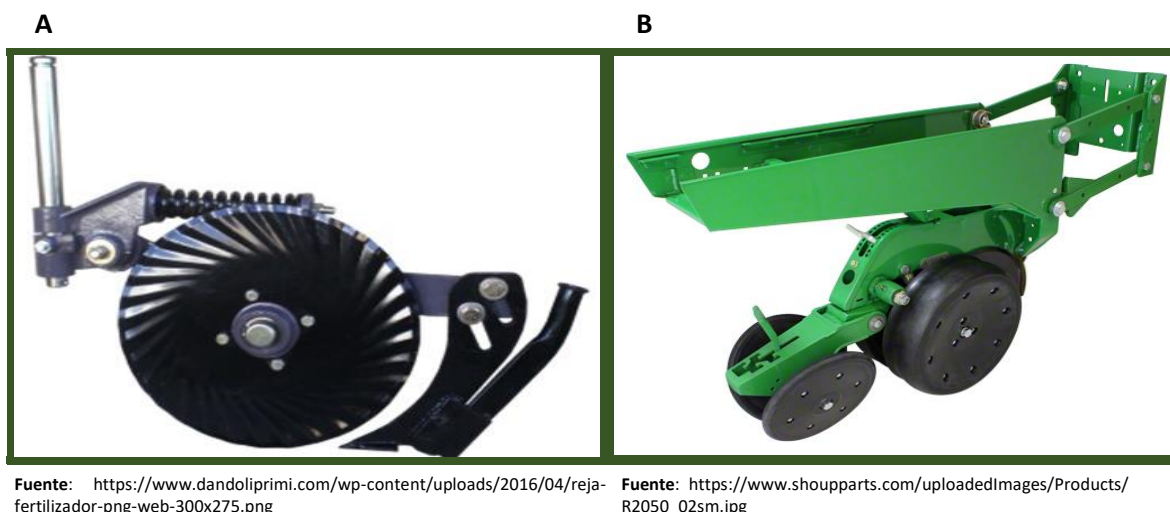


Figura 13. Discos cortadores de rastrojo es sembradoras adaptadas para la cero labranza (A) y elementos para el control de profundidad de la semilla(B).

d. Tratamiento de la semilla

Garantizar la población adecuada o recomendada de plantas en el terreno resulta una de las labores más importantes en la actividad del cultivo de maíz. Al inicio del desarrollo de la semilla existen muchos factores que pueden causar la muerte a las plántulas. Generalmente, la semilla viene tratada con fungicidas que la protegen del ataque de hongos del suelo. El ataque de pájaros, daños por hormigas, daño causado por distintos tipos de insectos a las plántulas (gallina ciega, gusano de alambre, entre otros) y el daño por el complejo de hongos del suelo, los cuales causan una merma considerada en la población inicial del cultivo.

Generalmente, toda la semilla que se comercializa en Panamá viene tratada con

algún fungicida, lo cual la protege de los daños causados por los hongos. Para protegerla de las otras plagas (insectos y pájaros), es necesario el tratamiento de las mismas con algún insecticida. El tratamiento de las semillas protege al cultivo entre 20 y 25 días después de la siembra. Entre los insecticidas que se pueden utilizar para tratar la semilla están el tiodicarbo (Futur 300 SC o Semevin 35 FS) a razón de 20 cc del producto comercial por kilogramo de semilla para protegerla de insectos masticadores, hormigas y pájaros. En el mercado hay tratamientos que incluyen el tiametoxan (Cruiser 350 FS), imidacloprid (Gaucho 70 WS) para proteger la plántula de ataques de insectos chupadores como el *D. maidis* y otros que son la mezcla de tiodicarbo e imidacloprid (Blindage 60 FS) que protegen de ambos tipos de plagas (masticadoras y

chupadoras). Para evitar problemas al momento de la siembra, la semilla debe ser tratada al menos 24 horas antes de iniciar la siembra.

6.4 Manejo de la fertilización en el cultivo de maíz

En comparación con otros cultivos el maíz es exigente en nutrimentos, especialmente nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg) y azufre (S). En la mayoría de los suelos cultivados con maíz en Panamá, no es necesario la aplicación de los elementos menores como cobre (Cu), zinc (Zn), boro (B), hierro (Fe), manganeso (Mn) y molibdeno (Mo), ya sea porque los mismos contienen lo suficiente o porque la demanda de estos elementos es mínima. Un cultivo de maíz que produce $4.0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de grano requiere alrededor de $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N, $18 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P y $68 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de K (Sánchez, 1976). El sistema radical del maíz es capaz de absorber nutrimentos a través de toda la vida de la planta; sin embargo, la absorción decrece durante la última parte del ciclo que corresponde al llenado del grano y a medida que comienza la senescencia de las hojas inferiores.

Es necesario el desarrollo de un Sistema Integrado de Nutrición Vegetal (SINV) basado en estudios de correlación de respuesta de cultivos, teniendo en cuenta tanto el requerimiento de nutrientes (N-P-K), como la contribución de las fuentes de nutrientes internas (suelo) y externas (fertilizantes y enmiendas). Esto prevé un suministro

equilibrado de nutrientes de manera integrada a través de un SINV para el objetivo de rendimiento deseado del maíz (Giri *et al.*, 2017). Seguidamente se presentan las principales necesidades de nutrientes para el cultivo de maíz.

a. Nitrógeno:

El maíz absorbe la mayor parte del nitrógeno en forma nítrica (NO_3), si bien, cuando la planta es joven las raíces pueden tomar del suelo más rápidamente las formas amoniacales. Inicialmente la absorción se hace a ritmo lento, pero cuando se aproxima el momento de la floración la absorción crece rápidamente (Demari *et al.*, 2016). En el primer mes, las necesidades medias diarias de N para el maíz pueden cifrarse en $3 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Llanos, 1984). Deficiencias de este elemento se observan inicialmente como una clorosis marcada en las hojas más viejas de la planta (las que están por debajo de la mazorca); si la deficiencia es severa las hojas llegan a secarse prematuramente (Figura 14A).

b. Fósforo:

El fósforo (P) es absorbido por la planta principalmente como ion ortofosfato primario (H_2PO_4^-), pero también se absorbe como ion fosfato secundario (HPO_4^{2-}), la absorción de esta última forma se incrementa a medida que sube el pH. A través de varias reacciones químicas el P se incorpora a compuestos orgánicos como ácidos nucleicos (ADN y ARN), fosfoproteínas, fosfolípidos, enzimas y compuestos fosfatados ricos en energía como la adenosina trifosfato. Sus funciones varían

desde las reacciones de energía en la planta, transporte de nutrientes, fotosíntesis y transferencia genética (PPI, 1999). Las deficiencias de este elemento causan reducción en el crecimiento y la cantidad de hojas; el crecimiento de la parte superior es más afectado que el crecimiento de la raíz. El principal síntoma de su deficiencia se observa en las hojas que desarrollan un color púrpura en sus bordes (Figura 14B). La cantidad de P extraído por las plantas en condiciones normales de cultivo se acerca a los 10 kg de P_2O_5 por tonelada de grano cosechado (Roy *et al.*, 2006).

Los suelos en Panamá tienen baja disponibilidad de fósforo (P) en el suelo, a pesar del alto contenido de P total (Villarreal *et al.*, 2017). En Panamá los principales órdenes de suelo son los Ultisoles, Inceptisoles, Alfisoles y Andisoles. Estos suelos son ricos en óxidos de hierro y aluminio, con elevada capacidad de fijación de fosfatos, lo que hace muy complejo su manejo (Villarreal *et al.*, 2013). Núñez *et al.*, 2018b encontró en un estudio realizado en suelos dedicados al cultivo de maíz en la región de Azuero, que los inceptisoles de las localidades del norte de la región tienen una capacidad de adsorción de fósforo ($727 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) y energía de retención promedio (0.78) mayor que los suelos Alfisoles e Inceptisoles de las localidades del sur de esta región ($696 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y 0.59). Para suplir las deficiencias de este elemento, en suelos tropicales, la aplicación de dosis altas de P es común. Esto se debe a la alta adsorción de este nutriente en el suelo, lo que resulta en un bajo

contenido de P disponible para las plantas, especialmente en suelos con sesquióxidos predominantes (Fink *et al.*, 2014).

c. Potasio:

El potasio (K) estimula el crecimiento de las raíces, fortalece los tallos, activa las enzimas, controla la turgencia de las plantas, transporta el azúcar y el almidón, ayuda en la formación de proteínas, controla las enfermedades y participa en muchas otras funciones de la planta (PPI, 1987). El contenido de potasio en los tejidos de la planta depende principalmente de su edad. Las plantas jóvenes de maíz pueden tener entre 4 y 6% de K_2O sobre materia seca. En la planta adulta el porcentaje normal disminuye hasta un 2%. La velocidad de absorción del K por la planta es algo superior a la del N. Casi todo el K que necesita el maíz lo toma en los primeros 80 días de la planta. Sin embargo, en el primer mes, la velocidad de absorción potásica es relativamente lenta. La deficiencia de este elemento se observa por un quemado (secado) de los bordes de la hoja (Figura 14C). Como ese elemento es muy móvil en la planta, este se mueve rápidamente del tejido viejo al nuevo, por lo que el síntoma se da principalmente en las hojas viejas.

Es usual aplicar la cantidad total de K en el abono completo justo antes de sembrar. La aplicación dividida de K junto con N puede ser una estrategia útil cuando las pérdidas de K por lixiviación son considerables (como en suelos arenosos con lluvias intensas). El maíz absorbe K en grandes cantidades, pero sólo una

pequeña proporción de la absorción total se elimina con el grano. Si bien el maíz puede obtener cantidades apreciables de K del suelo, es importante asegurarse de que el suministro general sea suficiente para obtener altos rendimientos. El uso de fertilizante K es especialmente importante cuando se utilizan altas tasas de fertilizante N y se esperan altos rendimientos. Las dosis recomendadas de aplicación de K están en el rango de 30 a 100 kg de $K_2O \cdot ha^{-1}$. Cuando los suelos reciben un suministro adecuado de K, se recomienda su aplicación sobre la base del análisis del suelo y el potencial de rendimiento. La cantidad de K extraído por las plantas en condiciones normales de cultivo se acerca a los 25 kg de K_2O por tonelada de grano cosechado (Roy *et al.*, 2006).

d. Azufre:

El azufre (S) es un nutriente vegetal esencial que se necesita para un mayor rendimiento de los cultivos y un mejor valor nutricional. En las últimas décadas, la incidencia de la deficiencia de S ha aumentado y el uso de fertilizantes S puede aumentar constantemente. Esto puede conducir a una utilización ineficaz de S en los cultivos y dar lugar a huellas negativas en el medio ambiente (Aula *et al.*, 2019). El contenido de azufre en los tejidos vegetales es similar al del fósforo. La necesidad del azufre es pequeña comparada con otros elementos principales. Se calcula que una cosecha de $6.5 \text{ ton} \cdot ha^{-1}$ de grano extrae $10 \text{ kg} \cdot ha^{-1}$ de azufre. La deficiencia de este nutriente se observa como una clorosis general o en ocasiones una clorosis intervenal de las hojas más nuevas de

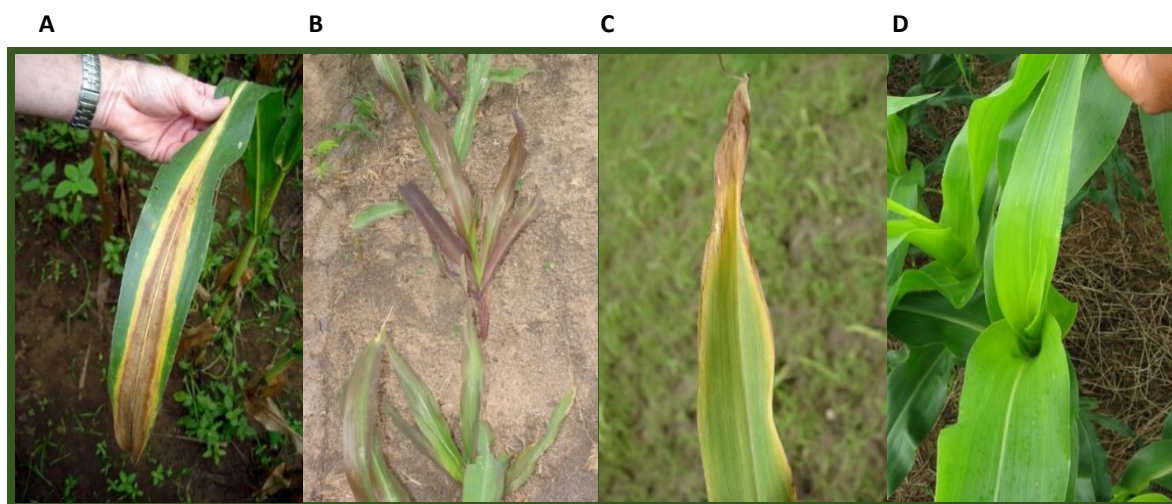
la planta principalmente en el cogollo (Figura 14D).

6.5 Criterios para la aplicación de nutrimentos en el maíz

El programa de fertilidad de suelos del IDIAP, ha diseñado ocho fases en el proceso de investigación a fin de generar información confiable que sirva de base para la interpretación y recomendación de fertilizantes para los cultivos. Con base a esto, se establecieron los niveles críticos de cada uno de los elementos del suelo ubicados en tres grandes grupos, según la respuesta de los cultivos a la fertilización, indicadas en el Cuadro 7 (Name y Cordero, 1987).

Cabe señalar que la relación suelo-planta es dinámica, lo que afecta el nivel de los nutrimentos en el suelo, modificándose de manera constante la cantidad de fertilizante requerido. Lo anterior refleja la importancia de una investigación planificada a largo plazo, de manera que haga posible la correlación entre la solución extractora utilizada, el análisis de suelo y el rendimiento del cultivo, con lo cual se podrán diseñar sugerencias adecuadas en el uso de fertilizantes (Name y Cordero, 1987). Siguiendo este principio, estudios realizados recientemente por Gordón *et al.* (2006a) señalan que el nivel crítico en el suelo para que haya respuesta a la aplicación de fósforo fue de $13.3 \text{ mg} \cdot dm^{-3}$. Es necesario tomar muestras representativas de terreno a cultivar, para luego recomendar las cantidades necesarias del fertilizante para el cultivo.

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA



Fuente:
https://www.tfi.org/sites/default/files/images/3b_n_deficiency_in_corn_ipni.jpg

Fuente:
<https://i2.wp.com/www.lsuagcenter.com/~media/system/f/2/5/6/f2561f80e1948f1594d4f2d5b9adff7d/potassium%20deficiency%20figure%202.jpg.jpg?ssl=1>

Figura 14. Deficiencia de nitrógeno (A), fósforo (B), potasio (C) y azufre (D) en plantas de maíz.

Cuadro 7. Niveles críticos para fósforo, potasio, calcio y magnesio, obtenidos con la solución extractora de Carolina del Norte.

Elemento	Niveles Críticos (mg·kg ⁻¹)		
	Bajo	Medio	Alto
Fósforo	0 - 13.3	13.4 - 54.0	> 54.0
Potasio	0 - 0.11	0.12 - 0.38	> 0.38
Calcio	0 - 2.0	2.1 - 5.0	> 5.0
Magnesio	0 - 0.6	0.7 - 1.8	> 1.8

Fuente: Name y Cordero (1987).

6.6 Respuesta del maíz a los distintos nutrimentos

La fertilidad original en el terreno determina las dosis de nutrimentos para aplicar al cultivo de maíz. Lo primero que hay que hacer es un

análisis de suelo para determinar el contenido de los principales nutrimentos del terreno. Una vez con los resultados del análisis del laboratorio de suelo, se determinará la mejor fertilización para el terreno seleccionado. El IDIAP a través de los años ha realizado

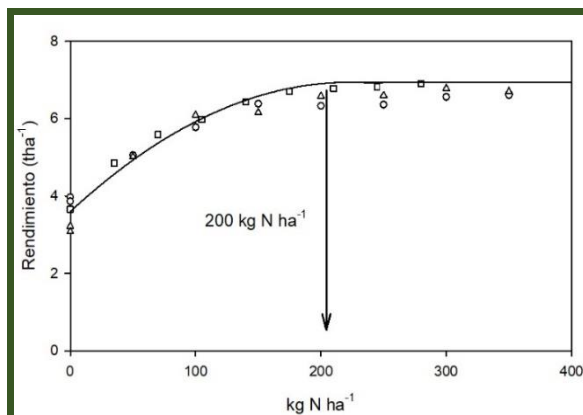
EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

investigaciones para determinar la dosis económica de varios nutrimentos esenciales para el cultivo de maíz en los suelos de la región de Azuero. Gordón *et al.* (2004c), encontraron que el maíz responde a la aplicación de 130 a 200 kg·ha⁻¹ de N (Figura 15A); con relación al fósforo un estudio que abarcó 16 años en un suelo clasificado como Udic Haplustalf indicó que la dosis óptima económica osciló en la aplicación en banda de 30 a 35 kg·ha⁻¹ de P (Figura 15B). En este estudio se encontró que una sola aplicación de P al voleo, incorporada al suelo antes de la siembra, en dosis de 50 a 75 kg·ha⁻¹ de P, tuvieron un efecto residual de cinco a ocho años (Gordón *et al.*, 2016).

En los estudios realizados a través de años en Azuero, se ha encontrado una respuesta a la

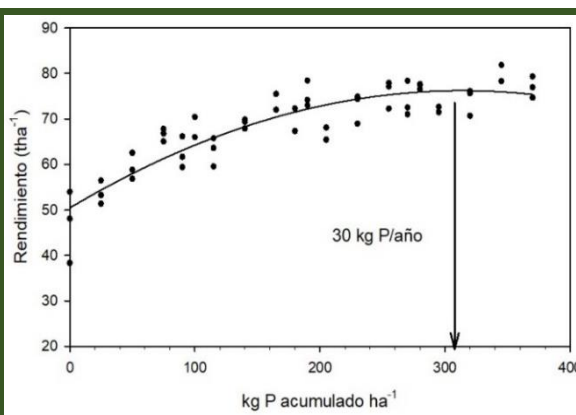
aplicación de azufre. La dosis de este nutrimento que optimiza el rendimiento de maíz ha oscilado entre 20 y 40 kg·ha⁻¹ de S (Gordón y Franco 2008; Gordón *et al.*, 1992b). Estos trabajos indicaron que hay respuesta al azufre tanto en aplicaciones al momento de la siembra como en aplicaciones suplementarias en la etapa de V6 a V7. Por otro lado, trabajos realizados con potasio, indican que no hubo respuesta a la aplicación de K a la siembra, pero sí hubo respuesta aplicándolo fraccionado, la primera a la siembra y la segunda junto a la aplicación del nitrógeno suplementario en la etapa de V11 a V12. El resultado de este trabajo recomienda la aplicación de 20 a 40 kg·ha⁻¹ en total de K (Gordón y Franco, 2010b).

A



Fuente: Gordón *et al.* (2004c).

B



Fuente: Gordón *et al.* (2016).

Figura 15. Respuesta Cuadrática Plateau y Cuadrática del maíz a la aplicación de distintas dosis de nitrógeno (A) y fósforo (B) en la región de Azuero, Panamá.

6.7 Manejo de la fertilización suplementaria

Diversos estudios han mostrado que la eficiencia de absorción de nitrógeno es baja en los sistemas de producción de maíz. En los mismos estudios, se ha encontrado que la eficiencia aparente de uso del N aplicado es del 30%. Trabajos realizados por Gordón *et al.* (1997a) muestran una baja eficiencia de absorción (cerca al 30%), confirmando de esta manera los datos obtenidos anteriormente. Si tomamos en cuenta esta eficiencia de uso, entonces las pérdidas pueden ser parcialmente controladas por el manejo que se da al fertilizante (aplicaciones fraccionadas), por el momento de la aplicación y al controlar la tasa de disolución usando gránulos revestidos (Amado *et al.*, 2017; Paliwal *et al.*, 2001).

Existen varias fuentes de nitrógeno que se pueden usar en la agricultura, entre las que podemos mencionar la Urea (46% N), Nitrato de Amonio (32% N), Sulfato de Amonio (21% N), Urea-S (30% N), Nitrato de Potasio (13%). En Panamá la fuente más popular ha sido la urea. Esta fuente tiene algunas ventajas como son su alta concentración de nitrógeno (46%), alta solubilidad en agua y precio atractivo; y entre sus desventajas está las pérdidas por su aplicación y la acidificación o reducción del pH que produce al suelo por su uso continuo en una parcela.

El nitrógeno aplicado como urea en la superficie del suelo se convierte rápidamente

en NH_3 cuando existe inadecuada humedad, temperatura y presencia de la enzima ureasa. Este NH_3 puede escapar a la atmósfera a través de la volatilización (PPI, 1988). Una gran proporción de esta urea es aplicada a la superficie del suelo al voleo o por bandas. Estas formas superficiales de aplicación de fuentes de N amoniacales pueden conducir a pérdidas considerables por volatilización directa o por escorrentía, y así contribuir a la baja eficiencia de su uso.

Para mejorar la eficiencia de uso de este nutrimento, es necesario fraccionar su aplicación en tres momentos. La primera aplicación es junto al fertilizante completo al momento de la siembra, en esta aplicación se aporta aproximadamente $35 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N. Una segunda aplicación o primera aplicación suplementaria es utilizar urea (46-0-0) cuando el maíz está entre las etapas V6 a V7 (18 y 21 dds) a razón de 91 a 136 kg de urea·ha⁻¹ (42 a 63 kg de N·ha⁻¹). La tercera aplicación (segunda suplementaria) se realiza cuando el maíz esta entre V11 y V12 (32 a 34 dds), a razón de 136 a 182 kg de urea·ha⁻¹ (3.0 a $4.0 \text{ qq} \cdot \text{ha}^{-1}$). Con la distribución del nitrógeno de esta manera, se obtiene un fraccionamiento de aproximadamente 10% al momento de la siembra, 40% en la primera aplicación suplementaria y 50% en la segunda suplementación. La aplicación fraccionada tiene un efecto incremental en el rendimiento de grano y la eficiencia de uso de este elemento en comparación con la aplicación única en la etapa de V10 (30 dds). Si se realiza una sola aplicación, ésta debe hacerla cuando

el cultivo este entre V9 y V11 (29 a 32 dds); y se recomienda hacerla en años que presentan baja precipitación (Gordón *et al.*, 2000b). Es necesario que el terreno tenga buena humedad al momento de realizar las aplicaciones suplementarias de urea.

Otra alternativa para las aplicaciones suplementarias es la aplicación de S junto al N en la primera aplicación suplementaria y del K junto al N en la segunda. Esto se puede lograr aplicando urea con azufre (37.7-0-0-8) a razón de $136 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ($3.0 \text{ qq}\cdot\text{ha}^{-1}$) y de urea con K (30-0-20) a razón de $182 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ($4.0 \text{ qq}\cdot\text{ha}^{-1}$). Estudios realizados por Gordón *et al.* (2006b) para buscar alternativas a las pérdidas por volatilización debido a la falta de humedad al momento de la aplicación de la urea, evaluaron un abono completo tipo químico, con alto contenido de nitrógeno (27-6-3-2-4). Los resultados de este trabajo indicaron que hubo una muy buena respuesta al aplicar este abono en la primera aplicación (17 a 21 dds), pudiendo de esta manera sustituir a la aplicación de urea en esta fase del cultivo, principalmente en años con precipitaciones erráticas. Durante los tres años que duró el estudio, la combinación de este abono (primera aplicación) con la urea (segunda aplicación) resultó ser el tratamiento más estable, en relación a la respuesta del rendimiento de grano, además de, asegurar el mayor ingreso mínimo desde el punto de vista económico, lo que lo convirtió en uno de los manejos más seguros de dicho estudio.

6.8 Fuentes de Nitrógeno de Lenta Liberación

El manejo del nitrógeno (N) bajo condiciones de campo siempre ha sido difícil, debido a las transformaciones bióticas y abióticas de los fertilizantes nitrogenados cuando son aplicados al suelo. Recientemente ha salido al mercado la urea de lenta liberación, esta es una alternativa de nitrógeno no proteico que sirve para reducir la velocidad de hidrólisis de la urea y optimizar de esta forma la fertilización suplementaria del N. Se han implementado varios mecanismos para controlar la liberación de nitrógeno, ajustándolos según los requerimientos de los cultivos, reduciendo las pérdidas, aumentando la eficiencia en su uso y reflejando un incremento en el rendimiento: Los principales mecanismos utilizados son:

- a. Mecanismos de liberación lenta y controlada, logrados a través de la ralentización de la hidrólisis de compuestos solubles en agua de bajo peso molecular. Solubilidad controlada por recubrimientos semipermeables, oclusión, materiales de proteína y otras formas químicas.
- b. Inhibidores de la nitrificación: sustancias que evitan la oxidación biológica de nitrógeno amoniacal en nitrógeno nítrico.
- c. Inhibidores de la ureasa: sustancias que inhiben la acción hidrolítica en la urea por la enzima ureasa.

Resultados de Noellsch *et al.* (2009) muestran un aumento en el rendimiento de grano y la rentabilidad del cultivo de maíz al utilizar fuentes nitrogenadas de lenta liberación. Por otro lado, Barbieri *et al.* (2010) indicaron que, para las condiciones de baja humedad, las pérdidas por volatilización de N amoniacal fueron mayores desde urea normal respecto a la urea con lenta liberación. Sin embargo, no se incrementó el rendimiento del maíz, contenido de N en grano ni la eficiencia del uso del nitrógeno del cultivo de maíz. Por lo tanto, para esta condición con escasas pérdidas de N por volatilización, se determinaron pequeñas ventajas por el empleo de urea de lenta liberación.

En situaciones en donde las pérdidas de N fueran mayores, el uso de estos productos presentaría mayores ventajas respecto de la urea. Gordón y Franco (2009) encontraron que la aplicación fraccionada en dos fechas (V6 y V11) de una fuente de nitrógeno de lenta liberación superó en casi una tonelada el rendimiento de grano en comparación a la doble aplicación de urea. El rendimiento observado para los dos tratamientos fue 5.73 y 4.88 t·ha⁻¹, respectivamente. Esta respuesta se puede explicar debido a lo errático de las lluvias y los problemas de falta de humedad al momento de la primera aplicación suplementaria del nitrógeno, lo que pudo haber favorecido a los tratamientos que utilizaron la urea de lenta liberación y afectando los tratamientos con urea.

6.9 Uso de leguminosas en rotación al cultivo

La utilización de las leguminosas para mejorar la fertilidad de los suelos se realiza desde principios del siglo. La literatura está repleta de documentos que presentan información sobre los beneficios de incorporar leguminosas de cobertura, con el fin de incorporar nitrógeno al suelo mediante la fijación biológica (Sloan, 2000; Diacono *et al.*, 2019; Rahman *et al.*, 2014). La *Canavalia brasiliensis* y la *Mucuna aterrima*, son especies promisorias por su tolerancia a estrés hídrico y rápido crecimiento. Bouldin *et al.* (1989) señalan que se pueden sustituir hasta 170 kg de N, utilizando leguminosas de cobertura; por su parte Martín *et al.* (2007) obtuvo en su trabajo que la incorporación de Canavalia al suelo, previo a la siembra de maíz, produjo un efecto en el rendimiento de maíz equivalente a la aplicación de 158 kg N·ha⁻¹ como fertilizante químico. Se ha logrado determinar que el maíz puede obtener hasta 80 kg de N·ha⁻¹, provenientes de la canavalia (Burle *et al.*, 1992).

El uso de la *Canavalia ensiformis* como abono verde es una alternativa que ha sido estudiada por el IDIAP desde hace varios años. Esta leguminosa se adapta bien al clima y suelo de la Región de Azuero, produciendo en promedio unas 10 ton·ha⁻¹ de materia seca. La incorporación de esta biomasa representa alrededor de 225 kg de N·ha⁻¹, lo cual puede ser aprovechado por el cultivo que se siembre en relevo. La Canavalia además

contribuye a la reducción del crecimiento de las malezas y la misma puede ser consumida por los animales durante la época seca aportando proteína para el ganado. Con un porcentaje de proteína cruda en el follaje de 17 a 24%, 33 a 36% en el grano, y digestibilidad *in vitro* de la materia seca de 62% (Cáceres *et al.*, 1995).

Gordón *et al.* (1997b), realizaron un experimento en donde evaluaron la *Canavalia* en las parcelas en rotación con el cultivo de maíz; en este estudio se incorporó alrededor de 5.95 ton·ha⁻¹ de materia seca de Canavalia, lo que corresponde a 190 kg de N·ha⁻¹. Se encontró que las parcelas en rotación con esta leguminosa superaron a las parcelas sin Canavalia en 1.85 ton·ha⁻¹, lo que representó un aumento de 5.5 veces el rendimiento de las parcelas sin rotación de Canavalia. El análisis económico de este ensayo determinó, que la dosis óptima de N para aplicar en este sistema fue de 39 kg·ha⁻¹, mientras que en las parcelas que no tenían Canavalia en relevo, la dosis óptima fue de 110 kg·ha⁻¹, produciendo un ahorro de 71 kg de N·ha⁻¹. En este trabajo se encontró que el mayor aporte de N al sistema fue provisto por las raíces de la Canavalia y no tanto por la biomasa aérea de la leguminosa. Esto sugiere que la mayoría del N que acumulan las hojas y tallos de las leguminosas, no es aprovechada por el cultivo en rotación.

Por otra parte, las ganancias o respuestas positivas observadas en las parcelas que sólo contenían las raíces, apuntan a que el mejoramiento físico que puede sufrir el suelo, además de la cantidad de N que es fijado durante el crecimiento o desarrollo de las leguminosas; así como, el contenido de N que tienen las raíces, son aprovechados o revierten en mayores beneficios para el cultivo de rotación. Otra explicación posible es que, debido al crecimiento de las raíces de la leguminosa, se incrementa el contenido de micorrizas en el suelo, favoreciendo el mejor desarrollo del cultivo en rotación.

Otra leguminosa evaluada en el Proyecto de maíz del IDIAP en nuestro país es la *Mucuna deeringiana*, la cual está reportada que se adapta mejor en condiciones cálidas y húmedas en áreas donde las lluvias son abundantes (Buckles, 1995). En ensayos realizados por Gordón *et al.* (2002) se obtuvo un aumento en el rendimiento de grano de 4.2 veces en comparación con parcelas sin rotación de mucuna. El análisis de este ensayo determinó que la dosis óptima de N para aplicar en este sistema fue de 69 kg·ha⁻¹. En términos generales, se puede señalar que ambas leguminosas pueden ser utilizadas tanto en labranza de conservación como convencional, ya que no se encontró diferencias significativas entre estos dos métodos de labranza en los cuales la leguminosa se incorpora (convencional) o se deja en la superficie (conservación).

6.10 Diagnóstico de deficiencias de nitrógeno

Las deficiencias del nitrógeno en el cultivo de maíz pueden resultar en síntomas identificables de manera fácil en campo. Las plantas con deficiencia de este nutrimento se observan inicialmente con una clorosis marcada en las hojas más viejas. El síntoma inicia en el ápice y avanza a lo largo del centro de la hoja en forma de “V”; si la deficiencia es severa se observa una senescencia prematura o muerte de las hojas. Por el contrario, plantas que reciben excesiva cantidad de este elemento se tornan de un color verde oscuro. El uso inadecuado de la fertilización nitrogenada aumenta la posibilidad de contaminación con nitratos de las fuentes superficiales y subterráneas de agua (Arumi *et al.*, 2020; Piekielek y Fox, 1992). El realizar recomendaciones de nitrógeno más precisas en cultivos que demandan altas cantidades de este nutrimento como el maíz, se ha ido tornando más importante. Evaluaciones de distintos tipos de metodologías de evaluación de suelo y tejido vegetal para determinar las necesidades de este nutrimento por las plantas se han implementado (Baral y Adhikari, 2015; Šimon, 2011). Estas nuevas metodologías han mejorado considerablemente el manejo del nitrógeno en el cultivo de maíz (Oyebiyi *et al.*, 2019; Binder *et al.*, 2000;). Sin embargo, muchas de estas tecnologías implican un alto esfuerzo debido a la toma de muestras en campo, su posterior procesamiento y análisis de

laboratorio, el cual implica altos costos por reactivos y mano de obra especializada.

El clorofilómetro SPAD-502 (Figura 16A) es un instrumento electrónico que permite la lectura de manera sencilla, rápida y no destructiva en el campo del contenido de clorofila de la planta (Yadava, 1986). Este instrumento utiliza fuentes de luz y detectores para medir la luz transmitida por las hojas de la planta en dos longitudes de onda entre 650 y 940 nm, la cual es procesada y convertida en una lectura digital cuyas unidades de medida se conocen como SPAD del inglés Soil Plant Analysis Development (Piekielek y Fox 1992; Sainz y Echeverría, 1998). Los medidores ópticos *in situ* se utilizan ampliamente para estimar la concentración de clorofila en las hojas, pero la distribución no uniforme de clorofila hace que las mediciones ópticas varíen ampliamente entre las especies para la misma concentración de clorofila. Parry *et al.* (2014) encontraron que no hubo un efecto significativo del medio ambiente en la relación óptica/clorofila absoluta. Estos mismos autores derivaron la relación teórica entre las relaciones de transmisión óptica y la concentración absoluta de clorofila y mostramos cómo la distribución no uniforme entre especies causa una respuesta variable, no lineal. Estos resultados vinculan las mediciones ópticas *in situ* con la concentración de clorofila *in vitro* y brindan información sobre las estrategias para la captura de radiación entre diversas especies.

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

Por otro lado, resultados obtenidos por Marquard y Tipton (1987) y Uddling *et al.* (2007) indican que las lecturas del clorofilómetro SPAD-502 no han diferido significativamente de los otros métodos utilizados en el laboratorio para medir el contenido de clorofila en 12 especies de plantas cultivables. Blackmer *et al.* (1994), determinaron que la reflectancia de longitudes de onda cerca de 550 nm está altamente correlacionada con el rendimiento relativo, lo que se traduce en un método para estimar deficiencias de N en las hojas de maíz, dado que a esta longitud de onda se encontró una alta correlación entre la lectura del clorofilómetro y el contenido de nitrógeno en la hoja. Wood *et al.* (1992), Varvel *et al.* (1997) y Fox *et al.* (2001) demostraron en sus estudios que con el uso del clorofilómetro SPAD-502 se puede detectar con precisión las deficiencias

de nitrógeno en el cultivo de maíz, pudiendo corregir a través de los valores calculados en las distintas etapas que fue utilizado el clorofilómetro (Zotarelli *et al.*, 2003).

Los valores del clorofilómetro en la etapa V6 están relacionados con el estado nitrogenado de las plantas (Piekielek y Fox, 1992; Jeminson y Lytle, 1996). Sin embargo, Blackmer y Schepers (1995) y Bullock y Anderson (1998) han encontrado bajas correlaciones entre los valores del SPAD en las etapas V6 a V7 y el rendimiento del cultivo de maíz, destacando que su uso como herramienta de diagnóstico en aquella etapa tiene un limitado potencial, y éste mejora en etapas fenológicas posteriores. Altas correlaciones entre los valores de lectura del SPAD en la etapa R3-R4 y el rendimiento del cultivo de maíz también han sido informadas por Piekielek *et al.* (1995).



Figura 16. Lectura con el Medidor de clorofila SPAD-502 (A) en la hoja frente a la mazorca (B).

Gordón *et al.* (2004c) tomaron datos del rendimiento de grano, así como lecturas con un clorofilómetro SPAD 502 a los 21, 37 y 65 dds, con el objetivo de encontrar un modelo que permitiera corregir las deficiencias de nitrógeno que presenta el cultivo antes de realizar las aplicaciones de nitrógeno suplementario (urea). Las primeras dos lecturas del clorofilómetro (21 y 37 dds) fueron realizadas en la última hoja verdadera emergida y la última (65 dds) en la hoja de la mazorca (Figura 16B). Estos autores encontraron una baja correlación entre las lecturas del SPAD a los 21 dds con el rendimiento relativo de grano, pero la correlación aumentó en las lecturas realizadas a los 37 y 65 dds, es decir los valores encontrados permiten mejorar la predicción de las deficiencias de nitrógeno en estas dos etapas (Figura 17). De acuerdo a sus resultados, el valor crítico para tomar una decisión de mantener la recomendación original o aumentar la dosis de N al cultivo a los 21 dds está alrededor de las 39 unidades SPAD. En cambio, para los 37 dds este valor osciló alrededor de las 45 unidades. Lecturas por debajo de 56.2 a los 65 dds indican que hubo deficiencia de N, mientras que lecturas por encima de este valor indican que los niveles de N aplicado al cultivo fue la adecuada.

6.11 Programa de fertilización

El uso de fertilizantes en la agricultura es generalizado, existen los denominados abonos completos que en su mayoría

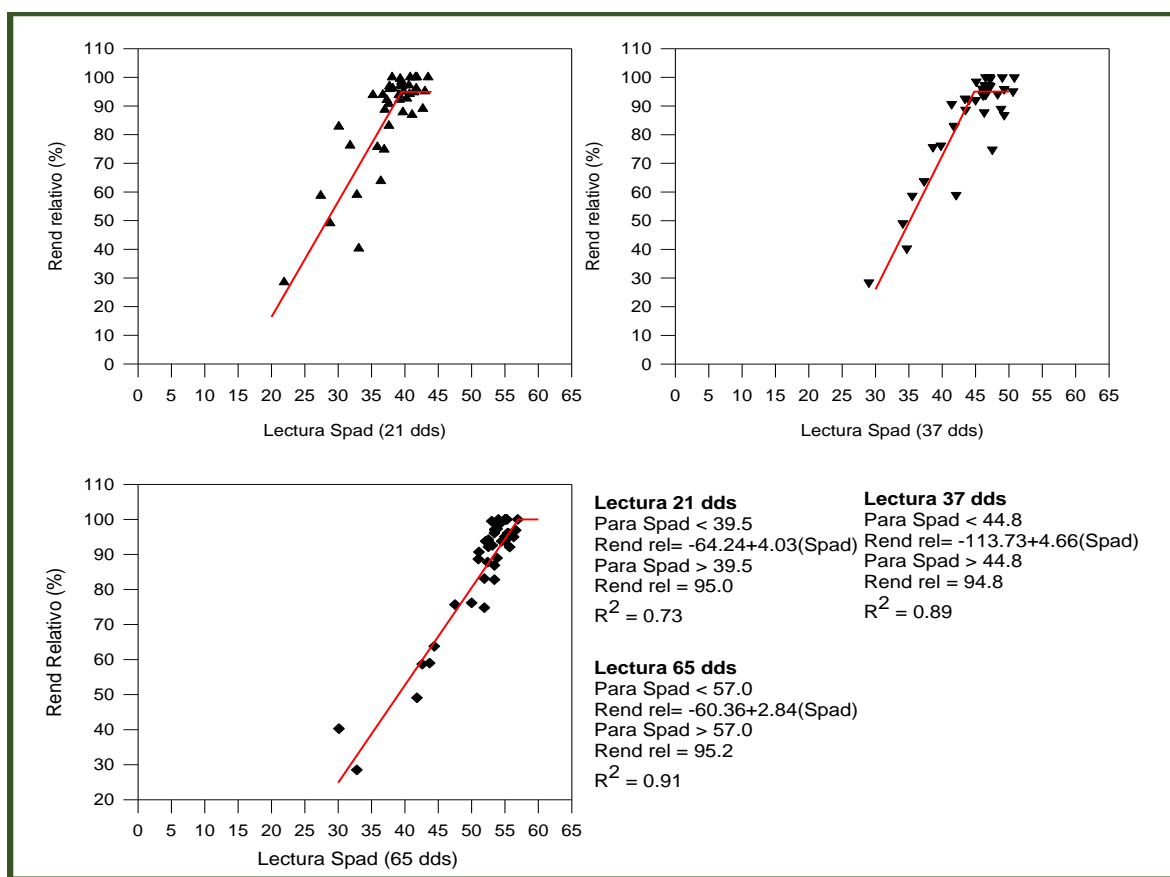
contiene nitrógeno, fósforo y potasio (elementos mayores), otras formulaciones contienen azufre, magnesio u otro elemento menor (Zn, B, entre otros) adicional a estos tres elementos. En el mercado se encuentran las formulaciones denominadas abonos físicos (que resultan de la mezcla física de diferentes fuentes que contienen los elementos mayores y/o menores) y los abonos químicos, que consisten que en la mezcla química en donde cada gránulo contiene todos los elementos mayores y/o menores. Debido a convenios internacionales el fósforo marcado en los Abonos Completos se expresa como P_2O_5 , el potasio como K_2O y solo el nitrógeno, se expresa como contenido o porcentaje de N. Entonces, un abono completo, como el 10-30-10, se diría que contiene 10% de N, 30% de P_2O_5 y 12% de K_2O . El nitrógeno en los Abonos Químicos corresponde al N total, el cual puede estar en forma de NH_2 como en la urea, o en las formas amónica o nítrica. Las plantas absorben el nitrógeno bajo las formas amónica y nítrica, pero al aplicar los fertilizantes en condiciones normales de aireación del suelo, todas las formas nitrogenadas tienden hacia la formación de nitratos. En lo que respecta al fósforo, su solubilidad en los diferentes fertilizantes es variable pero la etiqueta debe indicar la cantidad de fósforo aprovechable por las plantas (Solórzano, 2020).

Entre las formulaciones físicas que se están comercializando en Panamá tenemos el 13-26-10-10, así como el 6-30-4-8 y 6-30-6-8; en cuanto a formulaciones químicas está el 13-

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

26-6-5-7 (N-P-K-Ca-S). Para lograr las necesidades iniciales del cultivo se debe aplicar de 227 a 273 kg·ha⁻¹ (5 a 6 qq·ha⁻¹) de abono completo en banda junto a la semilla. Después de esta aplicación se realiza una primera fertilización suplementaria en la etapa V5 a V6 con la aplicación de fertilizantes a base de nitrógeno y azufre y una segunda aplicación a la etapa V11 a V12 con un fertilizante a base de nitrógeno y potasio. La recomendación del Proyecto de maíz para los sistemas de siembra mecanizada con alta

tecnología consiste en aplicar a la siembra la fórmula 13-26-10-10 y en las aplicaciones suplementarias las fórmulas 38-0-0-8 y 30-0-20, para la primera y segunda aplicación, respectivamente. La dosis a aplicar dependerá de la fertilidad del suelo, si el análisis del suelo indica bajo contenido de materia orgánica se recomienda el nivel alto de fertilizantes, mientras que, si el suelo contiene suficiente materia orgánica y alto contenido de potasio, se puede utilizar el Nivel Bajo de fertilizantes (Cuadro 8).



Fuente: Gordón *et al.* (2004c)

Figura 17. Ecuaciones de la relación de la lectura del SPAD-502 a los 21, 37 y 65 dds con el rendimiento relativo, Azuero, Panamá, 2002.

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

Cuadro 8. Recomendación para la fertilización al momento de siembra y fertilización suplementaria en el cultivo de maíz.

Momento de la aplicación	Fertilizante	Dosis kg·ha ⁻¹	Nivel Alto de fertilizante (nutrimento kg·ha ⁻¹)			
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
A la siembra	13-26-10-10	273	35	71	27	27
V5 a V6 (18 a 21 dds)	37.7-0-0-8	136	51			15
V11 a V12 (30 a 35 dds)	30-0-20	182	55		36	
Total			141	71 (33 P)	64 (36 K)	42
<i>Nivel Bajo de fertilizante (nutrimento kg·ha⁻¹)</i>						
A la siembra	13-26-10-10	227	30	59	23	23
V5 a V6 (18 a 21 dds)	37.7-0-0-8	91	34			7
V11 a V12 (30 a 35 dds)	30-0-20	41	41		27	
Total			105	59 (27 P)	50 (28 K)	30
<i>Nivel Alto de fertilizante (nutrimento kg·ha⁻¹)</i>						
A la siembra	13-26-10-10	273	35	71	27	27
V5 a V6 (18 a 21 dds)	46-0-0-0	136	62			
V11 a V12 (30 a 35 dds)	46-0-0-0	182	84			
Total			181	71 (33 P)	27 (36 K)	27

P₂O₅ = 46% de P; K₂O = 56% K

7. ASPECTOS FITOSANITARIOS DEL MAÍZ

El cultivo debe ser el punto central para el agrónomo; las plagas u otro problema no tienen importancia económica si no afectan la productividad del mismo. Es necesario un entendimiento completo de la fisiología y fenología de la planta, de las relaciones dinámicas entre sus etapas de crecimiento (fenología) y el ataque de la plaga o problema que se presente; así como las reacciones negativas o positivas ante la aplicación de los insumos y el uso de prácticas culturales.

El muestreo periódico en el campo genera información valiosa con respecto a las especies de plagas presentes, su densidad poblacional, las condiciones del cultivo, las variables ambientales y la presencia y actividad de los enemigos naturales. Los métodos de muestreo varían de acuerdo con el cultivo y con su etapa fenológica, así como con las plagas o problemas objetos del muestreo. En el caso de problemas fitosanitarios es importante tomar en cuenta los niveles de daño económicos (NDE), el cual se define como la población de la plaga (insecto, maleza o enfermedad) en el cual el

costo de su control iguala al beneficio económico esperado del mismo. La acción de control salva una parte del rendimiento, que se perdería de no haberse hecho el combate o control.

En el manejo de los principales problemas fitosanitarios ha predominado la prevención debido a la incertidumbre de los agricultores o agrónomos al desconocer información completa y oportuna, por lo cual prefieren “asegurarse” de antemano y aplicar medidas correctivas, mayormente basadas en la aplicación de plaguicidas, para proteger el cultivo. En la medida que se profundiza la práctica del muestreo para conocer en detalle lo que está sucediendo en el campo, se puede tomar una mejor decisión, así se minimiza el aumento del costo de producción (debido al uso excesivo de plaguicidas) y se maximiza el ingreso.

7.1 Muestreo para las observaciones de campo

Para las observaciones generales de la población de plagas (insectos, arvenses y enfermedades) y de la densidad de plantas o las estimaciones de rendimiento, es importante asegurarse de que los puntos de muestreo sean representativos de todo el campo. Con el fin de garantizar que los datos sean típicos, las observaciones o mediciones se efectúan en varios sitios del campo

escogidos al azar. Si deliberadamente se eligen lugares que el agrónomo piensa que son “representativos”, sin duda se introducirán sesgos en los resultados.

Para describir un campo en particular, generalmente se promedian los datos recolectados. Si hay mucha variabilidad en el campo, tal vez convenga efectuar, por separado, mediciones en las distintas partes del campo y estimar el porcentaje de superficie que corresponde a cada clasificación. En todos los campos se debe anotar comentarios sobre la uniformidad del área muestreada para ayudar a interpretar los datos. Una vez que se hayan identificado las áreas afectadas por un problema específico, es necesario hacer en ellas otras observaciones para determinar la causa del problema (Lafitte, 1994).

La Recolección de datos se efectúa usando el Método “Zigzag”; el número de puntos de muestreo por campo comúnmente depende del tipo de datos requeridos; sin embargo, a menudo es aconsejable seleccionar, por lo menos, cinco a ocho sitios distintos. Muchos agrónomos han encontrado que es útil seleccionar los sitios mientras caminan en zigzag a través del campo. Se trata de cruzar el campo en dirección diagonal unas cuatro veces mientras se avanza de un extremo al otro (Figura 18).

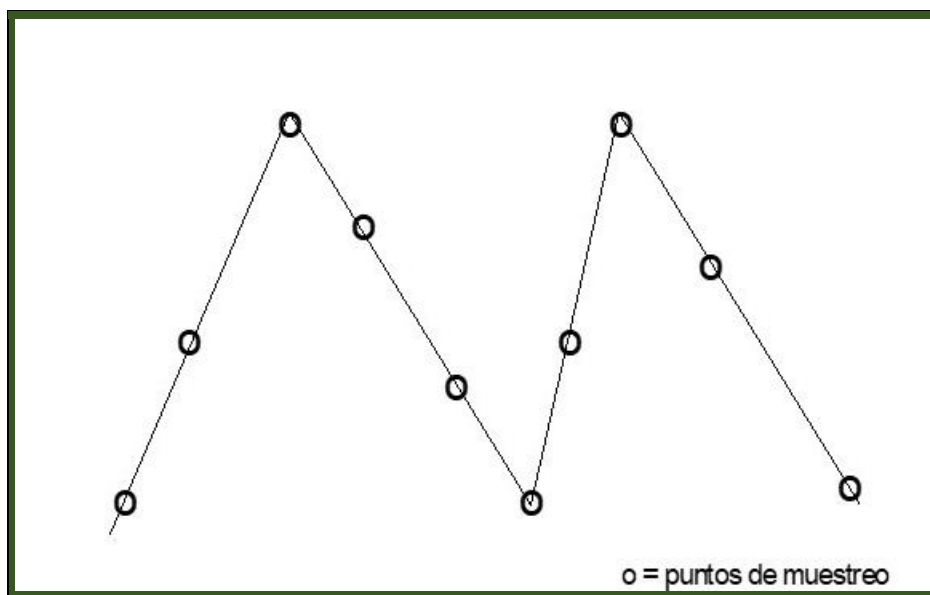


Figura 18. Representación de la dirección del técnico en el campo al realizar muestreo tipo Zig-Zag.

Al seleccionar los puntos de muestreo, el agrónomo debe definir antes de entrar al campo ¿cuál será la distancia entre los puntos?, y hacer las mediciones en la planta que esté más cerca de su pie cuando deje de caminar. Si el maíz está sembrado en surcos, por lo general es más fácil caminar cierto número de pasos a lo largo del surco y luego cruzar un número específico de surcos. Los puntos de muestreo no deben estar a menos de 10 pasos del borde del campo. Si el campo es pequeño o de forma irregular, deberá ajustarse el número de pasos entre cada punto. Lo importante, es no seleccionar deliberadamente áreas buenas o malas, y debe cubrirse por completo el campo. Es esencial no dejar nada a la memoria y llevar una hoja para registrar los datos de los distintos puntos de muestreo (Lafitte, 1994).

7.2 Manejo de las Arvenses en el Cultivo de Maíz

Se consideran como arvenses a todas las plantas superiores, que por crecer junto o sobre plantas cultivadas, perturban o impiden el desarrollo normal, encarecen el cultivo y merman su rendimiento o la calidad (Roschewitz *et al.*, 2005). Las arvenses también son definidas como plantas ecológicamente adaptadas a crecer en las condiciones en que se siembran los cultivos y que, además de no ser objeto directo de las actividades agrícolas, perjudican las cosechas (CATIE, 1990). Esto significa que la mayoría de las arvenses crecen espontáneamente en terrenos agrícolas y no tienen ningún valor de uso para el productor. Se incluyen en la definición de arvenses, aquellas especies de

plantas que, a pesar de no ser sembradas por el agricultor tienen algún valor de uso como refugio para enemigos naturales de las principales plagas de biocidas, medicinales, mejoradoras del suelo, fuente de nuevos cultivos y alimentación para humanos y animales (Blanco, 2016).

Las arvenses interfieren con los cultivos compitiendo con ellos por luz, agua y nutrientes del suelo (competencia) o a través de la producción y excreción al medio ambiente de sustancias químicas tóxicas al cultivo (alelopatía). Algunas pueden también ser hospedantes alternos de patógenos o insectos plagas de los cultivos y de esta forma ejercer un efecto negativo indirecto sobre las cosechas. Por otro lado, muchas especies de arvenses pueden proveer refugio o alimento a los enemigos naturales de las plagas de los cultivos, de suerte que su presencia en la comunidad agrícola es beneficiosa (CATIE, 1990).

a. Biología y Ecología de las arvenses en el cultivo de maíz

El manejo de las arvenses en los cultivos se debe basar en los conocimientos sobre su biología y ecología comparativa, así como las del cultivo. Algunas de estas plantas se asocian con ciertos cultivos porque desarrollan, evolutivamente, características que les permiten aprovechar los nichos ecológicos creados por el hombre al sembrar tales cultivos. Los hábitos de crecimiento y los ciclos de vida de las especies de arvenses se asemejan a los de los cultivos con los cuales

se asocian, dificultando su control. La ecología comparativa de las arvenses y los cultivos provee de los instrumentos básicos para conformar programas para su manejo; y en los que las diferencias bio-ecológicas entre ellas (arvenses vs cultivo) se aprovecha para minimizar la competencia de las arvenses y favorecer el desarrollo del cultivo.

Al analizar los elementos que participan en la dinámica poblacional de una arvense vemos que la producción de semillas, su almacenamiento y conservación en el suelo son etapas críticas de su biología que determinan su potencial de competencia con el cultivo. Los métodos de manejo deben dirigirse a esas etapas críticas en la vida de las arvenses. En los siguientes puntos se mencionan las principales arvenses que en nuestro país compiten con el maíz:

i. *Rottboellia cochinchinensis*

Esta poácea o gramínea anual, es originaria de la India y se le conoce con muchos nombres comunes tales como manisuris, caminadora, paja peluda, tuquito, entre otros. Está distribuida en la mayor parte de las zonas tropicales del mundo y algunas zonas templadas. Se ubica desde el nivel del mar hasta 2,500 m de altura y en variados tipos de suelos. Puede alcanzar un desarrollo entre 1 y 4 m de altura. Las hojas llegan a medir hasta 60 cm de largo por 3 cm de ancho y sus vainas están recubiertas por vellosidades o pubescencias que irritan la piel (Figura 19A). Se reproduce a través de semillas originadas en una espiga en la cual se presentan

espiguillas sésiles (fértiles) y espiguillas pediceladas (estériles). Las semillas de 6 a 7 mm de largo (Correia, 2016). Germinan de manera escalonada debido al fenómeno de latencia, que está relacionada con sustancias inhibitoras de la germinación y con la consistencia coriácea de la cubierta seminal que impide el intercambio gaseoso. Las semillas una vez que rompen la latencia, emiten al término de 4 a 5 días el coleóptilo, dando lugar al desarrollo vegetativo (Lindeman, 1986). El macollamiento se inicia aproximadamente en la tercera semana (cuando la maleza tiene cinco hojas).

En las etapas más tempranas, la planta produce de una a cinco macollos por día y continúa por 44 días, hasta que alcanza en promedio 100 macollos. La floración es notoria por la elongación de los entrenudos superiores y la separación de los macollos secundarios del tallo principal. Posteriormente, ocurre la formación de la hoja bandera y eventualmente la emergencia de la punta de la inflorescencia. Las espiguillas emergen 15 días después y la polinización se hace efectiva 4 a 9 días después de la formación. La maduración de la semilla puede apreciarse por el cambio de color verde a marrón de la porción de la espiguilla que se desprende. Las primeras 12 espiguillas suelen separarse dos a cuatro días después de la aparición de la inflorescencia, las siguientes caen dentro de las dos semanas posteriores. El período de maduración de las espiguillas toma un mes (Lindeman, 1986). Altas infestaciones de esta maleza pueden reducir

el rendimiento del maíz hasta en un 80%. Además de la competencia con el cultivo, la caminadora es hospedante alterno del virus del rayado fino del maíz (CATIE, 1990).

ii. *Cyperus rotundus*

Esta arvense es conocida como pimentilla, coyolillo, cebollín y muchos nombres más, pertenece a la familia de las Cyperaceas, es considerada entre las más importantes, por lo difícil de su control, sus altas poblaciones, hasta de 20 millones de plantas por hectárea y el desarrollo de tubérculos y bulbos basales que le permiten una activa propagación. En campos infestados con esta maleza, el uso del arado o la rastra contribuyen al proceso de su dispersión y propagación.

El tallo erecto, de sección triangular, posee en la inflorescencia racimos de espigas de color rojizo a café púrpura (Figura 19B). Los tubérculos poseen entre 3 y 10 yemas colocadas en espiral y pueden originar nuevas plantas o rizomas. Estos rizomas en estado joven son blancos y blandos, pero al madurar se vuelven ásperos y de color café. El bulbo basal es un tallo disciforme (forma de disco) y produce una planta o un brote aéreo y raíces y rizomas subterráneos. Los rizomas se presentan en forma de cadena. Las raíces adventicias nacen de la parte inferior del bulbo basal y de los tubérculos (CATIE, 1990). La emisión de rizomas se da a los 15 días, la formación de bulbos basales entre 15 y 20 días y la brotación de los mismos se da ente 20 y 25 días. A los 27 días la planta emite el tallo floral, a los 31 días ocurre la floración y a

los 36 días la maduración. El peso seco de las estructuras subterráneas es superior al peso seco de las partes aéreas entre 60 y 90 días, observando con ello una gran capacidad fotosintética de esta especie (Gamboa y Vandermeer, 1980). La especie *C. rotundus* exhibe algunas características fisiológicas importantes:

- Posee un proceso fotosintético C_4 , caracterizado por alta fijación de CO_2 , respuesta de altas temperaturas e intensidad lumínica, por lo que el sombreado le afecta en su desarrollo.
- Los tubérculos se mantienen en latencia a lo largo de la cadena del rizoma, por lo que, al romperse por medios físicos, mecánicos u otros, se anula la dominancia apical y se estimula el brote de los tubérculos.
- Temperaturas superiores a $45^{\circ} C$ o inferior a $0^{\circ} C$ inhiben el brote de tubérculos.
- Bajo condiciones de inundación el tubérculo no germina, pero se mantiene latente por mucho tiempo.
- Los tubérculos que se exponen al sol o a un ambiente seco se deshidratan y mueren.
- En condiciones de suelos húmedos y pesados, su crecimiento y desarrollo es óptimo, no así en suelos livianos y en condiciones de baja humedad.

El *C. rotundus* compite con el cultivo de maíz u otros debido a que produce un retardo del crecimiento y desarrollo inicial de las plántulas del cultivo (alelopatía). Compite con el cultivo por la obtención de nutrientes, principalmente por el nitrógeno, además compite por agua. Los estudios realizados muestran que los primeros 20 días del desarrollo del maíz, son críticos cuando existen altas poblaciones de esta maleza. En Colombia se ha determinado que la competencia de la pimentilla con el maíz durante todo el ciclo redujo el rendimiento del cultivo en 40%, lo cual puede ocurrir de manera similar en Panamá.

iii. *Sorghum* sp.

Es una planta perenne, los tallos de tipo erectos miden hasta 2.00 m de alto, y salen de rizomas de color morado, con escamas, sin ramificaciones; los mismos son glabros, sólidos y de nudos aplanados, en nuestro país es conocida como sorgo de alepo o sorguillo. Las hojas son planas, estrechas en la base, anchándose hacia el centro, con orillas aserradas y una vena central ancha de color más claro que la hoja. Las vainas son más cortas que los entrenudos, glabras o con el collar pubescente; la lígula es una membrana rígida ciliada en la parte superior y pubescente en la parte de atrás (Figura 19C). La inflorescencia es solitaria y terminal en forma de pirámide (generalmente el ancho es un tercio del largo); la ramificación es verticilada.

Las espiguillas se presentan de uno a cinco pares pegadas a las ramitas; la desarticulación ocurre en la base de cada entrenudo y en el ápice del pedicelo. Tiene espiguillas sésiles y pediceladas. Se produce por rizomas y semillas. En ocasiones se usa como forraje, pero si es afectada por una sequía u otra condición se vuelve venenosa por lo que animales (cerdos, caballos y vacas) pueden envenenarse debido al cianhídrico o hidrocianina. Es una planta hospedera del hongo *Pyricularia oryzae*, causante del añublo del arroz y de la mosquita de la panoja del sorgo (*Contarinia sorghicola*) plaga importante del sorgo.

iv. *Baltimora recta*

Hierba anual de la familia Asteraceae conocida como cervulaca, cirulaca; de tallo angulado en cuatro caras, erecto, delgado y ramificado de 0.50 a 2.50 de altura. Las inflorescencias tienen racimos terminales o, más a menudo, panículas grandes con flores de color amarillo. Se propaga por semilla sexual y desarrolla poblaciones muy densas en áreas en barbecho y cultivo (Ortiz *et al.*, 2001) (Figura 19D).

v. *Ipomoea sp.*

Enredaderas anuales de la familia Convolvulaceae conocida como batatilla. De tallo cilíndrico, herbáceo y trepador. Las hojas pueden ser, ovaladas a casi circulares o acorazonadas. Las flores son grandes y acampanadas, solitarias de color lila. Se propaga por semilla sexual (Alarcón *et al.*, 2016). Su hábito trepador dificulta su control. Se torna en problema al final del periodo del

cultivo, llegando a causar graves problemas al momento de la cosecha (Figura 20A).

vi. *Cleome viscosa*

Es una planta anual perteneciente a la familia Capparaceae y conocida como Cleome, lechosa, botón amarillo, entre otros; con distribución tropical y subtropical. *C. viscosa* es una especie de hojas alternas, compuestas palmeadas con tres o cinco folíolos obovales. Son portadas por un peciolo de 2 a 5 cm de largo. La totalidad de la planta está cubierta de pelos glandulares. Las flores son solitarias, de color amarillo. El fruto es una cápsula lineal, dehiscente. El porte es erecto. La planta es robusta y abundantemente ramificada desde la base, con ramificaciones secundarias ascendentes. Puede medir de 30 a 90 cm de altura (Singh *et al.*, 2015) (Figura 20B). Esta arvense se encuentra ampliamente difundida en muchas áreas maiceras, es de reciente introducción y con los años ha venido tomando más importancia económica. A pesar de ser considerada una planta que compite con el cultivo, existen diversos estudios que indican que puede ser considerada para su cultivo, ya que tiene propiedades farmacéuticas, medicinales, control de insectos y otros usos más (Saroop y Kaul, 2015; Gupta y Rao, 2012; Maikhuri *et al.*, 2000).

vii. *Eleusine indica*

En una gramínea anual o perenne, de raíces fibrosas conocida como pata de gallina. Los tallos son aplanados y ramificados con pocos o ningún pelo en los bordes y son carnosos en la base. Los tallos tienden a postrarse, pero

pueden crecer erguidos. La base del tallo es de color blanquecino o verde pálido. Las hojas pueden medir hasta un pie de largo y generalmente no tienen pelo, pero pueden ser ligeramente pubescentes (presencia de pelos) en la base. Las hojas están aplastadas o dobladas lateralmente. Está presente una lígula membranosa de dientes cortos. La inflorescencia se compone de 2 a 13, espigas aplanadas, brillantes en forma de dedos que emergen de un punto común. Cada espiga se compone de dos filas de espiguillas sésiles pudiendo producir hasta 140,000 semillas por planta (Boyd *et al.*, 2016). El fruto es una vesícula y se propaga por semillas (Figura 20C). Es considerada una arvense de importancia mundial y presenta resistencia a la aplicación de herbicidas como paraquat, glifosato y glufosinato, lo que la ubica como de difícil

control (Sinuraya *et al.*, 2019; Tampubolon *et al.*, 2019; Jalaludin *et al.*, 2017).

viii. *Amaranthus spinosus*

El bleo es una planta anual o perenne de la familia Amaranthaceae. Es de vigoroso crecimiento, erecta o ligeramente decumbente, de hasta 1.5 m de altura. Tallo robusto, a veces rojizo, generalmente ramificado, anguloso, glabro o cada vez más provisto en la parte superior (especialmente en la inflorescencia). Hojas glabras o finamente pilosas en la superficie inferior de la nervadura primaria, pecíolos de hasta 9 cm de largo, ramificada (Paniagua *et al.*, 2020). Las plantas jóvenes son fácilmente destruidas con el control manual. Se tornan en un serio problema al momento de la cosecha (Figura 20D).

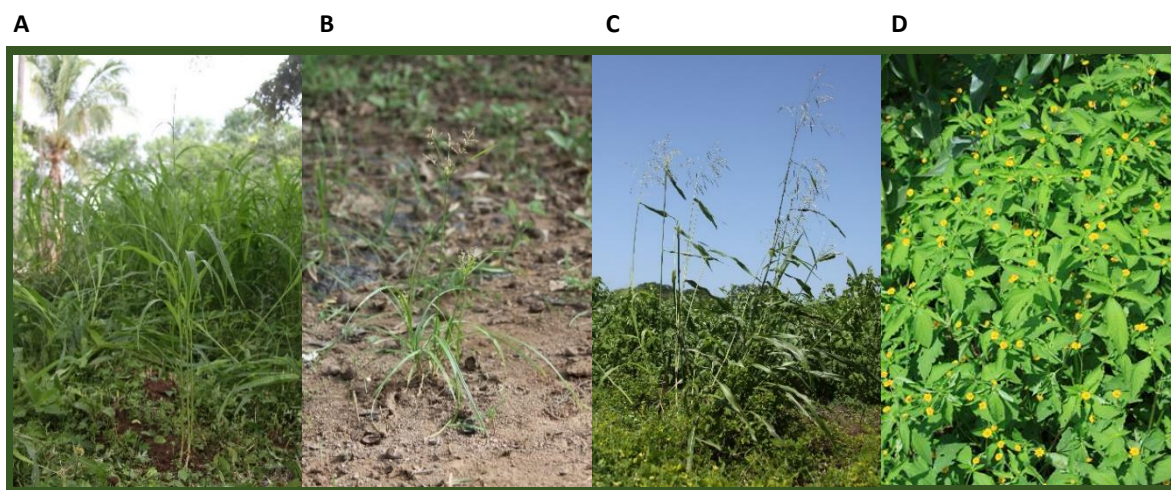


Figura 19. Algunas de las principales malezas del maíz como lo son *R. cochinchinensis* (A), *C. rotundus* (B), *Sorghum* sp. (C), *B. recta* (D).

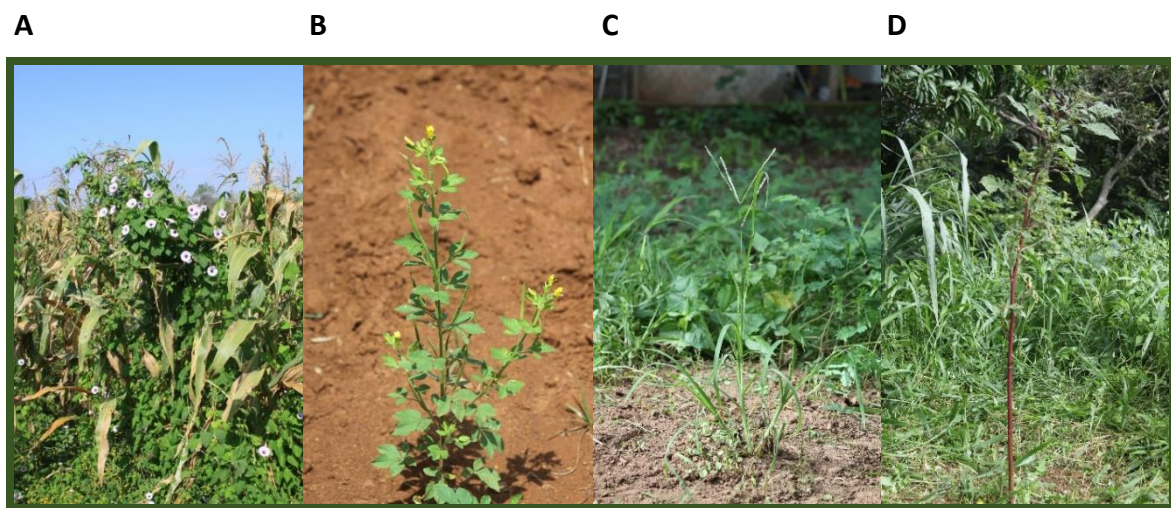


Figura 20. Algunas de las principales malezas del maíz como lo son *Ipomoea* sp. (A), *C. viscosa* (B), *E. indica* (C) y *A. espinosus* (D).

b. Manejo de malezas en el maíz

Las malezas compiten con el maíz durante su crecimiento, especialmente en los primeros 30 días. Su manejo ocupa una gran cantidad de mano de obra en la producción del maíz del pequeño agricultor, incrementando su costo; además de restarle tiempo para atender otras actividades productivas. La deshierba o control mecánico se hace generalmente con machete o azadón en promedio de dos a tres limpiezas a lo largo del ciclo del cultivo y su eficacia varía mucho de acuerdo a la maleza presente y los factores agroclimáticos.

i. Control Biológico:

El control biológico es poco conocido y la escasa especificidad de estos organismos sobre las malezas no garantiza en el corto plazo ventajas substanciales de dicho método sobre los otros. Al introducir un organismo a

un nuevo ecosistema se presenta el riesgo de que estos organismos puedan causar daño al cultivo o que provoquen daños ecológicos a plantas nativas valiosas. El potencial existe y de hecho, ya se dan algunos casos exitosos comprobados en otras latitudes.

ii. Control cultural:

Este método considera el uso de semilla de maíz de buena calidad, seleccionada para la región, así como un manejo de la fertilización y control de plagas adecuado para permitir un desarrollo vigoroso del cultivo. La densidad de siembra debe ser óptima para lograr una buena población de plantas de crecimiento vigoroso y obtener a tiempo una buena cobertura del suelo. Además, se requiere una oportuna fertilización nitrogenada, dado que este nutrimento puede ser crítico en la expresión de la competencia de la maleza hacia el cultivo. Otra práctica cultural consiste

en la siembra en asocio y/o relevo de cultivos, lo que contribuirá a una mayor cobertura y sombreado de la maleza, como lo es el uso de la leguminosa *Canavalia ensiformis*.

Para el control de malezas es fundamental el uso de semilla de maíz de buena calidad, libre de contaminación con semillas de malezas como la *R. cochinchinensis*. Este es un requisito obligado de la semilla certificada, aunque es aplicable a cualquier categoría de semilla. Las plantas de pimentilla que sirven como fuente de contaminación en el próximo ciclo del cultivo, deben ser eliminadas de los bordes de carreteras, bordes de canales de riego, campos cultivables y terrenos en barbecho. Es conveniente que la maquinaria proveniente de un lote infestado de pimentilla o manisuris, sea limpiada adecuadamente para impedir el traslado de tubérculos en los terrones y agregados del suelo.

iii. Control mecánico:

El control manual, en su mayor parte, lo utilizan pequeños agricultores y los de escasos recursos. El control de malezas mediante el uso del arado y rastra, resulta efectivo cuando se hace a fines de la época lluviosa y/o se repite durante la época seca con una frecuencia de cada 10 a 15 días, con lo cual se exponen a la desecación los tubérculos de pimentilla al quedar en la

superficie. En el caso de la manisuris, debido a que esta germina abundantemente con las primeras lluvias, se recomienda esperar de 10 a 15 días después, para realizar la preparación del campo (CATIE, 1990). También está la alternativa de las escardas o destrucción física de las malezas con el uso del cultivador mecánico que se adapta al tractor. Hay diversos tipos de cultivadores que realizan varias funciones como el aporcador que simultáneamente destruyen las malezas; se encuentra también el de muelles que solo destruye las malezas. Esta práctica puede realizarse entre la etapa V2 a V6 y representa es una forma física de control no química (Figura 21).

iv. Control químico:

Este es un método muy frecuente en el manejo de malezas. El uso de herbicidas en aplicaciones de pre o post emergencia al cultivo y/o las malezas es el más común, implementando controles posteriores de tipo manual o mecánico complementarios. En general, el control de las malezas se realiza con herbicidas al nivel de medianos y grandes productores. Para casi todo el complejo de malezas del maíz existe un manejo conocido. Sin embargo, algunas especies como *R. cochinchinensis*, *C. rotundus* e *Ipomoea*, se consideran claves y requieren un manejo especial por su habilidad para competir y difícil que resulta su control (CATIE, 1990).



Figura 21. Cultivador de muelles para controlar malezas en el cultivo de maíz entre V2 a V6.

c. Herbicidas a utilizar en el control de malezas

En el Cuadro 9 se mencionan una serie de herbicidas que aplicados solos o en mezclas;

pueden ser usados en pre o post emergencia al cultivo y/o malezas.

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

Cuadro 9. Ingredientes activos recomendados para el control de malezas en el cultivo de maíz.

Nombre Común	Nombres Comerciales	Dosis g i.a./ha	Formulación	Forma de aplicación
atrazina	Gesaprim, Atrazid, Atrazina, Atraflex, Atralaq, Atranex, Crisazina, Limpiamaiz, Panazina, Rayo, Rimac Atrazina, Sanazina	1,000 a 2,500	Líquida: SC Sólida: WG, WP	Aplicar antes de que germine la maleza (pre-emergente). También se puede aplicar cuando el cultivo tenga 3 a 4 hojas; las malezas de hoja ancha no más de 3 a 5 hojas y las gramíneas no más de 1 a 2 hojas Tipo de malezas: Hojas anchas, algunas hojas angostas
pendimentalina	Prowl 500, Prowl Agua, Crezendo, Garra, Herlam, Pendico, Pendimentalina, Pentagon	1,000 a 1,500	Líquida: EC, CS	Aplicar en pre-emergencia total al cultivo y a las malezas. Puede aplicarse en preemergencia o en post emergencia temprana, tanto al cultivo como a las malezas. La formulación Prowl Agua no se debe aplicar en el maíz que ha emergido
nicosulfuron	Accent 75 WP, Nikosam, Campo Nico, HelmNicofur, Nlcoforte, Nicosulfuron, Primero, Sharda Nicosoh,	40 a 52.5	Líquida: SC, OD Sólida: WG	Post emergencia cuando la maleza se encuentre entre 2 a 5 hojas o tenga 10 cm de altura. Es importante que el maíz esté entre V4 a V6 (4 a 6 hojas verdaderas)
halosulfuron	Sempre, Permit, Panium, Flagship, Halofor, Sultronic	37.5 a 75	Líquida: SC Sólida: WG	Aplicación total en post-emergencia al cultivo y a la maleza (<i>C. rotundus</i>). Aplicación en crecimiento activo, durante la etapa de 3 a 4 hojas verdaderas y una altura de 10 a 15 cm
bentazon	Basagran 48 SL, Bentagransolo, Bentarroz, Bentax, Bentazona, Bentover, Block, Boiler, DKZona, Spartazone,	960	Líquida: SL Sólida: SP	Post-emergente a la maleza, cuando esta tenga de 2 a 4 hojas verdaderas o altura de la maleza 5-7cm Controla las malezas de hoja ancha y maleza de propagación por rizomas (<i>C. rotundus</i>). Aplicar a partir que el maíz esté en la etapa V2 a V3
Topramezone	Convey 33.6 SC	33.6 a 50.4	Líquida: SC	Controla malezas de hoja ancha y angosta. Es absorbido por hojas, raíces y tallos y traslocado sistémicamente en la planta. Aplicar en post-emergencia cuando la maleza tenga de 1 a 8 hojas verdaderas (hojas anchas) y de 1 a 3 hojas verdaderas (hoja angosta). Aplicar cuando el maíz está entre V2 a V4.
glifosato	Round-up, Rival, Glifosato, Pilarsato, Fersato, Pilaround, Rimaxato, Tornado	1,000 a 1,500	Líquida: SL Sólida: SG, WG	Pre emergencia total al cultivo, post emergencia total a la maleza. Controla malezas de hoja ancha y angosta
2,4-D amina	2,4-D, Dicopur, Marman, Fullmina, Galloper	500 a 960	Líquida: SL	Aplicar en post-emergencia cuando el maíz tenga de 15-25 cm de altura (maíz en V2 a V8), se debe evitar aplicar sobre las plantas de maíz cuando este tenga más de 25 cm de altura. Controla malezas de hoja ancha y <i>C. rotundus</i>
saflufenacil	Heat, Saflufenacil	21 a 40	Sólida: WG	Realizar una aplicación en post-emergencia sobre la maleza emergida de una altura no mayor a 20 cm. La aplicación deberá ser entre los surcos y dirigida a la maleza
picloram	Browser, Freno, Navajo, Refuerzo, Picloram, Weedfire	24 a 30	Líquida: SL	Selectivo de malezas de hoja ancha, El control es más efectivo en malezas en crecimiento activo. Se puede aplicar cuando el maíz está entre V2 a V8.

SC = Solución concentrada; EC= Concentrado emulsificable; CS = Cápsulas en suspensión; OD = Suspensión en aceite; SL = Concentrado soluble; WG = Gránulos dispersable; WP = Polvo mojable; SG = Gránulos solubles; SP = Polvo Soluble.

7.3 Manejo de Insectos y Ácaros en el Cultivo de Maíz

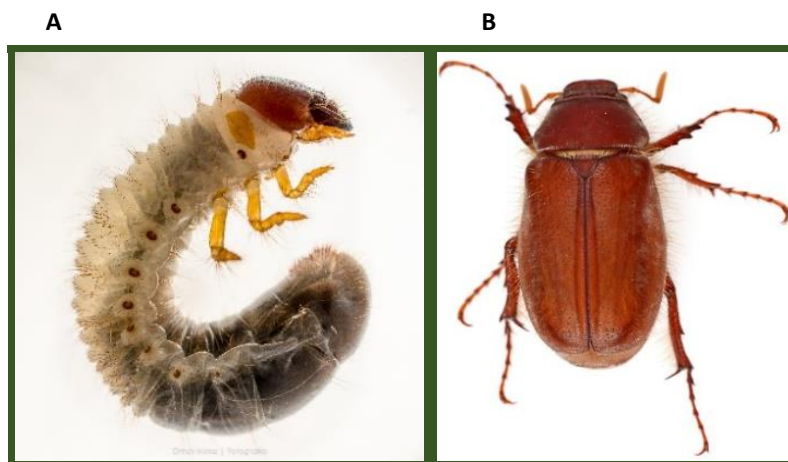
En este documento no se aborda el tema sobre los insectos plagas potenciales en el cultivo de maíz, ya que los mismos están considerados de poco interés económico, debido a las bajas poblaciones que se presentan. Sin embargo, este manual resalta que el uso inadecuado de algunas prácticas; así como el uso excesivo de algunos plaguicidas, ha puesto presión a las poblaciones existentes de algunos de los insectos; de tal manera, que de plagas secundarias se transforman en plagas claves. Más adelante se presenta información general y muy resumida sobre los principales aspectos relacionados con la biología y ecología de los insectos de mayor importancia que pueden atacar el cultivo de maíz en Panamá.

a. *Phyllophaga* spp.

Este insecto es considerado como una de las principales plagas del suelo. Varias especies de *Phyllophaga* se alimentan de material vegetativo en descomposición y solo unas pocas constituyen plagas de las raíces de las plantas. Existen especies tanto de ciclo anual como bianual, lo que complica las medidas de control. Esta plaga pertenece al orden Coleoptera, familia Scarabaeidae.

Ciclo de Vida: Huevo blanco perlado, de forma ovoide a esférica, mide 2.5 mm, en posturas de 10 a 14, colocados bajo la cobertura de pastos o malezas. El estado larvario tiene una duración de 8-24 meses dependiendo de la especie, pasando por tres estadios, longitud de 25 a 40 mm, cuerpo en forma de "C" de color blanco cremoso, cabeza prominente de color café amarillento, mandíbulas fuertes, patas traseras peludas y desarrolladas (Figura 22A). Las larvas empupan en una celda que hacen en el suelo. La pupa es café claro. Los adultos, de mediano a grandes, color café oscuro a naranja café. Emergen y vuelan poco después de las primeras lluvias y son atraídos fuertemente por la luz artificial (Figura 22B). Se aparean al atardecer y se posan en las hojas anchas de ciertos árboles o arbustos en donde se alimentan (King y Saunders, 1984).

El daño lo producen las larvas en el tercer estadio y se manifiesta en el campo en forma de parches o manchas, generalmente en los meses de junio a octubre, con ciertas variaciones. El control para las especies de ciclo bianual se basa en la preparación del suelo o labranza con arada profunda y varios pases de rastra, realizado en época seca o lluviosa. En especies de ciclo anual este método parece poco efectivo, ya que, se ha comprobado una mayor oviposición y mayor daño del insecto en labranza convencional que en mínima o labranza cero (CATIE, 1990).



Fuente:
<https://www.flickr.com/photos/moraomar/30069647631/>

Fuente:
<https://bugguide.net/images/cache/DH4/H1H/DH4H1H5HJHQL9ZGLBZILNZ5LWZILUZILZRILZR6H3HMLFHGL9ZNH9HCH7HFH9HDH8HOHGZGZGHRPHAZPHJH4LWZ4L.jpg>

Figura 22. Larva (A) y adulto (B) de *Phyllophaga* sp plaga conocida como gallina ciega.

El control químico consiste en aplicaciones preventivas, realizadas poco antes o al momento de la siembra con insecticidas granulados al suelo; otros insecticidas recomendados son formulaciones líquidas, para el tratamiento de las semillas. En el control biológico de este insecto hay una potencial alternativa que es el uso del nemátodo *Neoplectana grasevi* en asocio con la bacteria *Bacillus popilliae*, causante de la enfermedad lechosa de la gallina ciega. Existen otros enemigos naturales como depredadores y parásitos, pero su acción no ha sido estudiada, ni cuantificada.

Se han usado trampas de luz artificial para atraer los adultos y realizar una matanza nocturna; incluso se ha usado fuego con el

mismo fin. La destrucción de malezas por laboreo o herbicidas meses antes de la siembra puede ayudar a reducir los daños. A pesar de ser una plaga problema, no se ha logrado controlar adecuadamente, reducir los daños, ni determinar con exactitud su aparición, esto último debido a que en algunas ocasiones se traslapan las poblaciones de especies anuales y bianuales.

b. *Dalbulus maidis*

Este insecto está distribuido en el sur de los Estados Unidos, Centro y Sur América y el Caribe. Habita desde el nivel del mar hasta 2,000 msnm. Aparentemente, este insecto está restringido a plantas del género *Zea* y su importancia está relacionada con su forma de alimentación (chupador) y con su capacidad

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

de transmitir enfermedades distintas con sintomatologías parecidos, que constituyen limitantes de la producción de maíz en la vertiente Pacífico Central de Centro América. Es un insecto que pertenece al orden Hemiptera, familia Cicadellidae.

El ciclo de vida está compuesto por tres fases; los huevos aparecen colocados en hileras pegadas de hasta ocho huevos, son ovopositados entre las venas de las hojas del cogollo y algunas veces entre las láminas de las hojas jóvenes, el período de incubación es alrededor de 9 días. La ninfa, de color amarilla translúcida, pasa por cinco estadios que en promedio duran 19 días. Su hábitat más frecuente es el cogollo de las plantas (Figura 23A). La longevidad de hembras y machos es de 44 y 22 días, respectivamente (Valarezo *et al.*, 2009). Se alimenta de las bases de las hojas del cogollo, entre las hojas o del tallo en

la parte inferior de la planta. El adulto mide de 3 a 4 mm, es de color amarillo paja, con dos manchas redondas de color negro sobre el vértice de la cabeza; alas delanteras translúcidas (Figura 23B).

Los adultos y ninfas chupan la savia de la base de las hojas y pueden causar amarillamiento. Son vectores de varios patógenos entre ellos el espiroplasma CSS (Corn Stunt Spiroplasm), micoplasma MBS (Maize Bunchy Stunt) y virus del rallado fino (VRF), todos causantes de la enfermedad conocida como achaparramiento del maíz. A menudo viven en colonias en las que están en todos los estadios. La severidad del daño dependerá de lo temprano que ocurra la inoculación, y condicionado por el manejo dado a la enfermedad. Las siembras tardías junto a condiciones de sequía favorecen el ataque de la plaga.

A



Fuente: <https://www.grupocultivar.com.br/ativemanager/uploads/galeria/4029a-cigarrinha-no-milho.jpg>

B



Fuente: <https://entomologia.net/dicciona/maidis.jpg>

Figura 23. Adultos en el cogollo y adulto amplificado de *Dalbulus maidis*.

En cuanto a control biológico, existen parasitoides como *Agonotopus bicolor*, que atacan adultos y ninfas; por otro lado, se ha reportado el parasitismo de huevos por *Anagrus virlai* y *Anagrus columbi* (Becerra, *et al.*, 2020). Es necesario revisar los cultivos regularmente durante los dos primeros meses de crecimiento en áreas con una historia de plaga y enfermedad especialmente en las siembras de enero a julio. El control de esta plaga debe realizarse antes de la etapa V6, ya que, la transmisión de la enfermedad en esta etapa tiene un impacto más severo en el rendimiento. Para el control de esta plaga, se puede tratar la semilla con un insecticida a base de tiametoxan o imidacloprid, o bien, aplicando el imidacloprid en aplicación directa al suelo a un costado de la planta “Drench” a la base de la planta.

c. *Spodoptera frugiperda*

Esta plaga es considerada universal, pertenece al orden Lepidoptera, familia Noctuidae, su importancia es variable, ya que, ciertas áreas son más susceptibles al daño que otras. El daño lo inicia la larva joven haciendo ventanitas en las hojas (Figura 24A). Las larvas grandes se alimentan vorazmente del cogollo haciendo agujeros grandes e irregulares, dejando como huella, abundante excremento (Figura 24B). El cultivo es afectado en todas sus etapas, al nivel de plántula como cortador (Figura 24C), al llenado del grano como gusano de la mazorca y en todas las etapas ocasionalmente corta y agujerea los tallos. La flor masculina puede ser dañada hasta resultar en una disminución del contenido de polen, que incidirá en la producción.

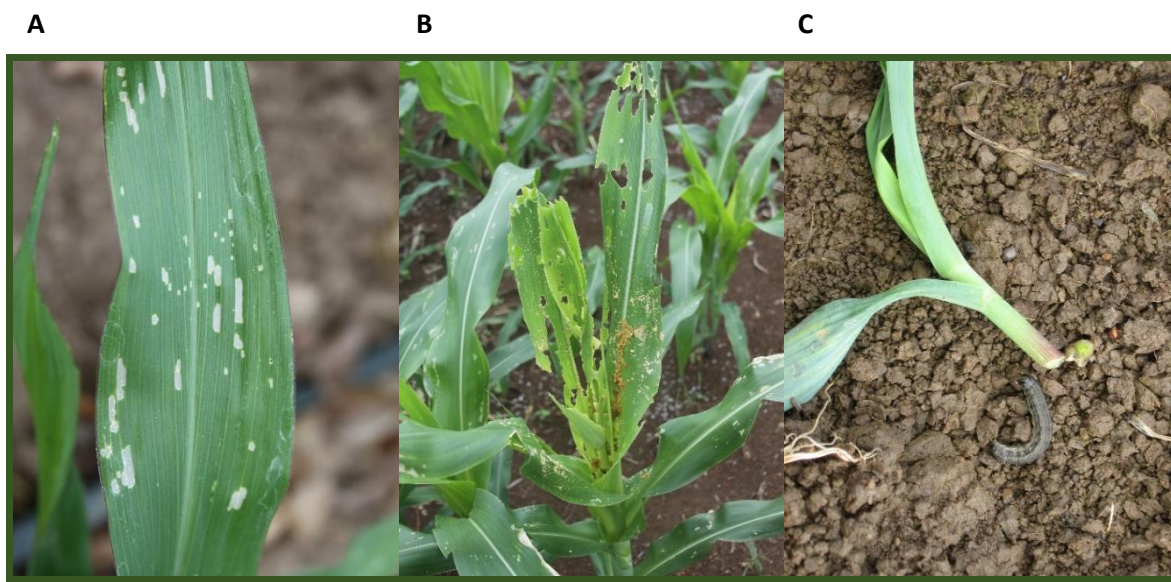


Figura 24. Daños ocasionados por las larvas de *S. frugiperda* en el cultivo de maíz. Daño inicial (A), ataque severo al cogollo (B) y ataque como cortador (C).

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

Entre los hospederos alternos importantes se encuentran el sorgo, pasto elefante, pasto Guinea, faragua y Jonhson. Otros hospederos de importancia son el frijol, maní, ajonjolí, papa, cebolla, pepino, repollo, tomate y camote. Esta plaga que anteriormente se consideraba como una sola especie, en realidad corresponde a dos especies o subespecie, una de las cuales afecta el arroz y otras gramíneas, mientras que la otra afecta el maíz (Hruska, 2019).

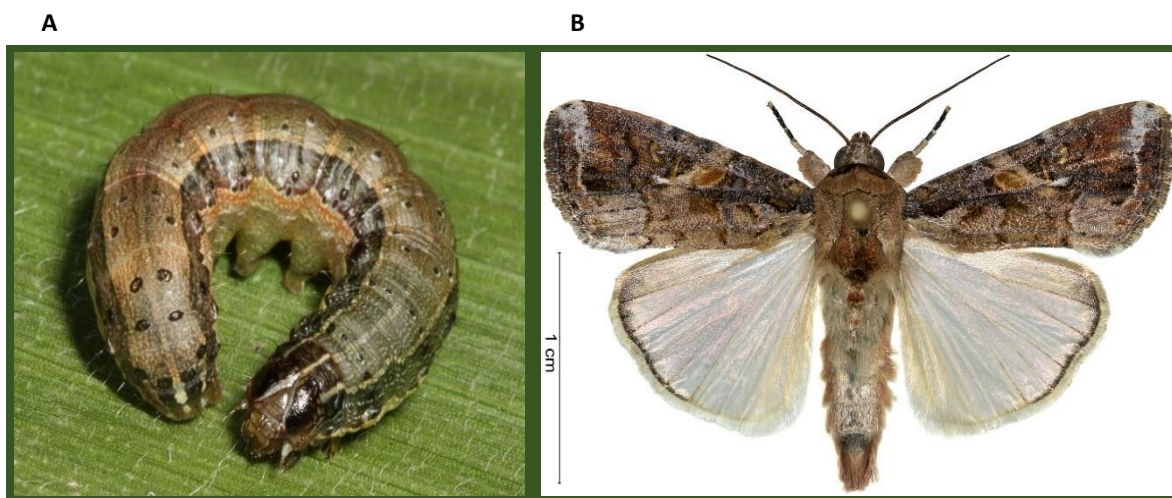
Ciclo de vida: Los huevos son colocados en grupo de hasta 300, en cualquier parte de la superficie foliar, cubiertos con escamas grises rosadas del abdomen de la hembra en oviposición, lo que le da una apariencia de pelusa. La larva pasa por 5 a 6 estadios dependiendo de la temperatura y del tipo de alimento. Los primeros estadios son de color verde con manchas y líneas negras dorsales; después cambian a verde con líneas espiraculares y dorsales negras, café beige o casi negra; con una “Y” invertida en la cabeza, pináculos dorsales negros y cuatro puntos negros en Cuadro “:.” sobre el último segmento abdominal (Figura 25A) (Shylesha *et al.*, 2019; Lestari *et al.*, 2020).

Cuando las larvas recién eclosionadas emigran a los cogollos, el canibalismo las reduce a una o dos por planta. En estadios avanzados, pueden comportarse como gusano soldado, pasando a otras gramíneas u otros cultivos. Empupan en el suelo y raras veces en las hojas de las plantas hospederas. El adulto tiene una longitud de 32 a 38 mm, la

hembra con alas delanteras de gris a café gris, el macho es de color beige, con marcas oscuras y rayas pálidas en el centro de las alas; las alas traseras son blancas (Figura 25B).

Como alternativas de tipo cultural para el control del gusano cogollero se considera la uniformidad en la fecha de siembra para evitar reinfestaciones, siembras de altas densidades en compensación por la mortalidad causada a las plántulas, fertilización adecuada. El uso de labranza mínima y/o labranza cero reducen el ataque de esta plaga. El control químico, como alternativa inmediata del agricultor, se fundamenta en el uso de insecticidas aplicados al suelo antes o a la siembra y la de aplicar insecticidas al cogollo.

Como enemigos naturales se han detectado los depredadores *Polybia* spp, *Doru taeniatum*; el nemátodo *Hexameris* sp, los parásitos braconidos *Aleiodes laphygmae* y *Chelonus insulares*, ciertos tachinidos (*Lespesia archippivora*). Así mismo, el uso del virus de la poliedrosis nuclear (SfMNPV), y hongos como *Beauveria bassiana*, *Nomurea rileyi*, representan un potencial en el manejo de este insecto (Hruska, 2019). El uso de niveles críticos confiables para iniciar el control, aún no ha tenido éxito aplicable para prevenir el daño. Sin embargo, se utiliza el criterio de controlar la plaga cuando la planta tiene menos de ocho hojas y hasta 15% de infestación, o bien, más de ocho hojas y entre 25 y 30% de infestación.



Fuente:
<https://www.sanbi.org/wp-content/uploads/2018/10/armyworm-1-650x488.jpg>

Fuente:
<https://asset-pdf.scinapse.io/prod/2545650606/figures/figure-1.jpg>

Figura 25. Larva (A) y adulto (B) de *S. frugiperda*.

d. *Helicoverpa zea*

El daño es hecho por la larva que ataca las mazorcas de maíz y destruye los granos y puede ser muy severo en los maíces dulces y en los harinosos. La presencia de este insecto favorece la infección de las mazorcas por patógenos de la pudrición. Este insecto es de distribución universal. Los adultos son polillas robustas de 35 a 40 mm de envergadura alar. Las alas anteriores son de color pajizo verdoso o color marrón; las alas posteriores son pálidas con los bordes oscuros.

Las hembras ponen un huevo en los estambres del maíz, los que eclosionan en tres o cuatro días. Las larvas recién nacidas se alimentan en el canal del estambre hasta que llegan al extremo de la mazorca y comienzan a comer los granos (Figura 26A). Por lo general, en razón de su canibalismo una sola larva llega al extremo de la mazorca. Las larvas completan su desarrollo entre 14 y 25 días y llegan a medir 40 mm de largo; su color varía del rosado al marrón claro o verde con marcas longitudinales amarillas o rojas y caen al suelo para transformarse en pupas (Figura 26B) (Paliwal *et al.*, 2001).

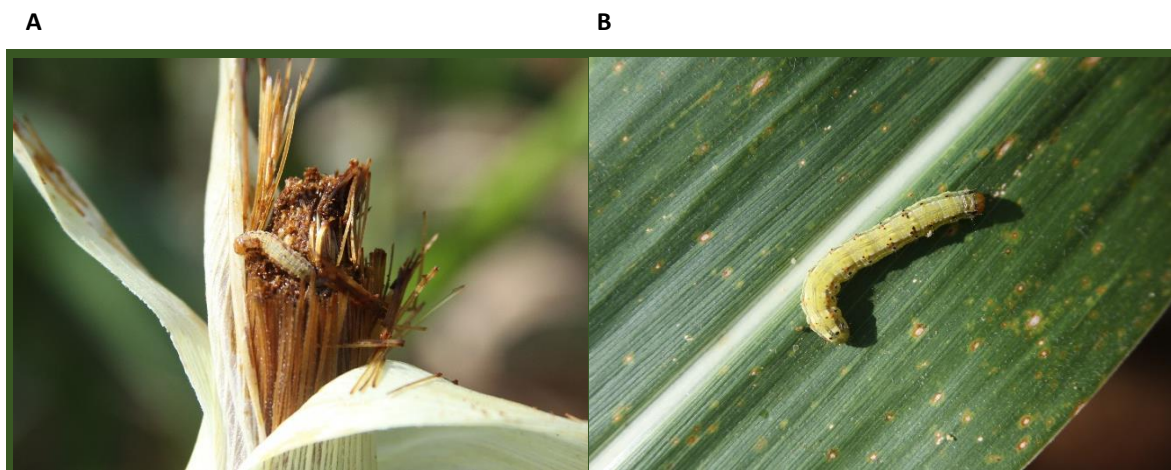


Figura 26. Larva de *H. zea* comiendo los estigmas de la mazorca (A) y larva extraída de una mazorca de maíz (B).

e. *Diatraea saccharalis*

Los barrenadores de tallo en el cultivo de maíz es una plaga que poco se ha estudiado en Panamá; sin embargo, su importancia ha crecido los últimos años. Debido a que sus daños no son visibles a simple vista, requiriendo el corte de tallos para ver la magnitud del daño, muy poca importancia se le ha venido dando a estos. Hay varias especies del género *Diatraea* en nuestro país, entre los cuales está *D. grandiosella*, *D. lineolata* y *D. saccharalis* entre otros. El adulto de *D. saccharalis* presenta las alas anteriores de un color marrón amarillento a pajizo, siendo en los machos más oscuros; además, poseen una hilera diagonal de puntos color marrón más o menos marcados en las alas anteriores, y en reposo pliegan las alas a manera de techo a dos aguas.

Según Liceras *et al.* (2007), los huevos son colocados en masas de 17 a 27 huevos por

masa, y son de superficie lisa, de forma oval, achatados, de color blanco amarillento (cuasi transparentes). Cuando son recién ovopositados; presentan variaciones en el color durante el desarrollo del embrión. Las larvas son de color amarillento blancuzcas con manchas pardas (Peairs y Saunders, 1980) (Figura 27A). Estas al nacer se dirigen hacia la axila, entre el tallo y las vainas de las hojas. Después de 2 o 3 días atraviesan las vainas que envuelven el tallo y se ubican entre ésta y la caña, quedando protegidas detrás de la vaina hasta cumplir alrededor de una semana. Posteriormente, comienzan a penetrar en el tallo, donde desarrollan el resto de su vida larval produciendo galerías (Figura 27B). Presentan cinco estadios larvales comprendidos en un período de alrededor de 25 días, dependiendo de las temperaturas reinantes. Entra en un estado de diapausa o estado fisiológico de inactividad física como larva, principalmente en raíces y la base del

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

tallo de plantas hospedantes, y fundamentalmente en los tocones de rastrojos de maíz y sorgo.

Cuando el ataque se produce sobre una planta joven, las larvas pueden dañar el brote terminal provocando su muerte (Figura 27C). Otro daño causado por estas larvas, al dañar el meristemo apical dentro de la planta, es provocar el ahije o presencia de hijuelos improductivos (Figura 27D). En plantas con tallos más desarrollados, el efecto es directo por la construcción de galerías, provocando una disminución del rendimiento de la planta al cortar los haces vasculares y disminuir la conducción de foto asimilados a la espiga (Fava *et al.*, 2004). Los efectos indirectos son el quebrado de plantas desde la fructificación a la cosecha, ingreso de diversos patógenos;

siendo la pudrición del tallo la enfermedad más común, así como las mermas durante la cosecha por caída de las mazorcas como consecuencia del barrenado del pedúnculo y base de las mismas.

El tratamiento químico de *Diatraea* en maíz debe realizarse antes de que las larvas penetren en el tallo, ya que cuando están dentro del mismo resultará inútil cualquiera aplicación. Esto significa que el tiempo disponible para realizar las aplicaciones de insecticidas sea muy breve, por lo cual no es recomendado el control químico por ser ineficiente. El control biológico es el método más utilizado para controlar los barrenadores en otros cultivos en Panamá, siendo el parásito *Cotesia flavipes* el más utilizado en caña de azúcar.

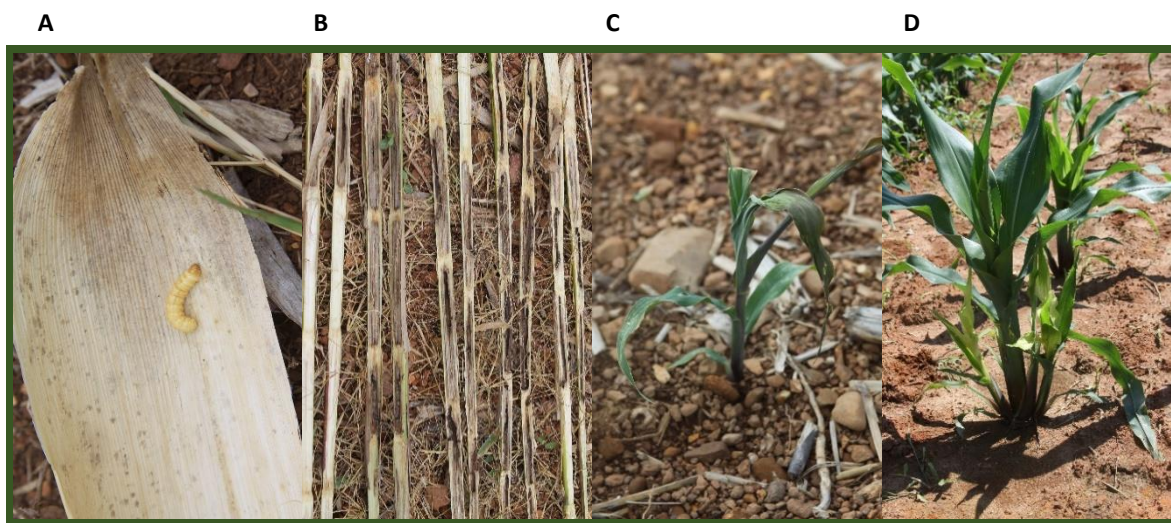


Figura 27. Larva de *D. saccharalis* (A), tallos barrenados (B), muerte de plántula barrenada (C) y planta con hijuelos (D) debido al ataque del barrenador del tallo.

7.4 Manejo de enfermedades en el cultivo de maíz

La incidencia y severidad de las enfermedades en el maíz están relacionada con las condiciones climáticas del área y del manejo dado al cultivo. La lluvia, temperatura y humedad relativa son condiciones que benefician al cultivo, pero también favorecen el desarrollo de hongos y bacterias; por lo tanto, el manejo que se le brinde al cultivo lo condicionarán para que resista o muestre susceptibilidad al ataque de las principales enfermedades en la zona que se esté desarrollando la actividad.

Entre un gran número de patógenos que están presentes en las distintas áreas de producción de Panamá, las pudriciones ocasionadas por los hongos *Diplodia* y *Fusarium* son una de las enfermedades que más afectan al maíz. Además de éstas, el achaparramiento que es causado por un grupo de patógenos, tiene un fuerte impacto en algunas épocas de siembra en la región de Azuero, así como lo es el complejo de la Mancha de asfalto en otras regiones del país. Otras enfermedades como las causadas por los hongos *Physoderma*, *Bipolaris*, *Curvularia* suelen presentarse de manera intermitente a través de los años.

f. Hongos foliares

En la región de Azuero se presenta una diversidad de hongos que causan poca merma económica en el cultivo. Esto es debido a que la mayoría de estos hongos se presenta

después de la etapa R2 en las hojas por debajo de la mazorca; rara vez las manchas causadas por los distintos patógenos se presentan de manera significativa en las hojas superiores. El hongo *Physoderma maydis* produce una enfermedad fungosa que a través de los años ha tomado mayor importancia en la región de Azuero. La presencia de pequeñas manchas amarillentas (oblongas o redondas) en la nervadura de las hojas y en la base del tallo son los síntomas iniciales (Figura 28A). Luego, éstas se tornan de color café, que es su color característico del síntoma, luego se observa en los tallos de la planta (Figura 28B), así como una clorosis en las hojas infectadas. Condiciones de alta humedad relativa, precipitación y temperatura conducen a un mayor desarrollo de la enfermedad (Robertson *et al.*, 2015). Las medidas de control de esta enfermedad se basan principalmente en el uso de cultivares resistentes, así como la eliminación de los residuos de cosecha (APS, 1980).

La mancha foliar por *Helminthosporium* es causada por *H. maydis*, la cual se manifiesta en pequeñas lesiones ovales alargadas en las hojas bajas. Las lesiones progresan avanzando paralelas a la nervadura central y toman una coloración parda y forma de huso (Figura 29). Posteriormente, las lesiones aumentan de tamaño y cubren buena parte de la lámina foliar produciendo quemazón prematura de las plantas (Varón y Sarría, 2007). Otro hongo que se encuentra en muchos campos cultivados de maíz es la *Curvularia* sp., el cual produce manchas

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

pequeñas necróticas o cloróticas con una aureola de color claro (Figura 30A). El diámetro de las lesiones, cuando están completamente desarrolladas, es de aproximadamente 0.5 cm. Dicha enfermedad está generalizada en las zonas maiceras cálidas y húmedas, donde puede causar considerables daños a los cultivos (CIMMYT, 2004).

El maíz es afectado por varias especies de royas, siendo la más frecuente la roya común causada por varios hongos como son *Puccinia*

sorghii y *P. polysora*. La especie *P. sorghii* se manifiesta principalmente en las hojas, se presenta en forma de pústulas circulares o elongadas de color pardo o amarillentas, esparcidas sobre las hojas y cuando esporulan se tornan de color café, rojizas o casi negras (Varón y Sarría, 2007). Por otro lado, las pústulas de *P. polysora* son más pequeñas que las de *P. sorghii* y son más pequeñas, de color más claro (anaranjadas) y más circulares (CIMMYT, 2004). La infección generalmente se inicia en las hojas bajas (Figura 30B).

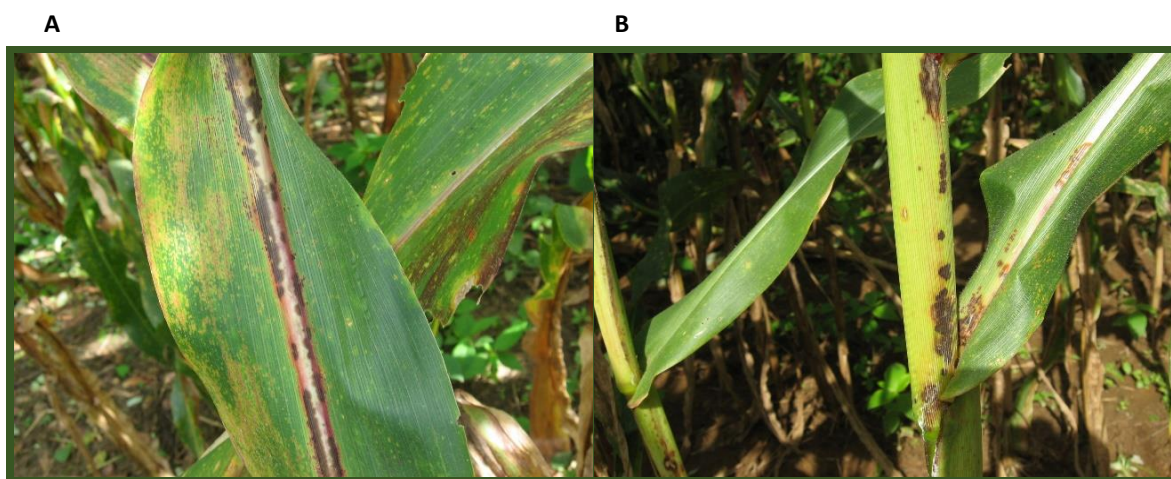


Figura 28. Síntomas en las hojas (A) y tallos (B) de maíz causados por *P. maydis*.



Figura 29. Hojas presentando síntomas causados por *H. maydis* en el cultivo de maíz.

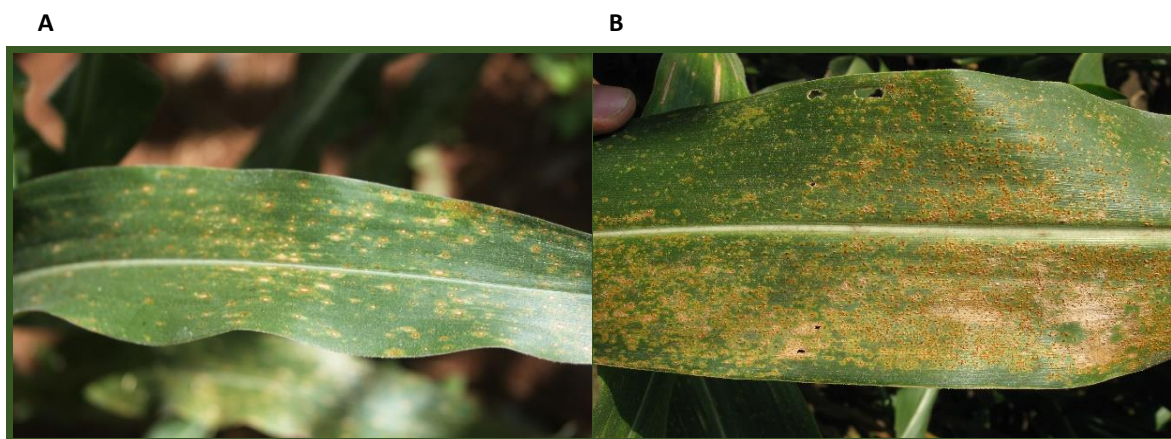


Figura 30. Hojas presentando síntomas causados por *Curvularia* sp. (A) y *Puccinia* sp. (B) en el cultivo de maíz.

g. Mancha de Asfalto del maíz

El complejo de la mancha de asfalto es una enfermedad que afecta al cultivo de maíz, es causada por el ataque de tres hongos *Phyllacora maydis*, *Monographella maydis* y *Coniothyrium phyllacorae* (Hock *et al.*, 1995; Pereyda *et al.*, 2009). Es una enfermedad que ocurre con mayor frecuencia en zonas frescas y húmedas de los trópicos, especialmente en lotes cercanos a las riberas de los ríos, o en suelos con nivel freático alto, pesados o con tendencia al encharcamiento (Varón y Sarría, 2007; CIMMYT, 2004). Esta enfermedad es favorecida por temperaturas entre 17 y 22° C, con una humedad relativa superior al 75% (Guzmán *et al.*, 2014; RED SICTA, 2011). *M. maydis*, y *P. maydis* forman el “complejo mancha de asfalto; este complejo favorece el desarrollo de tejido necrótico alrededor de la mancha de asfalto.

Las lesiones necróticas pueden llegar a fusionarse y provocar la quemadura

completa del follaje (Figura 31). Las lesiones causadas solo por *M. maydis* son circulares y miden entre 5 y 6 cm de diámetro (CIMMYT, 2004). El otro hongo asociado *C. phyllacorae*, es un hiperparásito de los hongos anteriores, que le confiere una textura ligeramente áspera al tejido necrótico (Pereyda *et al.*, 2009). Los síntomas iniciales son pequeños puntos negros ligeramente elevados o abultados, que se distribuyen por toda la lámina foliar. La infección progresa rápidamente diseminándose hacia las hojas superiores y plantas vecinas; si la enfermedad aparece en etapas muy tempranas (antes de la floración) entonces las mazorcas pierden peso y los granos se observan chupados, flácidos y flojos. Para el manejo de este complejo de hongos se recomienda la rotación de cultivos y la incorporación de rastrojo dañado para reducir el inóculo inicial y así prevenir el inicio de la enfermedad en el próximo ciclo de siembra; debido a que las esporas de este hongo permanecen viables en el residuo de

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

cosecha del año anterior (Groves *et al.*, 2020).

La fertilización nitrogenada debe ser la adecuada, evitando el uso excesivo del nitrógeno. La fecha de siembra suele ser una estrategia para promover el escape de las plantas a la inspección y también se debe evitar las altas densidades de plantas, ya que, estas propician el desarrollo de la enfermedad (Quiroga *et al.*, 2017). En otros países, donde la enfermedad es endémica, se

recomienda el uso de germoplasma tolerante o resistente, el muestreo constante de la plantación para detectar síntomas iniciales de la enfermedad en campos con antecedentes de la enfermedad. La aplicación de fungicidas como azoxystrobin más ciproconazol, propiconazole, ciproconazol, difenoconazol antes de la floración cuando el cultivo está en la etapa V10 a V11 es una medida que ha sido recomendada en algunos países.

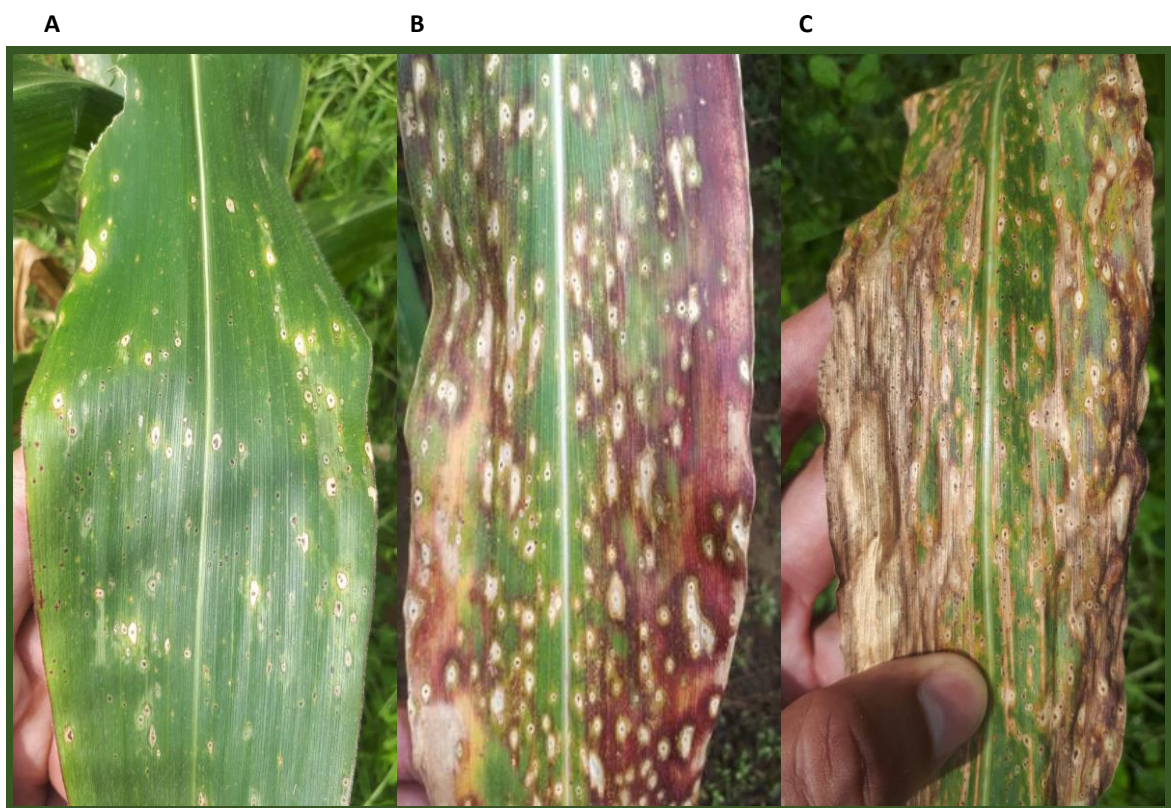


Figura 31. Síntoma leve (A), moderado (B) y avanzado (C) en la hoja causados por el complejo de la Mancha de Asfalto en el cultivo de maíz.

h. Achaparramiento del maíz

La enfermedad conocida como achaparramiento del maíz es causada por un complejo de patógenos. Entre este complejo se tiene al espiroplasma del achaparramiento del maíz (*Spiroplasma kunkelii*), causante de la enfermedad denominada “Corn Stunt Spiroplasm” (CSS); el fitoplasma causante del enanismo arbustivo del maíz o “Maize Bushy Stunt” (MBS) y el Virus del Rayado Fino del MAÍZ (MRFV) (Hruska *et al.*, 1996; Ebbert *et al.*, 2001). Estos patógenos son transmitidos por el salta hojas o chicharrita *Dalbulus maidis* (Canale *et al.*, 2018; Oliveira *et al.*, 2011). Los síntomas en la planta, no son un buen indicativo para diagnosticar el patógeno que está presente ya que después de realizar el análisis tanto por el método de ELISA, como por la técnica de la Reacción de la Cadena de Polimerasa (PCR), se ha encontrado que para un mismo síntoma están presentes desde un solo patógeno hasta la mezcla de los mismos (Henríquez y Jeffers, 1995). Los síntomas más comunes son: clorosis de las hojas jóvenes y las puntas se vuelven gradualmente a un color rojo púrpura. A medida que se aproximan la madurez, las plantas muestran un macollamiento excesivo, con color rojizo y clorótico (Figura 32A, 32B, 32C).

Las yemas axilares se desarrollan formando mazorcas estériles. En ocasiones se presenta un enanismo debido a que los entrenudos se acortan, por lo que la planta permanece

enana o chaparra. Hay plantas que tienen pocas raíces, mientras que otras producen abundantes raíces debido a su excesiva ramificación. Los casos de infecciones severas, hay una baja producción de grano o el mismo queda muy harinoso, el cual es de muy bajo peso; además que la planta puede llegar a morir prematuramente. Para el manejo de esta enfermedad, se debe controlar al vector lo más que se pueda, tal como se explicó anteriormente.

i. Pudrición acuosa del Tallo

La pudrición acuosa es causada por la bacteria *Dickeya zae* (Syn *Erwinia chrysanthemy*, *Erwinia carotovora*), este patógeno se encuentra en climas con temperaturas altas y bastante humedad. En plantas jóvenes se presentan plantas con cogollos amarillos, los cuales pueden ser fácilmente desprendidos del tallo o causarle acame a la planta (Figura 33 A y 33B). El tejido de la base del cogollo es blando, de color crema. Las plantas infectadas son de color oscuro, tienen un aspecto acuoso en la base del tallo, se acaman y mueren poco después de la floración (Figura 33C). La descomposición bacteriana produce un olor desagradable. Las mazorcas de plantas infectadas con esta bacteria presentan pudrición acuosa del capullo y los granos toman color blanco perla, son acuosos y de mal olor (Figura 33D y 33E) (Varón y Sarría, 2007; CIMMYT, 2004).

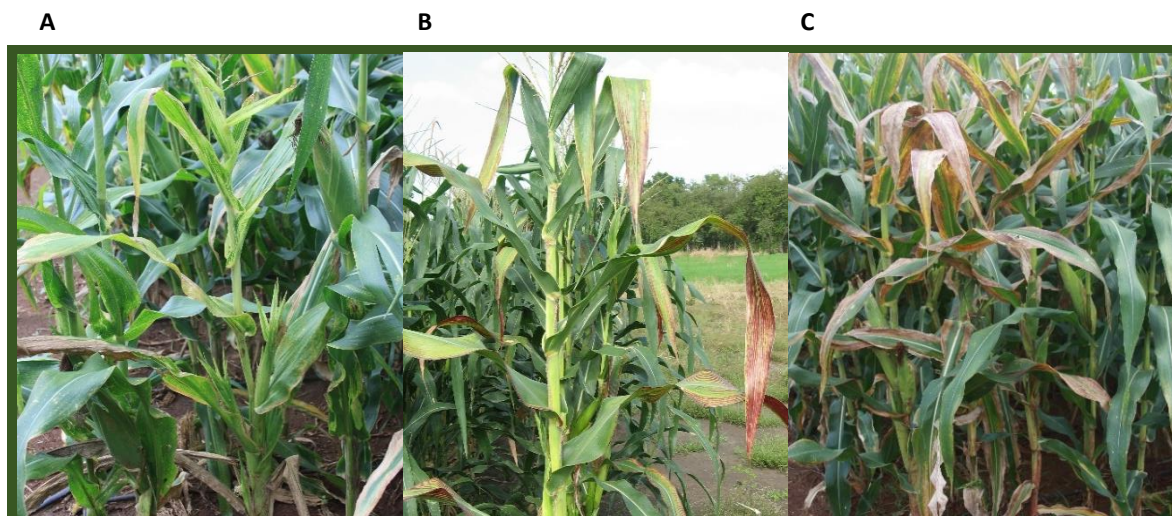


Figura 32. Síntomas del complejo de achaparramiento en el cultivo de maíz. Enanismo y clorosis apical (A), múltiple producción de mazorcas (B) y plantas con hojas de color rojizo (C).

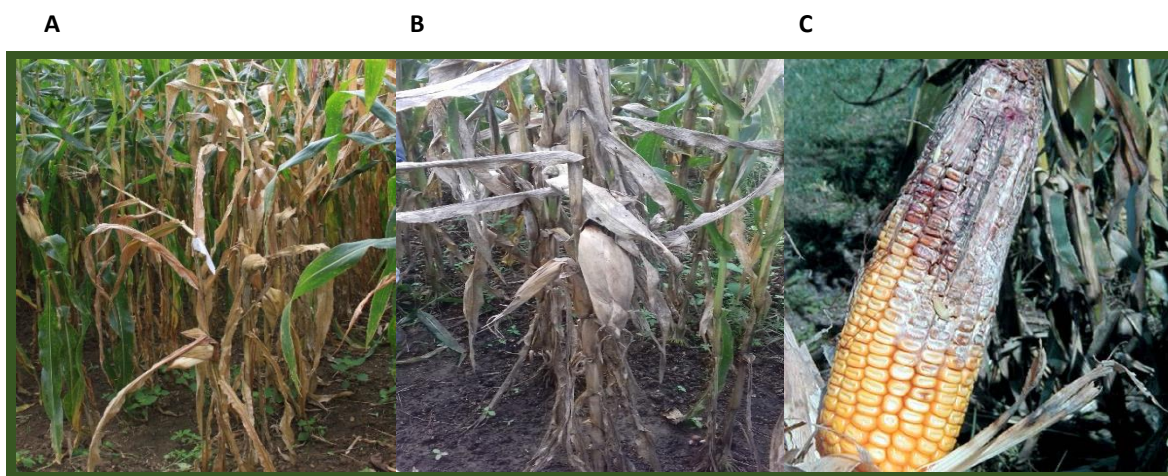


Figura 33. Planta acamada por pudrición en la base (A), tejido blando, acuoso producto de la infección (B), planta muerta (C) y mazorcas afectadas en la base (D y E) por *D. zeae*.

j. Pudrición de tallo y mazorcas

Fusarium verticilloides o su forma teleomórfica *Giberella moniliformis* son los causantes de pudriciones en el tallo y la mazorca (De la Torre *et al.*, 2014). Ambos organismos producen una sintomatología similar presentada por el hongo *Diplodia maydis*, diferenciándose cuando aparecen los cuerpos reproductivos. Las plantas marchitas permanecen erectas al secarse y en los entrenudos más bajos se presentan lesiones de color café oscuro, las cuales también se observan en el floema al cortarse el tallo en forma longitudinal (Figura 34A y 34B). En los estadios finales de la infección, el tejido parenquimatoso desaparece y los haces vasculares quedan desgarrados. Las hojas presentan pequeñas manchas amarilla claro, uniéndose posteriormente hasta producir decoloración de la planta. Estos organismos también producen pudriciones en la mazorca (CATIE, 1990).

El *F. verticilloides* es conocido como “pudrición del grano por Fusarium”. Es el más conocido a escala mundial, presentándose tanto en ambientes calientes y húmedos, como en secos. El daño se circunscribe principalmente a granos individuales o a áreas limitadas de la mazorca. Se desarrolla un moho algodonoso, produciendo ocasionalmente germinación prematura de los granos de la mazorca (Figura 34C). Cuando la infección es tardía los granos muestran rayas en el pericarpio. Los daños de barrenadores del tallo y gusano elotero (*Helicoverpa zea*), pueden crear los medios favorables para la infección de este hongo. El problema de la pudrición de la mazorca, es la producción de micotoxinas como la Fumonisina, que pueden afectar la salud del consumidor del grano (Sánchez *et al.*, 2012).



Fuente: https://www.ent.iastate.edu/images/plantpath/corn/gibberella/gibberella_ear.jpg

Figura 34. Plantas afectadas por el hongo *F. moniliformis* (A y B) y pudrición de mazorca por *Giberella* (C).

Las opciones de manejo del complejo de “Putrefacción de la Mazorca” deben iniciarse con trabajos de epidemiología, determinando, en el ámbito de pequeños y medianos productores, la influencia que ejercen los residuos de cosecha dejados en el campo o cerca de éste y las prácticas que ellos realizan sobre la dispersión y diseminación de los patógenos. Después de determinar la ubicación de cada hongo en las zonas de producción, se debe proseguir con trabajos de fitomejoramiento, para poder recomendar los cultivares que presenten resistencia específica a cada uno de ellos.

8. MANEJO DE PROBLEMAS ABIÓTICOS O NO INFECCIOSOS

El maíz puede ser afectado por el uso inadecuado de productos agroquímicos como herbicidas, fertilizantes o insecticidas. El daño, en general, resulta de aplicar el producto de forma inadecuada ya sea en dosis demasiado altas, en una etapa de crecimiento incorrecta o cuando las plantas sufren estrés por sequía o temperaturas desfavorables. Comúnmente los daños químicos son consecuencia de accidentes y no constituyen importantes limitantes del rendimiento en una zona; sin embargo, los productores deben reconocer estos problemas.

8.1. Daños por fertilizantes

La aplicación de cantidades excesivas de N o K soluble en los fertilizantes o cuando éstos son

colocados muy cercanos a la semilla pueden causar mala germinación. En algunas ocasiones la semilla nace, pero luego muere; las hojas se tornan amarillas (cloróticas) y luego se tornan necróticas. La necrosis de las puntas de las hojas es evidencia de la acumulación de sales en la planta. El boro en los abonos aplicados en la siembra es especialmente tóxico al maíz. La toxicidad por fertilizantes es favorecida por suelos arenosos, períodos de baja precipitación y el uso de fertilizantes con alto contenido de sales (APS, 1980).

8.2. Daño de herbicidas

Los herbicidas pueden causar síntomas muy predecibles en las plantas. Los síntomas de lesión pueden deberse a aplicaciones incorrectas, exposición involuntaria del cultivo, por ejemplo: deriva o arrastre de aplicaciones pasadas, o pueden desarrollarse si ocurren condiciones ambientales adversas, tales como: frío, seco, caliente, después de la aplicación. Los herbicidas pueden provocar malformación en las plantas jóvenes y amarillamiento, quemaduras y muerte de hojas. Un ejemplo de malformación son las hojas retorcidas que no se desenrollan como deben, o raíces distorsionadas.

Los herbicidas controlan las plantas de diferentes formas. Los herbicidas pueden agruparse en familias, según el proceso bioquímico o biofísico que tratan de influenciar en el desarrollo de la planta. Muchos herbicidas tienen el mismo

ingrediente activo, pero se comercializan con diversos nombres. Los herbicidas de premezcla pueden contener dos o más ingredientes activos de la misma familia (Clay, 2019). El daño por herbicidas puede distinguirse del daño por enfermedades foliares, debido a las quemaduras presentes, las cuales tienen formas producidas por la boquilla del rociador y que sólo aparecen en hojas de cierta edad, al estar expuestas cuando se aplicó el herbicida (Lafitte, 1994).

En el mercado hay varios herbicidas que pertenecen a la familia de las sulfonilureas (nicosulfuron, halosulfuron); estos herbicidas bloquean la enzima acetolactato sintasa y detienen la formación de aminoácidos de cadena ramificada. Los síntomas de intoxicación se pueden ver en las plantas de 2 a 4 días después del tratamiento, el punto de crecimiento se vuelve amarillo y se observa la muerte de la planta dentro de 7 a 10 días posteriores al tratamiento. Las plantas pueden tener venas de hojas rojas o moradas. Pueden observarse entrenudos acortados o un “destello” amarillo con clorosis y coloración amarillenta en el verticilo y bordes de la hoja arrugados. Las mazorcas de maíz pueden tener una apariencia de

malformación en el número de hileras cuando se aplica nicosulfuron después de la etapa V7 (Figura 35A).

El herbicida pendimentalina suele detener la formación del aparato del huso durante la división celular y los cromosomas no pueden separarse y formar nuevas células causando la muerte de las malezas. La intoxicación de este herbicida se observa en plántulas con raíces cortas y engrosadas (Figura 35B). Se observa hinchazón de las puntas de las raíces y malformaciones de los brotes. Los brotes pueden salir por debajo del suelo o si están sobre el suelo, los brotes pueden mostrar un color púrpura.

Otro herbicida de amplio uso en nuestro país es el glifosato, las parcelas de maíz afectadas por derivas de la aplicación de este herbicida presentan síntomas que se desarrollan lentamente. Las plantas marchitas se pueden ver después de 3 a 10 días de la aplicación. Los síntomas se vuelven más graves con el tiempo después del tratamiento, presentado distorsiones de las hojas (Figura 35C). El calor o la sequía extremos ralentizarán y reducirán los efectos del glifosato (Clay, 2019).

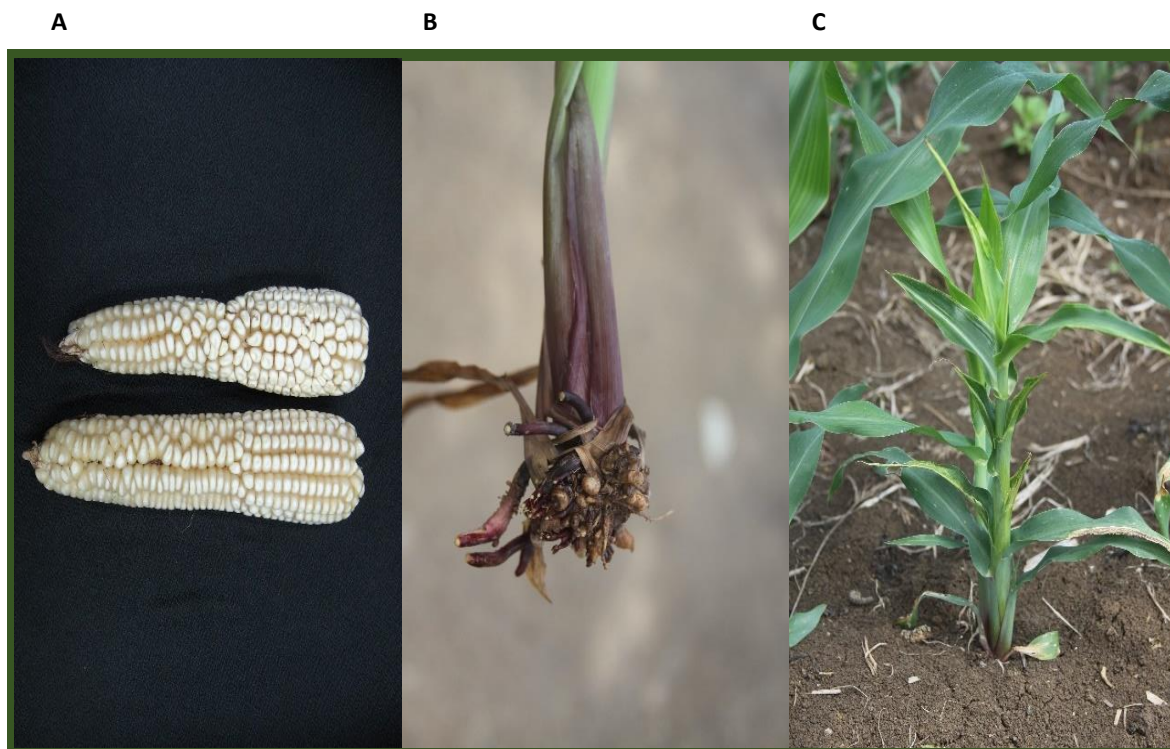


Figura 35. Mazorcas presentando intoxicación a la aplicación de nicosulfuron (A), raíces de planta intoxicada con pendimetalina (B) y planta de maíz afectada por deriva de glifosato.

8.3. *Otros problemas*

En el maíz se presentan algunos otros problemas abióticos que afectan al cultivo; a continuación, se presentan algunos de ellos.

a. **Excesiva humedad**

El incremento en las sequías y el exceso de lluvias son las mayores amenazas ante el cambio climático en la mayoría de las áreas dedicadas al cultivo de maíz. Li *et al.* (2019) reportan que debido al exceso de lluvias puede reducir hasta en un 34% el rendimiento del cultivo. Las lluvias excesivas reducen significativamente el rendimiento del maíz en

áreas más frías junto con suelos mal drenados, y dicha pérdida de rendimiento se agrava en condiciones de almacenamiento de agua en el suelo durante la pretemporada. En la actualidad, los modelos de cultivos basados en procesos no pueden capturar la reducción del rendimiento debido a lluvias excesivas, ni sobreestimar el rendimiento en condiciones húmedas. Es necesario destacar la necesidad de mejorar la comprensión y el modelado del impacto de las lluvias excesivas en el rendimiento de los cultivos.

El maíz es muy sensible al aniego, es decir, a los suelos saturados de agua. Desde la

siembra a la etapa V6, el aniego por más de 24 horas puede matar la planta, debido a que el meristemo está por debajo de la superficie del suelo en esos momentos y es en esta etapa que la reducción del rendimiento puede ser máxima. Más tarde en el ciclo del cultivo, el aniego puede ser tolerado durante periodos de hasta una semana, pero se reduce considerablemente el rendimiento. El rendimiento de grano se reduce linealmente con el aumento del estrés causado por el anegamiento (Kanwar *et al.*, 1988; Laffitte, 1994).

b. Acame

El acame de raíces y doblamiento de tallos en el maíz es uno de los principales problemas en la producción de maíz en todo el mundo. Este problema representa pérdidas de rendimiento anuales entre 5% y 25% en este cultivo (Kang *et al.*, 1999). Se dice que una planta se acama de raíz cuando la parte más baja del tallo forma un ángulo de al menos 30° o más de la vertical (Esechie *et al.*, 2004). Hay acame del tallo cuando éste se quiebra debajo de la mazorca y la porción quebrada forma un ángulo de 45° o menos con el suelo.

Suele haber poca relación entre el acame de raíz y el de tallo; el primero tiende a asociarse con factores ambientales como lluvias intensas con viento, o con factores de manejo como la alta densidad o mala distribución de plantas (Mi *et al.*, 2011), mientras que la

quebradura de tallo con frecuencia está estrechamente vinculada con características genéticas como la resistencia a enfermedades e insectos, la prolificidad y el tipo de senescencia.

El efecto del acame sobre el rendimiento depende de cuándo se produce y del tiempo que tengan las mazorcas con el suelo para que se produzca la pudrición o la germinación (Laffitte, 2001). Las pérdidas económicas también dependen del método de cosecha que se utilice. Cuando se usan máquinas, muchas plantas acamadas no podrán cosecharse. Si el agricultor cosecha a mano, el acame aumentará el tiempo requerido y el costo de mano de obra.

9. ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO ANTES DE LA COSECHA

Para la estimación del rendimiento de grano en campo existen varios métodos. Gordón *et al.* (2004e) encontraron que utilizando un clorofilómetro (Figura 36) y contando el número de plantas de tres a cinco días después de la antesis (62 dds), se puede estimar con bastante precisión el rendimiento. La ecuación estimada por ellos fue la siguiente:

$$\text{Rendimiento de grano (ton}\cdot\text{ha}^{-1}) = 0.0771 (\text{Lectura clorofilómetro}) + 0.3119 (\text{planta}\cdot\text{m}^{-2})$$



Figura 36. Lectura con el clorofilómetro a la hoja frente a la mazorca en la etapa R2 a los 62 dds.

Otro método es propuesto por Lafitte (1994) el cual se basa en que después de la etapa R4, queda establecida la cantidad final de granos por mazorca. En este momento es posible estimar el rendimiento definitivo. Al medir la densidad de población se abren tres mazorcas de cada punto de muestreo y se cuenta el número de granos por mazorca. Posteriormente, se toma la primera, quinta y décima planta del surco de medición, siempre y cuando estas plantas tengan mazorcas cosechables; si la planta seleccionada no tiene una mazorca cosechable, se debe avanzar a la próxima planta del surco para efectuar el recuento.

Es esencial evitar la selección deliberada de plantas con mazorcas grandes, ya que, esto introducirá un sesgo en los resultados. Luego se cuentan las hileras de granos y el número de granos en una hilera representativa. No

deben contarse los granos de la punta cuyo tamaño sea inferior a la mitad de los granos del centro de la mazorca. Finalmente, se multiplica el número de hileras por los granos por hilera para obtener el número de granos por mazorca. Es necesario suponer un peso final de grano, así que ésta es sólo una estimación del rendimiento. Puede suponerse que hay 3,500 granos por kilogramo, con una humedad del 15% en el caso de muchas variedades mejoradas (Lafitte, 1994). La estimación del rendimiento final en kilogramos por hectárea con una humedad del 15% se efectúa como la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento} \left(\frac{\text{ton}}{\text{ha}} \right) = \frac{\text{Plantas}}{\text{ha}} \times \frac{\text{Mazorcas}}{\text{planta}} \times \frac{\text{granos}}{\text{mazorca}} \times \frac{1}{\text{No granos/kg}}$$

9.1. Cosecha

Cuando el grano llega a su madurez fisiológica, momento en que contiene el máximo de materia seca acumulada, donde normalmente tiene un contenido de humedad entre 30 y 35%; en dicho momento la humedad del forraje es de un 70%. A partir de ese instante el grano va perdiendo humedad, a la vez se produce un ligero descenso en su contenido de materia seca.

Generalmente, el mejor momento para cosechar, es después que el grano alcanza su punto de madurez fisiológica; es decir al reducir su contenido de humedad por debajo del 30%. Cuando la humedad del grano es de aproximadamente 25%, el mismo se torna brillante y está tan duro que no se puede aplastar cuando se aprieta con las uñas de los dedos pulgares. Las hojas y las brácteas se han vuelto amarillas y estas últimas en sus tres cuartas partes aproximadamente están secas y aparecen relativamente abiertas.

También es corriente que en el estado de madurez técnica (propia para cosechar) el grano esté holgado en la tuza por haber perdido humedad más rápidamente que la tuza. Esto no ocurría algunos días antes, cuando la tuza y los granos tenían una humedad uniforme y ambos formaban un solo cuerpo. Pasado algunos días, cuando el grano ha perdido el máximo de humedad en condiciones naturales, la tuza estará tan seca como el grano y otra vez éste volverá a

encontrarse aprisionado, formando un solo cuerpo con la tuza por haberse contraído este como consecuencia de la pérdida de humedad.

Estas características antes mencionadas, sirven de orientación para elegir el momento de la cosecha; sin embargo, pueden variar según el cultivar y el clima del lugar, por lo que es preciso que el productor aprenda por su propia experiencia a elegir el momento que más conveniente para la cosecha. Los problemas de secado y conservación del grano después de la cosecha serán, los que condicionen la mayor o menor urgencia para cosechar; esto según los medios disponibles en la finca. En Panamá, el productor cosecha el grano cerca del 14% de humedad, debido a que las compañías dedicadas a la compra del mismo le descuentan en peso todo el porciento de humedad que se pase de este valor.

Un cultivar que permita la recolección tardía con un mínimo de humedad en el grano deberá reunir las siguientes condiciones:

- Ser resistente o tolerante al acame.
- Tener mazorcas bien protegidas por las brácteas (capullo) para evitar los daños que pueden sufrir los granos, especialmente por los pájaros, al permanecer mucho tiempo la cosecha en pie.
- El pedúnculo que une la mazorca al tallo deberá ser resistente y mantenerse erguido, de forma que ésta no caiga al suelo con el tiempo.

De no contarse con estas características, se producirán fácilmente pérdidas de grano por ataques de parásitos, caídas de mazorcas a tierra; por lo que los cosechadores al momento de la recolección encontrarán mayores dificultades para realizar esta labor. Otro inconveniente, sería la presencia de lluvias fuera de temporada (finales de diciembre y enero), esto provocaría que muchos granos puedan germinar y se pudran las mazorcas que estén en contacto con el suelo.

En general, y con obligadas excepciones, se puede afirmar que una cosecha precoz es menos arriesgada, y por lo tanto más conveniente que una cosecha tardía. Una cosecha temprana presenta riesgos técnicos y de cargas económicas en las operaciones que siguen a la cosecha (secado y conservación del producto). Una cosecha tardía presenta mayores riesgos mientras la producción permanezca en pie. Lo que se trata es obtener un producto mejor acondicionado y de conservación menos costosa. Sin embargo, normalmente suele ser más fácil controlar el producto y conducir su transformación después de cosechado que manteniéndolo en el campo más tiempo sin recogerlo, exponiéndolo de esta manera a las imprevisibles condiciones naturales (clima, enfermedades y ataques de parásitos).

El retraso de la cosecha de maíz aumenta el porcentaje de tallos acamados y rotos. Las pérdidas de productividad derivadas de las cosechas tardías se deben principalmente al

aumento en la cantidad de tallos rotos y alojados (Panison *et al.*, 2016). La solución estará dada por el momento en que los riesgos y las cargas se hagan mínimos. Todo dependerá de las características particulares de cada explotación y se las condiciones en que se esté produciendo el cultivo y la climatología del año (Llanos, 1984).

9.2. *Manejo Post Cosecha*

La mayor parte de la producción de grano seco producto del sistema de maíz mecanizado, se destina a la venta a las grandes empresas dedicadas a la fabricación de alimentos balanceados para animales (empresas avícolas y porcinas). Esta comercialización se realiza prácticamente una vez el productor realiza la cosecha. Generalmente, entre la cosecha y la venta del grano no pasan más de 45 días; esto implica entonces que el manejo post cosecha que realiza el productor es mínima, ya que el grueso de este manejo lo realizan las casas comerciales que compran el grano.

En caso de los pequeños productores de maíz a chuzo que producen el maíz para autoconsumo deben realizar el secado y el manejo post cosecha del grano. El secado puede hacerse en mazorcas o en grano. El acondicionamiento o secado de la mazorca sin desgranar es más fácil que el del grano suelto. El aire circula más fácilmente a través de los huecos que dejan entre si las mazorcas almacenadas que entre una masa de granos

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

de maíz. El secado de las mazorcas por circulación natural de aire es el procedimiento más sencillo y económico, sobre todo si no es necesario conseguir un secado rápido.

Para conseguir un secado al aire seguro y eficaz, las mazorcas deben estar limpias del capullo, de no ser así podrían producirse condensaciones de humedad y el consiguiente enmohecimiento que deterioraría la calidad del grano.

10. ASPECTOS RELEVANTES DE LA INVESTIGACIÓN EN MAÍZ

La investigación en el cultivo de maíz, se ha desarrollado con mayor énfasis en la región de Azuero, donde a finales de la década de los 70's se iniciaron los trabajos de mejoramiento genético y a mediados de los 80's los de manejo agronómico. En los últimos 30 años, el proyecto de maíz en el Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá ha

evaluado híbridos, así como distintas prácticas agronómicas que han generado tecnologías para los productores de la región de Azuero.

En el proceso de investigación en el cultivo de maíz por parte del IDIAP, se distinguen claramente cinco etapas como son: 1995-1998, 1999-2002, 2003-2008, 2009-2018 y 2019 donde se desarrollarán actividades que tuvieron como resultados la modificación de la densidad de siembra, el manejo de la fertilización, incluyendo el fraccionamiento de la urea, la dosis de nitrógeno y la aplicación de azufre al momento de la siembra.

Los resultados del análisis de la investigación desarrollada señalan que el rendimiento de grano aumentó de 4.61 a 7.96 ton·ha⁻¹ con una mayor población de plantas al momento de la cosecha, la que inició con 4.75 plantas·m⁻² y en la actualidad es de 6.55 plantas·m⁻² (Cuadro 10).

Cuadro 10. Rendimiento experimental según período de ajuste de la tecnología recomendada por el IDIAP, 1989-2019.

Años	Años	Rendimiento (ton·ha ⁻¹)	Plantas·m ⁻²	Peso mazorca (g)	Mazorcas m ⁻²
1) 1989-1998	10	4.61	4.75	103	4.49
2) 1999-2002	4	5.84	5.84	104	5.59
3) 2003-2008	6	6.80	6.05	117	5.83
4) 2009-2018	10	7.13	6.24	118	5.96
5) 2019	1	7.96	6.55	128	5.97

El progreso del rendimiento de grano anual de los ensayos con Tecnología IDIAP y el rendimiento de grano anual registrado por el Programa de Maíz de la Dirección Nacional de Agricultura del Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA, 2020a) son similares en la ganancia anual, pero distintos en la magnitud o media anual (Figura 37). Se puede observar una diferencia de los datos experimentales, con el rendimiento de los productores de la región, que es obtenido por encuesta oral con los productores de maíz de la región de Azuero. En este sentido, se observa que en la fase previa (1995 – 1998), la tasa de crecimiento en el rendimiento en los ensayos era nueve veces mayor al reportado por los productores de la región. A partir del año 1999, se observa en las dos ecuaciones de crecimiento, una pendiente bastante similar (0.054 vs 0.068) en las dos ecuaciones, indicando un crecimiento de aproximadamente 54 y 68 kg por año.

A pesar de presentar la misma tasa, existe una diferencia de aproximadamente 2.00 ton·ha⁻¹ entre los dos registros mencionados (productores vs investigación). Lo que sugiere que se debe identificar el o los factores que limitan la adopción de las tecnologías por parte de los productores o mejorar en el sistema de recopilación de la información, pasando de un sistema de encuesta al productor por uno que capte realmente cuál es el rendimiento obtenido en campo por los productores de este cultivo.

Según Vergara (2010), son varios los factores que pueden estar incidiendo en el bajo rendimiento de parte de los productores. El primer factor que él señala es la deficiente preparación de suelo debido a la entrega tardía de parte de los dueños de las parcelas a los productores (casi el 80% de las tierras que se dedican al cultivo son arrendadas), esta situación incide en un mal manejo de las malezas. Otro punto que afecta la producción de grano es la escasez de sembradoras, lo que incide en un uso intensivo en la zona, reduciendo el tiempo para su mantenimiento y calibración.

Una de las grandes diferencias entre los dos grupos que se ha podido observar, es la cantidad y distribución de plantas al momento de la siembra. En la investigación las mismas son sembradas a una distancia de 0.20 m entre cada una de manera uniforme (debido a que en el proceso manual), mientras que en los productores la cantidad de semillas como la distribución varía mucho en el número por postura como en la distribución (distancia entre posturas), es común observar agrupamiento de varias plantas y muchos espacios sin plantas, en función a que la siembra es realizada con maquinaria, que muchas veces se calibra al inicio de las siembras y con el transcurrir del tiempo se descalibran o no se vuelve a verificar la calibración del equipo; adicional al efecto de la sembradora en la distribución como el espaciado de plantas, la velocidad del tractor al momento de la siembra es muy importante para lograr el resultado que

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

indican los desarrolladores de los equipos (Vergara, 2010). Se sabe que, con la premura del tiempo al momento de la siembra, la velocidad recomendada por los fabricantes de las sembradoras no se sigue como debe ser.

Independientemente del resultado de un estudio de brecha, las causas deben ser analizadas para ir cerrando la misma; de tal manera que la actividad siga siendo atractiva para los productores de maíz. También se debe realizar una mayor difusión de las Tecnologías IDIAP por parte de

extensionistas MIDA, así como de otros entes dedicados a la extensión de tecnología agropecuaria en el país. En un análisis financiero del proyecto de maíz realizado a finales del año 2004 reveló que los indicadores económicos analizados muestran que el proyecto fue altamente viable para la institución y la sociedad. Por otra parte, el análisis de cálculo de la relación beneficio – costo indicó que el mismo fue de 2.64, lo que señala al proyecto con un alto nivel de viabilidad económica (Medina *et al.*, 2004).

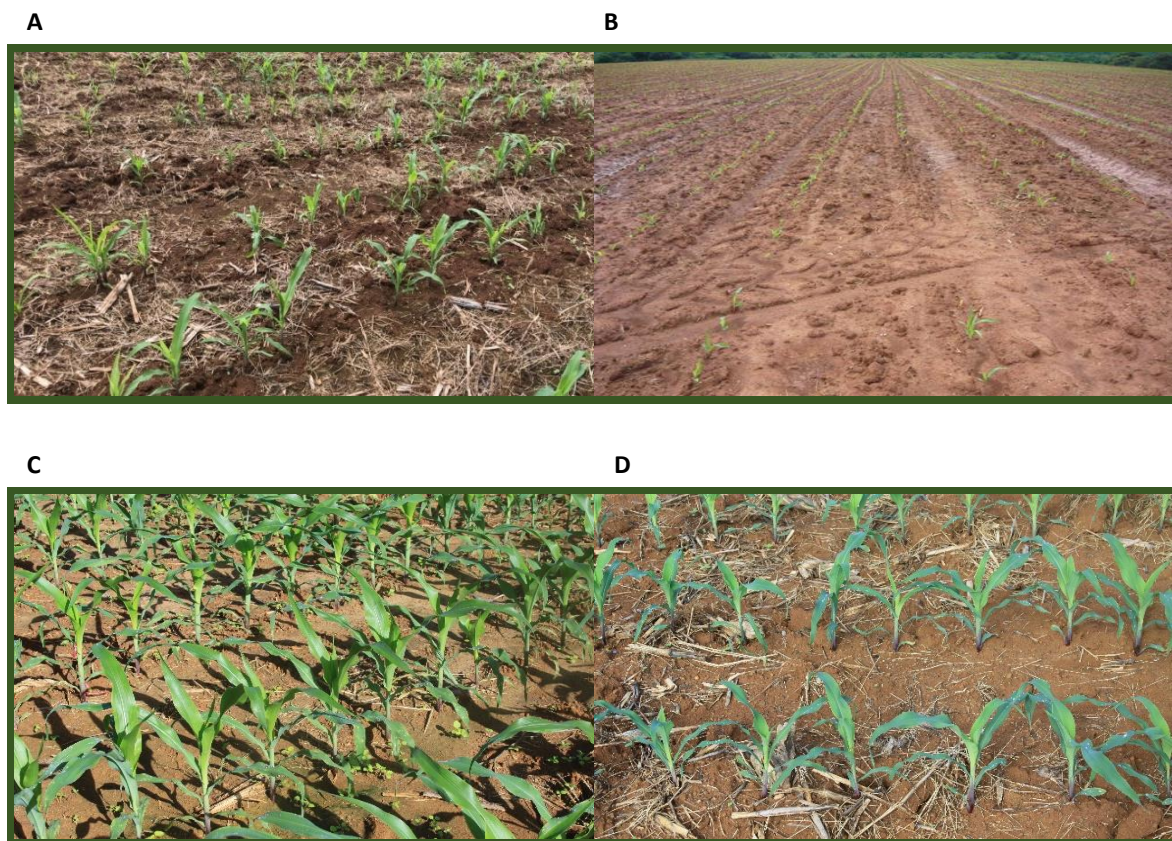


Figura 37. Distribución de plantas en campo de productores (A y B) versus distribución de plantas en los experimentos de maíz (C y D).

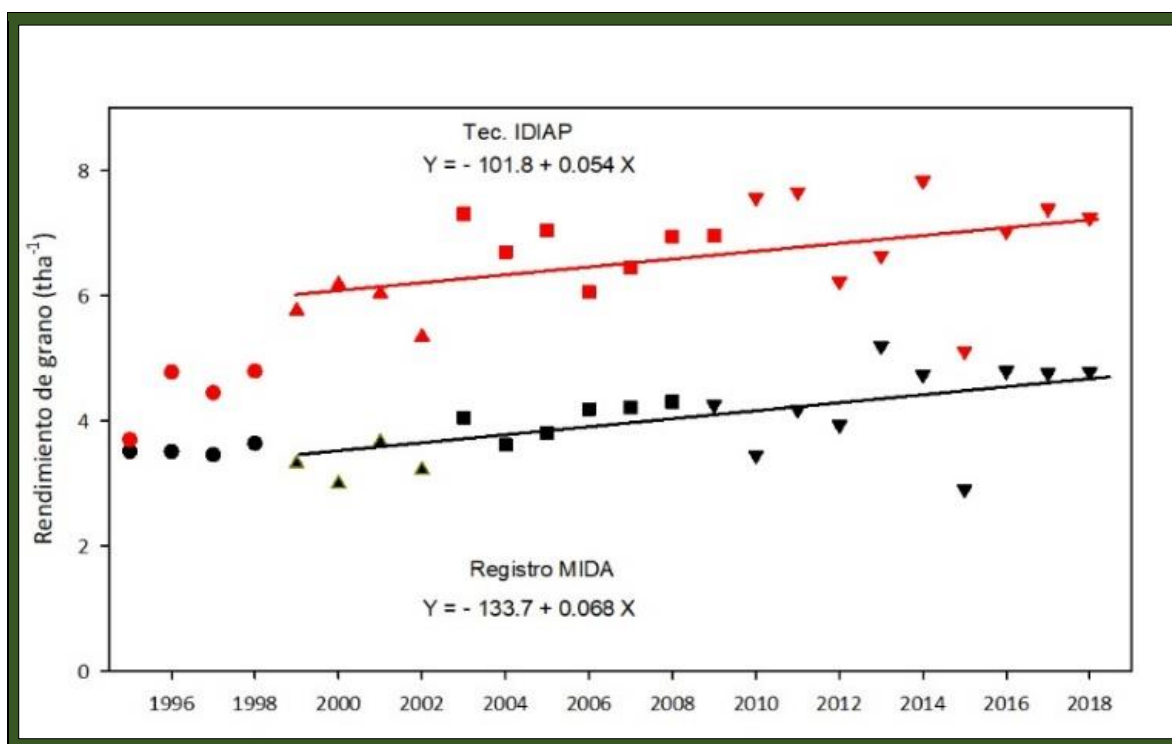


Figura 38. Incremento del rendimiento de grano en parcelas comerciales (ton·ha⁻¹) de toda la región de Azuero, debido al cambio tecnológico (1992-2018).

11. COSTO DE PRODUCCIÓN

En esta sección se presenta el costo de producción de una hectárea de maíz mecanizado. Se utilizaron los precios de los insumos que rigen actualmente en la

elaboración de este documento (agosto de 2020). La cantidad y costo de mano de obra está basada en el Seminario Taller sobre la validación de la estructura de costo del sistema mecanizado, realizado en el año 2019 por el MIDA (Cuadro 11) (MIDA, 2020b).

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

Cuadro 11. Indicadores técnicos para la producción de una hectárea de maíz mecanizado en labranza convencional.

Actividad	Recomendación	Unidades	Costo Unitario (B/.)	Costo Total (B/.)
Preparación del suelo				
Semi roma, Rastra	2.5	hora	49.44	123.60
Siembra				
Semilla híbridos	1.2	Bolsa de 60,000 semillas	205.00	246.00
Abono completo (13-26-10-10)	6.0	Bolsa de 45.5 kg	31.65	189.90
Thiodicarbo	0.350	litro	36.00	12.60
Sembradora	1.0	hora	64.44	64.44
Mano de obra	0.50	jornal	17.33	8.67
Control de Malezas				
Regulador de pH y dureza	0.2	litro	8.00	1.60
Dispersante	0.1	litro	35.25	3.53
atrazina	3.0	litro	3.75	11.25
pendimentalina	3.0	litro	8.60	25.80
glifosato	3.0	litro	2.65	7.95
Aplicación de Herbicidas	0.333	Bomba de 600 litros	47.50	15.82
Mano de obra	0.25	jornal	17.33	4.33
Fertilización Secundaria				
Urea-S (37.7-0-08)	3.0	Bolsa de 45.5 kg	20.50	61.50
Urea-K (30-0-20)	4.0	Bolsa de 45.5 kg	23.50	94.00
Voleadora	7.0	Bolsa de 45.5 kg	2.50	17.50
Mano de obra	0.25	Jornal	17.33	4.33
Control de insectos				
Regulador de pH y dureza	0.2	litro	46.76	9.35
Dispersante	0.1	litro	8.00	1.60
Insecticida	0.20	litro	35.25	3.53
Aplicación de Insecticida	0.333	Bomba de 600 litros	50.00	16.65
Mano de obra	0.20	Jornal	17.33	3.47
Otros				
Cosechadora-Granero	1.0	hora	171.43	171.43
Mano de obra cosecha	2.0	Jornal	17.33	34.66
Transporte insumos	13	Bolsa de 45.5 kg	0.90	11.70
Transporte cosecha	120	Bolsa de 45.5 kg	1.10	132.00
Análisis de suelo	1	análisis	10.00	10.00
Alquiler de terreno	1	ha	250.00	250.00
			Sub Total	1,537.20
Seguro Agropecuario	5	%		76.86
			Total	1,614.06

1 bolsa de 45 kg = 1 quintal

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

12. ACTIVIDADES PARA PROMOVER EN PARCELAS DE DIFUSIÓN TECNOLÓGICA

Finalmente, en este capítulo se presenta el detalle de las acciones a desarrollar para promover el establecimiento e impulso de

parcelas de difusión tecnológica en el cultivo de maíz.

Actividad	Labranza Convencional	Labranza Mínima
Preparación del terreno	Preparación a base de Rastra pesada (arado) un pase Rastra 2 a 3 pases	Un pase de Semi Roma un mes antes. Aplicación de glifosato 1.0 a 1.5 kg i.a·ha ⁻¹
Época de siembra del maíz	Lluvia bajo lo normal Norte: 15 ago hasta 25 ago Sur: 15 ago hasta 10 sep	Lluvia normal Norte: 15 ago hasta 5 sep Sur: 15 ago hasta 20 sep
		Lluvia arriba de lo normal Norte: 15 ago hasta 15 sep Sur: 15 ago hasta 30 sep
Tratamiento de la semilla	thiodicarb + imidacloprid a razón de 7 g i.a./kg de semilla	
Distancia entre hileras	75 a 80 cm	
Número de semillas de maíz por cada 5 m lineal	25 a 28 semillas	
Población plantas	65,000 a 70,000 semillas·ha ⁻¹	
Fertilización a la siembra	273 kg·ha ⁻¹ de abono completo (13-26-10-10, 6-30-4-8, 15-30-8-6)	
Fertilización Suplementaria	V5 a v5 (21 dds)	V11 a V12 (30 a 35 dds)
	Opción 1: 136 kg·ha ⁻¹ de urea Opción 2: 136 kg ha ⁻¹ de 37.7-0-0-8 Opción 3: 91 kg·ha ⁻¹ de urea	182 kg·ha ⁻¹ de urea 182 kg·ha ⁻¹ de 30-0-20 136 kg·ha ⁻¹ de urea
Control de Insectos	Realizar muestreo y aplicar un insecticida dirigido al cogollo si la población de cogollero aumenta. Fecha límite para aplicar es hasta los 30 dds.	
Total de nutrimentos	N = 130 – 200 kg·ha ⁻¹ de N P = 68 kg P ₂ O ₅ ·ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ S = 20 a 40 kg·ha ⁻¹ de K ₂ O K = 20 a 40 kg·ha ⁻¹ de S	
Control de malezas	Gesaprim 50 3 L·ha ⁻¹ Prowl 500 3 L·ha ⁻¹ Round up 41% 3-4 L·ha ⁻¹	
Época de aplicación de herbicidas	3 a 7 días después de la siembra, cuando el terreno tenga buena humedad	
Cultivares de maíz registrados en el Comité Nacional de Semillas	Variedades: IDIAP-MV-1816, IDIAP-MV-1102, IDIAP-MQ-18, IDIAP-ProA-08, IDIAP-MQ-12 Híbridos: Pioneer (30F-35, P-4226, P-4039, DAS-3383, 2B-604); Advanta (ADV-9293, ADV-9779, ADV-9789, PAC-105); Semilla Valle (SV-3243, SV-292, SV-1007, SV-1035), Panamco (XB-6012, XB-7253, XB-7116); Dekalb (DK-7088); Syngenta (SYN-750, IMPACTO)	
Días a cosecha mecánica	115 a 130 días después de la siembra (dds).	

Quintal = 45.45 kg (100 lb)

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

13. BIBLIOGRAFÍA

- Abendroth, L.J., R.W. Elmore RW, M.J. Boyer and S.K. Marlay. 2011. Corn growth and development. PMR 1009. Ames, Iowa: Iowa State University Extension. <https://store.extension.iastate.edu/product/Corn-Growth-and-Development> (consultado 30 ju 2020).
- Akbari, N., A.C. Mosadghi, Kh. Azizi, S. Heydari and Z. Anafjeh. 2015. The effect of various plant densities on competitiveness of corn with natural population of weeds. Agriculture. 85:34512-34515. [https://www.elixirpublishers.com/articles/1456313209_85%20\(2015\)%2034512-34515.pdf](https://www.elixirpublishers.com/articles/1456313209_85%20(2015)%2034512-34515.pdf) (consultado 8 sep 2020).
- Alarcón Bravo, L., G. Torres Reaño, D.F. Austin, C. Rojas Idrogo y G.E. Delgado Paredes. 2016. Sinopsis de *Ipomoea* L. y *Merremia* Dennst. ex Endl. (Convolvulaceae) en el norte del Perú (Lambayeque y territorios adyacentes). Acta Botánica Malacitana. 41:101-120. DOI: 10.24310/abm.v41i0.2439
- Allison, J.C.S and T.B. Daynard. 1979. Effect of Change in Time of Flowering, Induced by Altering Photoperiod or Temperature, on Attributes Related to Yield in Maize. Crop Science, 19(1):1-4. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1979.0011183X001900010001x>
- Amado, T.J.C., E.O.H. Villalba, R.P. Bortolotto, D.D. Nora, J. Bragagnolo, and E.A.B. León, E. 2017. Yield and nutritional efficiency of corn in response to rates and splits of nitrogen fertilization. Revista Ceres, 64(4), 351–359. <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737x201764040003>
- APS (American Phytopathological Society). 1980. Compendium of Corn Diseases. Second Edition. M.C. Shurtleff (ed). APS Press. 105 p.
- Andrade, F.H., L. Echarte, R. Rizzalli, A. Della Maggiora and M. Casanovas. 2002. Kernel number prediction in maize under nitrogen or water stress. Crop Science. 42:1173-1179. DOI:<https://doi.org/10.2135/cropsci2002.1173>
- Aula, L., J.S. Dhillon, P. Omara, G.B. Wehmeyer, K.W. Freeman and W.R. Raun. 2019. World use efficiency for cereal crops. Agronomy Journal. 111(5):2485-2492. DOI:<https://doi.org/10.2134/agronj2019.02.0095>
- ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente). 2011. Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático: ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. - 2a ed.- Panamá. 170 p. <http://unfccc.int/resource/docs/natc/pannc2.pdf> (consultado 15 sep 2020).
- Arumi, J., M. Escudero, E. Aguirre, J.C. Salgado and R. Aravena. 2020. Use of environmental isotopes to assess groundwater pollution caused by agricultural activities. Isotopes in Environmental and Health Studies, DOI: <https://doi.org/10.1080/10256016.2020.1813124>
- Baral, B.R. and P. Adhikari. 2015. Use of optical sensor for in-season nitrogen management and grain yield prediction in maize. Journal of Maize Research and Development. 1(1):64-70. DOI: <https://doi.org/10.3126/jmrd.v1i1.14244>
- Barnett, J. 1989. Tendencias de adopción en sistemas de labranza de conservación. En Labranza de conservación de maíz. H.Barreto, R.Raab, A.Violic y A.Tasistro (eds.) Documento de Trabajo CIMMYT PROCIANDINO, El Batán, México. p. 13-18.

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

- Barbieri, P.A., H.E. Echeverría, H.R. Saínez Rozas y M. Maringolo. 2010. Fertilización de maíz con urea de liberación lenta: Pérdida por volatilización eficiencia de uso de Nitrógeno. *Ciencias del Suelo* 28(1):57-66.
- Beadle, G.W. 1980. The ancestry of corn. *Scientific American* 242(1):112-119. <https://www.jstor.org/stable/e24966221> DOI: 10.2307/24966237
- Becerra Chiron, I.M., G. Moya Raygoza and A. Muñoz Urías. 2020. Effect of the oviposition period and age of the females of *Dalbulus maidis* (Hemiptera: Cicadellidae) in the emergence of egg parasitoids. *Florida Entomologist*. 103(2):210-214. DOI: <https://doi.org/10.1653/024.103.0209>
- Binder, D.L., D.H. Sander and D.T. Walter. 2000. Maize response to time of nitrogen application as affected by level nitrogen deficiency. *Agronomy Journal*. 92: 1228-1236. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2000.9261228x>
- Birch, C.J., G.L. Hammer and K.G. Rickert. 1998. Temperature and photoperiod sensitivity of development in five cultivars of maize (*Zea mays* L.) from emergence to tassel initiation. *Field Crops Research*, 55(1-2):93-107. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00062-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00062-2)
- Blackmer, T.M., J.S. Schepers and G.E. Varvel. 1994. Light reflectance compared with other nitrogen stress measurements in corn leaves. *Agronomy Journal*. 86:934-938. DOI:<https://doi.org/10.2134/agronj1994.00021962008600060002x>
- Blackmer, T.M and J.S. Schepers. 1995. Use of a chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertirrigation for corn. *Journal of Production Agriculture*. 8(1):56-60. DOI:<https://doi.org/10.2134/jpa1995.0056>
- Blanco Valdés, Y. 2016. El rol de las arvenses como componente en la biodiversidad de los agroecosistemas. *Cultivos Tropicales*. 37(4):34-56. DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.10964.19844>
- Bolaños J. y H. Barreto. 1991. Análisis de los componentes de rendimiento de los ensayos regionales de maíz de 1990. *En Análisis de los Resultados Experimentales del PRM 1990*. CIMMYT, Guatemala. 2:9-27.
- Bolaños, J., J. Pérez, J.L. Zea, J.L. Quemé, M.R. Fuentes, C. Mendoza y G. López. 1993. Dinámica y variabilidad de los componentes de rendimiento en 28 campos de maíz en Centro América. *En: Síntesis de resultados experimentales del PRM 1992*. Bolaños, J., Saín, G., Urbina, R., Barreto, H. (eds.). 4:187-197. <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/3636/67845.pdf> (consultado 14 abr 2020)
- Bolaños J. y G.O. Edmeades. 1993a. La fenología del maíz. *En: Síntesis de Resultados Experimentales del PRM, 1992*. Bolaños, J.; Saín, G., Urbina, R., Barreto, H. (eds.). 4:251-261. <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/3636/67845.pdf> (consultado 14 abr 2020)
- Bolaños J. and G.O. Edmeades. 1993b. Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. I. Responses in grain yield, biomass and radiation utilization. *Field Crops Res*: 31:233-252. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(93\)90064-T](https://doi.org/10.1016/0378-4290(93)90064-T)
-

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

- Bolaños J. and G.O. Edmeades. 1993c. Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. II. Responses in reproductive behavior. *Field Crops Research*. 31:253-272. DOI: [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(93\)90065-U](https://doi.org/10.1016/0378-4290(93)90065-U)
- Bouldin, D.R., J. Quintana and A. Suhet. 1989. Evaluation potential of legume residues. En: (Claude, N. ed) *Trop Soils Technical Report*. 1986-1987. North Carolina State University. Raleigh, N.C. 304-305.
- Boyd, N.S., K. Fnu, C. Marble, S. Steed and A.W. MacRae. 2016. Biology and management of Goosegrass (*Eleusine indica*) in tomato, pepper, cucurbits and strawberry. HS1178 IFAS Extension. University of Florida. 3p. <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/HS/HS117800.pdf> (Consultado 8 sept 2020).
- Bryant, K.J., V.W. Benson, J.R. Kiniry, J.R. Williams and R.D. Lacewell. 1992. Simulating corn yield response to irrigation timings: validation of the Epic model. *Journal of Production Agriculture*. 5:237-242. <https://doi.org/10.2134/jpa1992.0237>
- Brooking, I. 1990. Maize ear moisture during grain filling and its relation to physiological maturity and grain drying. *Fields Crops Res*. 23:55-68. DOI: [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(90\)90097-U](https://doi.org/10.1016/0378-4290(90)90097-U)
- Buckles, D. 1995. Velvetbean: A new plant with a history. *Economic Botany*. 49(1):13-25. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02862271>
- Bullock, D.G. and D.S. Anderson. 1998. Evaluation of the Minolta SPAD-502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. *Journal of Plant Nutrition* 21(4):741-755. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01904169809365439>
- Burle, M., A. Suhet, J. Pereira, D. Resck, J. Peres, M. Croavo, W. Bowen, D. Bouldin and D. Lathwell. 1992. Legume green manures: Dry season survival and the effect on succeeding maize crops. *Soil Management CRSP. NCSU, Raleigh N.C. Bulletin N° 92*, 35 p.
- Cáceres, O., E. González y R. Delgado. 1995. *Canavalia ensiformis* una leguminosa forrajera promisoría para la agricultura tropical. *Patos y Forrajes* 18(2):107-119. <https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path%5B%5D=1098&path%5B%5D=600>
- Camargo, I., R. Gordón, J. Franco y A.E. González. 2004. Interpretación de la interacción genotipo-ambiente y Confiabilidad de la respuesta de 5 híbridos de maíz en 30 ambientes de Azuero, Panamá, 2001 – 2003. *IDIAP. Ciencia Agropecuaria*. 16:1-16.
- Camargo, I., R. Gordón, J.E. Franco, A.E. González, E.I. Quirós y A. Figueroa. 2002. Confiabilidad de nuevos híbridos de maíz en Panamá. *Agronomía Mesoamericana*. 13(1):7-12. DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/AM.V13I1.13225>
- Canale, M.C., J.R. Spotti-Lopes, C.N. Nesi and S. de Sousa-Prado. 2018. Role of *Dalbulus maidis* (Hemiptera: Cicadellidae) gender on maize bushy stunt phytoplasma transmission. *Phytopathogenic Mollicutes* 8(1):32-39. DOI: <https://doi.org/doi:10.5958/2249-4677.2018.00005.1>
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). Proyecto Regional Manejo Integrado de Plagas. 1990. Guía para el Manejo de Integrado de Plagas del cultivo de Maíz. Turrialba, Costa Rica. 88 p. https://books.google.com.pa/books?id=ynIOAQAAIAAJ&pg=PP6&lpg=PP6&dq=Gu%C3%ADa+para+el+Manejo+de+Integrado+de+Plagas+del+cultivo+de+Ma%C3%ADz.+Turrialba,+Costa+Rica.+88+p.&source=bl&ots=gOnzbr17t&sig=ACfU3U3V6v2_AH9HilwZBe3V1BtgGXV60A&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiPx8H73OvrAhXDq1kKHRaABXcQ6AEwAHoECAgQAQ#v=onepage&q=G
-

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

[u%C3%ADa%20para%20el%20Manejo%20de%20Integrado%20de%20Plagas%20del%20cultivo%20de%20Ma%C3%ADz.%20Turrialba%2C%20Costa%20Rica.%2088%20p.&f=false](https://doi.org/10.1007/978-95-302-0000-0_10)

- Ciampitti, I., R. Elmore and J. Lauer. 2016. Corn Growth and Development. Issue 518. Kansas State University. Research and Extension.
https://webapp.agron.ksu.edu/agr_social/eu_article.throck?article_id=1010
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). 2004. Enfermedades del maíz: una guía para su identificación en campo. Cuarta edición. México D.F. CIMMYT. 118 p.
<https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/715/25905.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (consultado 25 jun 2020)
- Claassen, M.M. and R.H. Shaw. 1970. Water deficit effects on corn. II. Grain components. Agronomy Journal. 62:652–655. <https://doi.org/10.2134/agronj1970.00021962006200050032x>
- Clay, S.A. 2019. Herbicide injury to corn. In book: igrow Corn: Best Management Practices Chapter 42 Publisher: South Dakota State University. Editors: D.E. Clay, C.G. Carlson, S.A. Clay, E. Byamukama. 13 p. <https://extension.sdstate.edu/igrow-corn-best-management-practices-corn-production>
- Correia, N.M. 2016. Biology and management of *Rottboellia cochinchinensis*. Revista Brasileira de Herbicidas. 15(1):89-96. DOI: <http://dx.doi.org/10.7824/rbh.v15i1.437>
- Chaves Barrantes, N.F y M.V. Gutiérrez Soto. 2017. Respuestas al estrés por calor en los cultivos. I. Aspectos moleculares, bioquímicos y fisiológicos. Agronomía Mesoamericana. 28(1):237-253. DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/am.v28i1.21903>
- De la Torre Hernández, M.E., D. Sánchez Rangel, E. Galeana Sánchez y J. Plasencia de la Parra. 2014. Fumonisin: Síntesis y función en la interacción *Fusarium verticillioides* maíz. Revista Especializada en Ciencias Químicas-Biológicas. 17(1):77-91.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/tip/v17n1/v17n1a6.pdf> DOI: [https://doi.org/10.1016/S1405-888X\(14\)70321-3](https://doi.org/10.1016/S1405-888X(14)70321-3)
- Demari, H.D, I.R. Carvalho, M. Nardino, V.J. Szarecki, S.M. Dellagostin, T. Corazza, D.N. Follmann, M.A. Monteiro, C.J. Basso, T. Pedó, T.Z. Aumonde and P.D. Zimmer. 2016. Importance of nitrogen in maize production. I Journal of Current Research. 8(8):36629-36634.
- Denmead, O.T. and R.H. Shaw. 1960. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. Agronomy Journal. 52:272–274.
<https://doi.org/10.2134/agronj1960.00021962005200050010x>
- Diacono, M., P. Baldivieso Freitas and F.X. Sans Serra. 2019. Nitrogen utilization in a cereal-legume rotation managed with sustainable agricultural practices. Agronomy. 6:113-125. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy9030113>
- Dietzel, R., M. Liebman, R. Ewing, M. Helmers, R. Horton, M. Jarchow and S. Archontoulis. 2015. How efficiently do corn- and soybean-based cropping systems use water? A systems modeling analysis. Global Change Biology. 22:666-681 DOI: 10.1111/gcb.13101
- Ebbert, M.A., D.P. Jeffers, N.A Harrison and L.R. Nault. 2001. Lack of specificity in the interaction between two maize stunting pathogens and field collected *Dalbulus maidis* leafhoppers. Entomologia Experimentalis et Applicata 101:49-57. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2001.00890.x>

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

- Edmeades, G.O., J. Bolaños, M. Hernández and S. Bello. 1993. Causes for silk delay in a lowland tropical maize population. *Crop Science*. 31:1029-1035. DOI: 10.2135/cropsci1993.0011183X003300050031x
- Esechie, H. A., V. Rodriguez and H. Al-Asmi. 2004. Comparison of local and exotic maize varieties for stalk lodging components in a desert climate. *European Journal of Agronomy*, 21(1):21-30. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(03\)00060-1](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(03)00060-1)
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 1993. Land and water integration and river basin management. Roma, Italia. <http://www.fao.org/3/v5400e/v5400e00.htm> (consultado 16 jun 2020)
- Fava, F.D., J.M. Imwinkelried y E.V. Trumpe. 2004. Manejo del barrenador del tallo de maíz (Lepidoptera: Crambidae). INTA. Boletín No 6. <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/barrenador-tallo-de-maiz-diatraea-saccharalis-t26576.htm> (consultado 17 junio 2020).
- Fink, J.R., A.V. Inda, C. Bayer, J. Torrent and V. Barrón. 2014. Mineralogy and phosphorus adsorption in soils of south and central-west Brazil under conventional and no-tillage systems. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 36(3):379-387. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v36i3.17937>
- Fischer K.S. and A.E. Palmer. 1984. Tropical maize. In: P.R. Goldsworthy and N.M. Fischer (eds) *The Physiology of Tropical Field Crops*. Jhon Wiley and Sons, New York. pp 2133-428.
- Fonseca, A.E. and M.E. Westgate. 2005. Relationship between desiccation and viability of maize pollen. *Field Crops Research*, 94(2-3):114-125. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.12.001>
- Fox, R.H., W.P. Piekielek and K.E. McNeal. 2001 Comparison of late-season diagnostic tests for predicting Nitrogen status of corn. *Agronomy Journal*. 93:590-597. <https://doi.org/10.2134/agronj2001.933590x>
- Gamboa, W. y J. Vandermeer. 1980. Comportamiento biológico del *Cyperus rotundus* L. fases fenológicas, dinámica de crecimiento y capacidad reproductiva. *Revista Manejo Integrado de Plagas*. CATIE. 10: 13-27.
- Gates, D. 1980. *Introduction: Biophysical Ecology*. Springer-Verlag, New York.
- Giri, Y.Y., D.V Ramana Redy, H.V. Thankur, K.H. Mote and H. Singh. 2017. Nutrient Requirements of Maize Based on Soil Test Crop Response Correlation Approach, *International Journal of Pure Applied Bioscience*. 5(6):408-415. DOI: <http://dx.doi.org/10.18782/2320-7051.5418>
- Gordón Mendoza, R. 2020. Variabilidad climática y su efecto sobre la producción de maíz. Panamá. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. 48 p.
- Gordón Mendoza R., J.E. Franco Barrera, J.I. Núñez Cano, A.E. Sáez Cigarruista, F.P. Ramos Manzané, J.E. Jáen Villarreal y F.M. San Vicente García. 2020. Evaluación y selección de variedades de maíz para sistemas de agricultura familiar de Panamá, 2017-2019. *Ciencia Agropecuaria*. 31:99-126.
- Gordón Mendoza, R. e I. Camargo Buitrago. 2020. Herramientas estadísticas para la evaluación y selección de híbridos de maíz a través de múltiples ambientes y años. *Ciencia Agropecuaria*. 18 p. (en edición)

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

- Gordón Mendoza, R., J.E. Franco, J.E. Villarreal y T.J. Smyth. 2016. Manejo de la fertilización fosforada en el cultivo de maíz, El Ejido, Panamá, 2004-2013. *Agronomía Mesoamericana* 27(1):95-108. DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/am.v27i1.21889>
- Gordón Mendoza, R. y J.E Franco Barrera. 2010a. Determinación de la población óptima de plantas de nuevos híbridos de maíz, Panamá, 2010. Informe Técnicos. POA 2010-2011. IDIAP. 2 pág.
- Gordón Mendoza, R. y J.E Franco Barrera. 2010b. Determinación de los niveles óptimos de Potasio en el cultivo de maíz, Azuero, 2010. Informe Técnicos. POA 2010-2011. IDIAP. 2 pág.
- Gordón Mendoza, R. y J.E. Franco Barrera. 2009. Manejo de la fertilización suplementaria y el efecto de dos fertilizantes en el cultivo de maíz, Azuero, Panamá, 2009. Informe Técnico Anual. IDIAP. 4 p.
- Gordón Mendoza, R. y J.E. Franco Barrera. 2008. Determinación de la dosis óptima de Azufre en el cultivo de maíz en la región de Azuero, 2008. Informe Técnicos. POA 2008-2009. IDIAP. 2 pág.
- Gordón, R., T.J. Smyth, B. Name, J.E. Franco, A.E. González y J. Villarreal. 2006a. Determinación del nivel óptimo de fósforo en el cultivo de maíz a en la región de Azuero. 2004-05. Informe técnico. IDIAP. 3p.
- Gordón, R., J.E. Franco y A.E. González. 2006b. Manejo de la fertilización suplementaria y el efecto de dos mejoradores de suelo en el cultivo de maíz. Azuero, Panamá, 2004-05. Informe técnico. IDIAP. 3p.
- Gordón, R., I. Camargo, J.E. Franco y A.E. González. 2004a. Impacto de la precipitación pluvial en el rendimiento de grano de maíz en la región de Azuero, Panamá. 1995-2003. I. Análisis de la distribución de lluvias y su relación con la época de siembra. *Ciencia Agropecuaria*. 16:17-30.
- Gordón, R., I. Camargo, J.E. Franco y A.E. González. 2004b. Impacto de la precipitación pluvial en el rendimiento de grano de maíz en la región de Azuero, Panamá. 1995-2003. I. Análisis del rendimiento y su relación con la época de siembra. *Ciencia Agropecuaria*. 16:31-44.
- Gordón R., J.E. Franco y A.E. González. 2004c. Determinación de la dosis óptima de nitrógeno para el cultivo de maíz con tres modelos de respuesta. Azuero, Panamá. 2000-2002. *Ciencia Agropecuaria*. 15:1-16.
- Gordón, R., J.E. Franco y A.E. González. 2004e. Uso del clorofilómetro SPAD-502 en el manejo de la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz, Azuero, Panamá, 2000-2002. *Ciencia Agropecuaria*. 17:1-16.
- Gordón, R., J.E. Franco, N. De Gracia y A.E. González. 2002. Respuesta del maíz a la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno en rotación con *Mucuna* bajo dos tipos de labranza, Río Hato, Panamá 1993-1994. *Ciencia Agropecuaria*. 12:55-70.
- Gordón, R., A.E. González y J.E. Franco. 2000a. Determinación de la densidad óptima de plantas de los cultivares de maíz P-9490, CB-HS-8GM2 y X-1358K. Azuero, Panamá. 1998. IDIAP, *Ciencia Agropecuaria*. 10:113-122.
- Gordón, R., A.E. González y J.E. Franco. 2000b. Manejo de la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz. Azuero, Panamá, 1996 – 1998. *Ciencia Agropecuaria*. 10:123-134.
- Gordón, R., N. De Gracia, J.E. Franco y A.E. González. 1998. Evaluación de distintas épocas de siembra y la relación con la incidencia del achaparramiento en el cultivo de maíz, Azuero, Panamá, 1993-94. *Ciencia Agropecuaria*. 9:59-72.

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

- Gordón, R., A.E. González, N. De Gracia y J.E. Franco. 1997a. Eficiencia del uso de nitrógeno aplicado en forma de urea en el cultivo de maíz. Azuero, Panamá, 1993-95. *En: Síntesis de los resultados experimentales del PRM, 1993-95.* J. Bolaños (eds). Guatemala. 5:159-163. <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/3665/73111.pdf?sequence=1> (consultado 15 may 2020).
- Gordón, R., J.E. Franco, N. De Gracia y A.E. González. 1997b. Respuesta del maíz al nitrógeno y la rotación con Canavalia, bajo dos tipos de labranza. Río Hato, Panamá, 1993-94. *Agronomía Mesoamericana* 8(2):78-84. DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/AM.V8I2.24662>
- Gordón, R, I. Camargo, N. De Gracia, A.E. González, D. Pérez, A. Alvarado y J.E. Franco. 1993a. Situación del achaparramiento en el cultivo de maíz en Azuero, Panamá 1992-93. *En: Síntesis de resultados experimentales del PRM 1992.* Bolaños, J., Saín, G., Urbina, R., Barreto, H. (eds.). 4:239-246 <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/3636/67845.pdf> (consultado 14 abr 2020).
- Gordón, R., A.E. González, N. De Gracia y J.E. Franco. 1993b. Evaluación de la densidad de plantas en dos híbridos nacionales de maíz. Azuero, Panamá, 1992. *En: Síntesis de los Resultados Experimentales del Programa de Maíz IDIAP y el Proyecto Regional de Maíz para Centro América (PRM), 1991-1992.* IDIAP. Panamá. pp. 143-147.
- Gordón, R., A.E. González, N. De Gracia y J.E. Franco. 1992a. Evaluación de la densidad de plantas en dos híbridos nacionales de maíz. Azuero, Panamá, 1991. *En: Síntesis de los Resultados Experimentales del Programa de Maíz, Panamá, 1991-1992.* IDIAP. Panamá. pp. 113-116.
- Gordón, R., J.E. Franco, N. De Gracia, A.E. González, A. Pereira y W. R. Raun. 1992b. Evaluación de dosis y métodos de aplicación de azufre y su efecto residual en el cultivo de maíz en Azuero, Panamá 1991. *En: Síntesis Regional de los Resultados experimentales del PRM 1991.* 3:141-154. http://www.mag.go.cr/rev_mesov03n01_052.pdf (consultado 20 abr 2020).
- Gouesnard, B., C. Rebourg, C. Welcker and A. Charcosset, A. 2002. Analysis of photoperiod sensitivity within a collection of tropical maize populations. *Genetic Resources and Crop Evolution.* 49(5):471-481. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1020982827604>
- Guzmán de Serrano, R.F., O. Sandoval Linares y H.R. Deras Flores. 2014. Guía para identificar el complejo mancha de asfalto en el cultivo de maíz en El Salvador. CENTA. El Salvador. 15 p. <http://centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/GUIA%20MANCHA%20ASFALTO%20MAIZ.pdf> (consultado 25 jul 2020).
- Groves, C.L., N.M. Kleczewski, D.E.P., Telenko, M.I., Chilvers, and D.L. Smith. 2020. *Phyllachora maydis* Ascospore Release and Germination from Overwintered Corn Residue. *Plant Health Progress,* 21(1):26-30. DOI: <https://doi.org/10.1094/php-10-19-0077-rs>
- Gupta, P.C. and Ch.V. Rao. 2012. Pharmacognostical studies of *Cleome viscosa* Linn. *Indian Journal of Natural Products and Resources.* 3(4):527-534.
- Hall, A.J., J.H. Lemcoff and N. Trappani. 1981. Water stress before and during flowering in maize and its effect on yield, its components and their determinants. *Maydica* XXVI, 19-38.
- Hatfield, J.L. and C. Dold. 2018. Climate change impacts on corn phenology and productivity. In: Amanullah, Fahad, S., editors. *Corn Production and Human Health in Changing Climate.* London, UK: Intechopen. Chapter 6. p. 95-114. <http://doi.org/10.5772/intechopen.76933>.

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

- Henríquez, P. y D. Jeffers. 1995. El achaparramiento del maíz: Patógenos, síntomas y diagnóstico. *En: Síntesis de Resultados Experimentales 1993-1995. Programa Regional de Maíz -PRM. J. Bolaños (eds). Guatemala 5:283-290.*
<https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/3665/73111.pdf?sequence=1>
(consultado 15 may 2020)
- Hock, J., J. Kranz and B.L. Renfro. 1995. Studies on the epidemiology of the tar spot disease complex of maize in Mexico. *Plant Pathology. 44(3):490-502.* DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1995.tb01671.x>
- Hruska, A.J. 2019. Fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) management by smallholders. *CAB Reviews 14(43):1-11.* DOI: <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201914043>
- Hruska, A.J., S.M. Gladstone and R. Obando. 1996. Epidemic roller coaster: Maize stunt disease in Nicaragua. *American Entomologist. 42(4):248-252.* DOI: <https://doi.org/10.1093/ae/42.4.248>
- Jalaludin, A., Q. Yu, P. Zoellner, R. Beffa and S.B. Powles. 2017. Characterization of glufosinate resistance mechanisms in *Eleusine indica*. *Pest Management Science, 73(6):1091-1100.* doi:10.1002/ps.4528
- Jeminson, J.M. and D.E. Lytle. 1996. Field evaluation of two nitrogen testing methods in Maine. *Journal of Production Agriculture 9:108-113.* DOI: <https://doi.org/10.2134/jpa1996.0108>
- Jugenheimer, R. 1988. Maíz: variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semilla. México. Limusa. pp. 311-331.
- Kang, M.S., A.K. Din, Y. Zhang and R. Magari. 1999. Combining ability for rind puncture resistance in maize. *Crop Science. 39:368-371.* <https://doi.org/10.2135/cropsci1999.0011183X0039000200011x>
- Kanwar, R.S., J.L. Baker and S. Mukhtar. 1988. Excessive soil water effects at various stages of development on the growth and yield of corn. *Agricultural and Biosystems Engineering Publications. 511.* https://lib.dr.iastate.edu/abe_eng_pubs/511
- Kiesselbach, T.A. 1949. The structure and reproduction of corn. Univ. of Nebraska Press, Lincoln. <https://digitalcommons.unl.edu/ardhistrb/284/> (consultado 14 may 2020).
- King, A.B.S. and J.L. Saunders. 1984. Las plagas invertebradas de cultivos anuales alimenticios en América Central. Una guía para su reconocimiento y control. London Overseas Development Administration (ODA) CATIE. 182 p. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A7090e/A7090e.pdf> (consultado 5 jun 2020)
- Kranz, W.L, S. Irmak, S.J. van Donk, C.D. Yonts and D.L. Martin. 2008. Irrigation management for corn. Nebraska Extension NebGuide G1850. <https://extensionpublications.unl.edu/assets/pdf/g1850.pdf> (consultado 20 feb 2020).
- Kumudini, S., F.H. Andrade, K.J. Boote, G.A. Brown, K.A. Dzotsi, G.O. Edmeades, T. Gocken, M. Goodwin, A.L. Halter, G.L. Hammer, J.L. Hatfield, J.W. Jones, A.R. Kemanian, S.H. Kim, J. Kiniry, J.I. Lizaso, C. Nendel, R.L. Nielsen, B.Parent, C.O. Stöckle, F. Tardieu, P.R. Thomison, D.J. Timlin, T.J. Vyn, D. Wallach, H.S. Yang and M. Tollenaar. 2014. Predicting Maize Phenology: Intercomparison of Functions for Developmental Response to Temperature. *Agronomy Journal. 106(6):2087-2097.* DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj14.0200>

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

- Lafitte, H.R., 2001. Estreses abióticos que afectan al maíz. En: El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. R. Paliwal, G. Granados, H.R. Lafitte y A. Violic (eds.). FAO.
<http://www.fao.org/3/x7650s/x7650s00.htm> (consultado el 20 feb 2020).
- Lafitte, H.R. 1994. Identificación de problemas en la producción de maíz tropical. Guía de Campo. México D.F. CIMMYT. 122 p.
<https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/727/43157.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (consultado 9 sep 2020)
- Lauer, J.G., P.R. Carter, T.M. Wood, G. Diezel, D.W. Wiersma, R.E. Rand and M.J. Mlynarek. 1999. Corn Hybrid Response to Planting Date in the Northern Corn Belt. *Agronomy Journal*. 91:834–839.
<https://doi.org/10.2134/agronj1999.915834x>
- Lestari, P., A. Budiarti, Y. Fitriana, Fx. Susilo, I.G. Swibawa, H. Sudarsono, R. Suharjo, A. M.H. Purnomo, Nuryasin, Solikhin, L. Wibowo, Jumari and M. Hartaman. 2020. Identification and genetic diversity of *Spodoptera frugiperda* in Lampung Province, Indonesia. *Biodiversitas* 21(4):1670-1677. DOI:
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d210448>
- Li, Y., K. Guan, G. D. Schnitkey, E. DeLucia and B. Peng. 2019. Excessive rainfall leads to maize yield loss of a comparable magnitude to extreme drought in the United States. *Global Change Biology*. 25:2325-2337 DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.14628>
- Liceras Zarate L., L. Valladares Rodríguez, R. Reyna-Espinoza y H. Escuadra-Vergaray. 2007. Biología de *Diatraea saccharalis* Fabr. (Lepidoptera: Pyralidae) alimentado con dos tipos de *Zea mays* (L.). *Pueblo Continente*. 18(1):85-93.
- Lindeman, G. von, 1986. Características de la maleza *Rottboellia exaltata*, su distribución comportamiento y medidas de control. *En Seminario Taller de Malezas* (1985). J. Pinochet, von Lindeman, G. (eds.). CATIE, Informe Técnico No.71:44-46.
- Lizaso, J.I., M. Ruiz Ramos, L. Rodríguez, C. Gabaldon Leal, J.A. Oliveira, I.J. Lorite and A. Rodríguez. 2018. Impact of high temperatures in maize: Phenology and yield components. *Field Crops Research*. 216: 129-140. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.11.013>
- Lobell, D.E., G.L. Hammer, G. McLean, C. Messina, M.J. Roberts and W. Schelenker. 2013. The critical role of extreme heat for maize production in the United States. *Nature Climate Change* 3(5):497-501. DOI:10.1038/NCLIMATE1832
- Llanos, M. 1984. El Maíz. Su cultivo y Aprovechamiento. Ediciones Mundi Prensa. Madrid España. 318 p.
- Maikhuri, R.K., R.L. Semwal, K.S. Rao, S. Nautiyal and K.G. Saxena. 2000. *Cleome viscosa*, Capparidaceae: A weed or a cash crop. *Economic Botany* 54(2):150-154. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02907819>
- Marquard, R.D. and J.L. Tipton. 1987. Relationship between extractable chlorophyll and an in situ method to estimate leaf greenness. *HortScience* 22(6):1327.
- Martín, G.M., J.R. Costa Rouws, S. Urquiaga y R.A. Rivera. 2007. Rotación del abono verde *Canavalia ensiformis* con maíz y micorrizas arbusculares en un suelo nitisol ródico éutrico de Cuba. *Agronomía Tropical*.57(4):313-321. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0002-192X2007000400007&lng=en&nrm=iso&tlng=es

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

- McWilliams, D.A., D.R. Berglund and G.J. Endres. 1999. Corn Grow and Management Quick Guide. North Dakota State University. A1173 <https://www.ag.ndsu.edu/publications/crops/corn-growth-and-management-quick-guide> (consultado 13 jul 2020).
- Medina, M., F. Becerra y R. Gordón. 2004. Evaluación Financiera del Proyecto de Investigación y Desarrollo para la Generación y Manejo de Maíces para consumo Humano en Panamá 2000-2003. IDIAP. Documento interno 42 p.
- Mi, C., X. Zhang, S. Li, J. Yang, D. Zhu. and Y. Yang. 2011. Assessment of environment lodging stress for maize using fuzzy synthetic evaluation. *Mathematical and Computer Modelling*. 54(3-4):1053-1060. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2010.11.035>
- MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario). 2020a. Serie histórica de los rubros agrícolas 1990-2020. https://www.mida.gob.pa/direcciones/direcciones_nacionales/direcci-n-de-agricultura/serie-hist-rica-1990-2020.html (consultado 18 junio 2020).
- MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario). 2020b. Costo de Producción Normativo para una hectárea de maíz mecanizado convencional con semilla híbrida importada. Abril 2019. https://www.mida.gob.pa/upload/documentos/2_maiz_normativo_2019.pdf (consultado 18 agosto 2020).
- Name, B. y A. Cordero. 1987. Recomendaciones para la fertilización de suelos: Hojas guías por cultivo. En: Compendio de los resultados de Investigación presentados en la Jornada Científica. IDIAP. 22 p.
- NeSmith, D.S., and Ritchie, J.T., 1992. Short- and long-term responses of corn to pre-anthesis soil water deficit. *Agronomy Journal*. 84, 107–113. <https://doi.org/10.2134/agronj1992.00021962008400010021x>
- Norwood C.A. 2001. Planting Date, Hybrid Maturity, and Plant Population Effects on Soil Water Depletion, Water Use, and Yield of Dryland Corn. *Agronomy Journal*. 93:1034-1042. <https://doi.org/10.2134/agronj2001.9351034x>
- Noellsch, A.J., P.P. Montavalli, K.A. Nelson and N.R. Kitchen. 2009. Corn response to conventional and slow release nitrogen fertilizers across a Claypan Landscape. *Agronomy Journal*. 101:607-614. DOI: doi:10.2134/agronj2008.0067x
- Núñez Cano, J., R. Gordón Mendoza, J.E. Franco Barrera, J.E. Jaén Villarreal y A. Sáez-Cigarruista. 2018a. Índice hídrico de dos cultivares de maíz bajo dos sistemas de siembra. *Ciencia Agropecuaria*. 29:101-113.
- Núñez Cano, J., J.E. Villarreal Núñez, R. Gordón Mendoza, J.E. Franco Barrera, J.E. Jaén Villarreal, A. Sáez Cigarruista, F. Ramos Manzané y A. Ávila Guevara. 2018b. Retención de fósforo en suelos dedicados al cultivo de maíz en la región de Azuero. *Ciencia Agropecuaria*. 29:66-79.
- Oliveira de, S., S.M. de Sousa and E.C. Landau. 2011. Transmission of maize bushy stunt phytoplasma by *Dalbulus maidis* leafhopper. *Bulletin of Insectology*. 64:S153-S154. <http://www.bulletinofinsectology.org/pdfarticles/vol64-2011-s153-s154de-oliveira.pdf> (consultado 27 ago 2020).
- Ortiz Mora, A., L. Sánchez Chaves and F. Ramírez Arias. 2001. *Baltimora recta*: a pollen and nectar plant for honey bees during dearth periods in Costa Rica. *Bee World*. 82(1):41-44. DOI:10.1080/0005772x.2001.11099499

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

- Oyebiyi, F.B., L. Aula, P. Omara, E. Nambi, J.S. Dhillon and W.R. Raun. 2019. Maize (*Zea mays* L.) Grain yield response to methods of nitrogen fertilization. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 50(21):2694-2700. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1670837>
- Paliwal, R.L., G. Granados, R. Lafitte, A.D. Violic, y H. Mathée. 2001. El Maíz en los trópicos: Mejoramiento y Producción. Colección FAO: Producción y protección vegetal No. 28. <http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s00.htm> (consultado 12 ago 2020).
- Pandey, S and C.O. Gardner. 1992. Recurrent selection population, variety and hybrid improvement in tropical maize. *Advances in Agronomy*. 48:1-87. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60935-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60935-9)
- Paniagua Zambrana, N.Y., R.W. Bussmann, J. Echeverría and C. Romero. 2020. *Amaranthus caudatus* L., *Amaranthus deflexus* L., *Amaranthus hybridus* L., *Amaranthus retroflexus* L., *Amaranthus spinosus* L., *Amaranthaceae*. En: *Ethnobotany of the Andes* N.Y. Paniaguas Zambrana y R.W. Bussmann Eds. Springer. 1955 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-28933-1>
- Panison, F., L. Sangoi, D.F. Kolling, C.M. Madeiros Coelho and M.M. Durli. 2016. Harvest time and agronomic performance of maize hybrids with contrasting growth cycles. *Acta Scientiarum. Agronomy*. 38(2):219-226. DOI: <https://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v38i2.27901>
- Parry, C., J.M. Bloquist and B. Bugbee. 2014. In situ measurement of leaf chlorophyll concentration: analysis of the optica/absolute relationship. *Plant, Cell and Environment* 37:2508-2520. <https://doi.org/10.1111/pce.12324>
- Peairs, F.B. y J.L. Saunders. 1980. *Diatraea lineolata* y *D. saccharalis*: Una revisión en relación con el maíz. *Agron. Costarricense* 4(1):123-135. *Agrociencia* 43(5):511-519. https://www.mag.go.cr/rev_agr/v04n01_123.pdf (consultado 12 ago 2020)
- Pereyda Hernández, J., J. Hernández Morales y J.S. Sandoval Islas. 2009. Etiología y manejo de la mancha de asfalto (*Phyllachora maydis* Maubl) del maíz en Guerrero, México. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v43n5/v43n5a6.pdf> (consultado 20 ago 2020)
- Piekielek, W.P., R.H. Fox, J.D. Toth and K.E. McNeal. 1995. Use of a Chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate Nitrogen sufficiency. *Agronomy Journal*. 87:403-408. <https://doi.org/10.2134/agronj1995.00021962008700030003x>
- Piekielek, W.P. and R.H. Fox. 1992. Use of chlorophyll meter to predict side dress Nitrogen requirements for maize. *Agronomy Journal*. 84:59-65. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj1995.00021962008700030003x>
- PPI (Potash and Phosphate Institute). 1999. Phosphorus for agriculture. *Better crops with plant food*. 83(1). [http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/8E2921B2D5FB31B085257980007CD130/\\$FILE/BC-1999-1.pdf](http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/8E2921B2D5FB31B085257980007CD130/$FILE/BC-1999-1.pdf) (consultado 11 sep 2020)
- PPI (Potash and Phosphate Institute). 1988. *Manual de Fertilidad de los Suelos*. 1ª Impresión en español. 85 p. <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4910/1/110.pdf> (consultado 15 jun 2020)
- PPI (Potash and Phosphate Institute). 1987. Potassium for agriculture. *Better Crops with plant food*. 71(4). [http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/EE173BAB733F2ED285257D2A00506555/\\$FILE/BC-1987-3.pdf](http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/EE173BAB733F2ED285257D2A00506555/$FILE/BC-1987-3.pdf) (consultado 11 sep 2020)
- Purseglove, J.W. 1972. *Tropical Crops: Monocotyledons*. Longman. London.
-

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

- Quiroga Madrigal, R.R., E.R. Garrido Ramírez, M.A. Rosales Esquinca y W.M. Salazar Pinacho. 2017. Manual Técnico: Manejo integrado del complejo mancha de asfalto del maíz en México. Universidad Autónoma de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, México. 39p. https://www.researchgate.net/profile/Ricardo_Quiroga-Madrigal/publication/317929566_Manual_tecnico_Manejo_integrado_del_complejo_mancha_de_asfalto_del_maiz_en_Mexico/links/5951bcb20f7e9b329234d6c0/Manual-tecnico-Manejo-integrado-del-complejo-mancha-de-asfalto-del-maiz-en-Mexico.pdf (consultado 20 ago 2020)
- Rahman, M.M., A.M. Islam, S.M. Azirun and A.N. Boyce. 2014. Tropical Legume Crop Rotation and Nitrogen Fertilizer Effects on Agronomic and Nitrogen Efficiency of Rice. The Scientific World Journal, vol. 2014, Article ID 490841, 11 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/490841>
- RED SICTA (Red Sistema de Integración Centroamericano de Tecnología Agrícola). 2011. Reconocimiento en campo de la mancha de asfalto en el cultivo de maíz. Ixcán, Quiché, Guatemala. 8p. <http://repiica.iica.int/docs/b3473e/b3473e.pdf> (consultado 20 ago 2020).
- Ritchie, S.W. and J. Hanway. 1982. How a corn plants develops. Special Reports No. 48, Iowa State University, Iowa. <https://core.ac.uk/download/pdf/83024409.pdf> (consultado 1 ago 2020)
- Robertson, A.E., L. Jesse, G. Munkvold, E. Salaau Rojas and D.S. Mueller. 2015. *Physoderma* brown spot and stalk rot of corn caused by *Physoderma maydis* in Iowa. Plant Health Progress. 16(2):90-92. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHP-BR-15-0003ex>
- Roschewitz, I., D. Gabriel, T. Tschardt and C. Thies. 2005. The effects of landscape complexity on arable weed species diversity in organic and conventional farming: Landscape complexity and weed species diversity". Journal of Applied Ecology, 42(5):873-882. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01072.x>
- Roy, R.N., A. Finch, G.J. Blair and H.L.S. Tandon. 2006. Plant nutrition for food security: A guide for integrated nutrient management. FAO. 347 p. http://www.fao.org/fileadmin/templates/soilbiodiversity/Downloadable_files/fpn16.pdf (consultado 11 sep 2020).
- Ruane, A.C., C.L. DeWayne, R.M. Horton, R. Gordón, R. McCollum, D. Brown, B. Killough, R. Goldberg, A.P. Greeley and C. Rosenzweig. 2013. Climate change impact uncertainties for maize in Panama: Farm information, climate projections, and yield sensitivities. Agricultural and Forest Meteorology. 170:132-145 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.10.015>
- Sáez Cigarruista, A, R. Gordón Mendoza, R., J. Núñez Cano, J. Jaén Villarreal, J.E. Franco Barrera, F. Ramos Manzané y A. Ávila Guevara. 2018. Coeficientes genéticos de dos cultivares de maíz en Azuero, Panamá. Ciencia Agropecuaria. 29:81-100.
- Sah, R.P., M. Chakraborty, K. Prasad, M. Pandit, V.K. Tudu, M.K. Chakravarty, S.C. Narayan, M. Rana and D. Moharana. 2020. Impact of water deficit stress in maize: Phenology and yield components. Scientific Reports, 10(1):2944. DOI:10.1038/s41598-020-59689-7
- Sainz Rozas, H. y H.E. Echeverría. 1998. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento en grano. Revista de la Facultad de Agronomía La Plata 103 (1):37-44.
- Sánchez, P. 1976. Properties and management of soils in the tropics. John Wiley & Sons. New York. 618 p.

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

- Sánchez Rangel, D., S. Sánchez Nieto and J. Plasencia. 2012. Fumonisin B1, a toxin produced by *Fusarium verticillioides*, modulates maize β -1,3-glucanase activities involved in defense response. *Planta*, 235(5):965-978. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00425-011-1555-0>
- Saroop, S. and V. Kaul. 2015. *Cleome viscosa*: a promising underutilized minor crop. *Genetic Resources and Crop Evolution* 62:1121-1126. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10722-015-0305-8>
- Shaw, R.H. and J.E. Newman. 1985. Weather stress in the corn crop. Michigan State University. University Extension. NCH-18 National Corn Handbook 4 p. <https://www.baycounty-mi.gov/Docs/CitizenCorps/WeatherStressInTheCornCrop.pdf> (consultado 22 jul 2020)
- Shylesha, A.N., S.K. Jalali, A. Gupta, R. Varshney, T. Venkatesan, P. Shetty, R. Ojha, P.C. Ganiger, O. Navik, K. Subaharan, N. Bakthavatsalam and C.R. Ballal. 2019 Studies on new invasive pest *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) and its natural enemies. *Journal of Biological Control*. 32(3):1-7. <https://ejournal.ukm.my/serangga/article/view/37333/10424>
- Šimon, T. 2011. Utilization of the biological nitrogen fixation for soil evaluation. *Plant, Soil and Environment*, 49(8):359-363. DOI: <https://doi.org/10.17221/4137-PSE>
- Sinuraya, O, E. Purba and Hasanuddin. 2019. Distribution and frequency paraquat resistant populations of *Eleusine indica* on cornfield in Karo Regency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 454. 012190. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/454/1/012190> .
- Sloan, R.F. 2000. Legume Rotations-Crop Yields and Nitrogen Fixation Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports: Vol. 0: Iss. 12. <https://doi.org/10.4148/2378-5977.7315>
- Solórzano, P.R., 2020. P₂O₅ y K₂O expresan el contenido de fósforo y potasio de los fertilizantes. *Minuta agropecuaria*. Disponible en <http://www.minutaagropecuaria.com/ambiente/p2o5-k2o-expresan-contenido-fosforo-potasio-los-fertilizantes/> (consultado 30 jul 2020).
- Steduto, P., T.C. Hsiao, E. Fereres y D. Raes. 2012. Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. FAO. Roma, Italia, 510 p. <http://www.fao.org/3/a-i2800s.pdf> (consultado 23 jul 2020).
- Tampubolon, K., E. Purba, M. Basyuni and D.S. Hanafiah. 2019. Histological, physiological and agronomic characters of glyphosate resistant *Eleusine indica* biotypes. *International Journal of Agriculture and Biology*. 22:1636-1644. [http://www.fspublishers.org/published_papers/1577442539_51%20doi%2015.1245%20IJAB-19-0952%20\(9\)%201636-1644.pdf](http://www.fspublishers.org/published_papers/1577442539_51%20doi%2015.1245%20IJAB-19-0952%20(9)%201636-1644.pdf)
- Tebaldi, C., K. Hayhoe, J.M. Arblaster and G.A. Meehl. 2006. Going to the Extremes: An intercomparison of model simulated historical and future changes in extreme events. *Climatic Change*. 79(3-4):185-211. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9051-4>
- Traore, S.B., R.E. Carlson, C.D. Pilcher and M.E. Rice. 2000. Bt and Non-Bt maize growth and development as affected by temperature and drought stress. *Agronomy Journal*. 92:1027-1035. <https://doi.org/10.2134/agronj2000.9251027x>
- Uddling, J., J. Gelang-Alfredsson, K. Piikki and H. Pleijel. 2007. Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. *Photosynthesis Research*. 91(1):37-46. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11120-006-9077-5>

EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTES CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

- Udom, B.E. and O.J. Kamalu. 2019. Crop requirements during growth period of maize (*Zea mays* L) in a moderate a permeability soil on Coastal Plain Sands International. J. Plant Research. 9(1):1-7. <http://article.sapub.org/10.5923.j.plant.20190901.01.html>
- Valarezo, O, E. Cañarte, B. Navarrete y M. Intríago. 2009. La chicharrita *Dalbulus maidis* y su manejo en el cultivo de maíz. Plegable Divulgativo 305. INIAP. Estación Experimental Portoviejo. Ecuador. 6 p. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21501.46566>
- Varón de Agudelo, F. y G.A. Sarría Villa. 2007. Enfermedades del maíz y su manejo: Compendio ilustrado. ICA. 55 p. <http://www.fenalce.org/archivos/maiz.pdf> (consultado 20 feb 2020).
- Varvel, G.E., J.S. Schepepers and D.D. Francias. 1997. Ability for in-season correction of Nitrogen deficiency in corn using Chlorophyll meters. Soil Science Society of America Journal. 61(4):1233-1239. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100040032x>
- Vega, C.R.C., F.H. Andrade, V.O. Sadras, S.A. Uhart and O.R. Valentinuz. 2001. Seed number as a function of growth. A comparative study in soybean, sunflower and maize. Crop Science. 41:748-754. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2001.413748x>
- Vergara, E. 2010. Situación actual del cultivo de maíz en Panamá. Documento Interno. Programa de maíz de la Dirección Nacional de Agricultura del Ministerio de Desarrollo Agropecuario. 4 pág.
- Villarreal Núñez, J.E., S. Jaramillo, B. Name Tuñón y J.A. Villalaz Pérez. 2017. Formas de fósforo en suelos de Panamá. Ciencia Agropecuaria. 26:97-111
- Villarreal Núñez, J.E., B. Name y R. García. 2013. Zonificación de suelos en Panamá en base a niveles de nutrientes. Ciencia Agropecuaria. 21:71-98.
- Wood, C.W., D.W. Reeves, R.R. Duffield and K.L. Edmisten. 1992. Field chlorophyll measurements for evaluation of corn nitrogen status. J. Plant. Nutr. 15:487-500. <https://doi.org/10.1080/01904169209364335>
- Yadava, U.L. 1986. A rapid and nondestructive method to determine chlorophyll in intact leaves. HortScience. 21:1449-1450.
- Zotarelli, L., E. García Cardozo, J.L. Piccinin, S. Urquiaga, R.M. Boddey, E. Torres e B.J. Rodrigues Alves. 2003. Calibração do medidor de clorofila Minolta SPAD-502 para avaliação do conteúdo de nitrogênio do milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira 38(9):1117-1122. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2003000900014>



Créditos

MANUAL TÉCNICO
EL MAÍZ EN PANAMÁ:
CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES
PARA SU PRODUCCIÓN EN AMBIENTE CON ALTA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

Autor

Román Gordón Mendoza

Revisores Técnicos

Ismael Camargo Buitrago
Marcos Antonio Medina Zambrano

Edición

Neysa Garrido Calderón

Diagramación

Gregoria Hurtado

Fotografías

Archivos del IDIAP

Redes sociales

 [idiap_panama](https://www.instagram.com/idiap_panama)  [IDIAP_PA](https://twitter.com/IDIAP_PA)  [IDIAP Panamá](https://www.facebook.com/IDIAPPanama)  [IDIAP PA](https://www.youtube.com/IDIAP_PA)



id|ap

Patrocinadores

