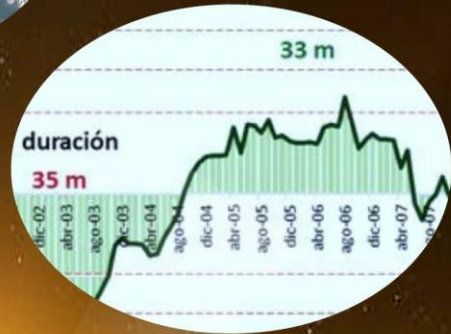




REPÚBLICA DE PANAMÁ
GOBIERNO NACIONAL

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
AGROPECUARIA DE PANAMÁ



VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y SU EFECTO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ

Citación

Gordón – Mendoza, R.

VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y SU EFECTO SOBRE
LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ

Panamá: Instituto de Investigación Agropecuaria de
Panamá, 2020.

48 p.

Agricultura sostenible-rendimiento-lluvia-
fecha de siembra-cultivares

Impreso: ISBN 978-9962-677-49-9

Digital: ISBN 978-9962-677-50-5



REPÚBLICA DE PANAMÁ
— GOBIERNO NACIONAL —

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
AGROPECUARIA DE PANAMÁ

VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y SU EFECTO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ

ÍNDICE	PAG.
Antecedentes	1
Necesidades hídricas del cultivo de maíz	3
La lluvia en la región de Azuero	7
Análisis por localidad	10
Caracterización de la sequía en la región de Azuero	11
Época de siembra en función a la precipitación	17
Época de siembra de acuerdo a las zonas en Azuero	20
Recomendaciones para la fecha de siembra en Azuero	22
Rendimiento de grano según fecha de siembra	24
Efecto de la fecha de siembra tardía en la zona de Azuero	28
Selección de variedades tolerantes a estrés hídrico	32
Consideraciones finales	34
Bibliografía	35

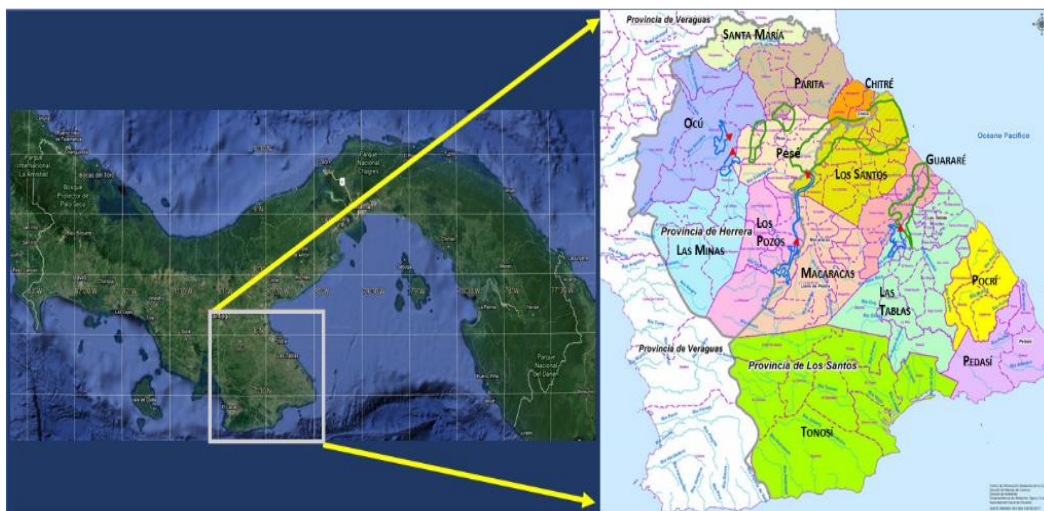
VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y SU EFECTO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ

Román Gordón-Mendoza¹

ANTECEDENTES

La región de Azuero está localizada en la península de mayor tamaño de la República de Panamá, se ubica entre 7°12' y 8°05' de latitud norte y entre 79°59' y 81°06' de longitud oeste. Limita al norte con las provincias de Coclé y Veraguas, al sur

con el océano Pacífico, al este con el golfo de Montijo y al este con el golfo de Panamá. En la misma, se encuentran ubicadas las provincias de Herrera, Los Santos y la parte suroriental de la provincia de Veraguas (Figura 1).



Fuente: <https://earth.google.com/web/@8.74740667,-78.96484884,35.25887528a,953507.89558142d,35y,0h,0t,0r>

Fuente: <https://micanaldepanama.com/wp-content/uploads/2019/08/mapa-pnsh-azuero.jpg>

Figura 1. Localización de la región de Azuero y división política de las provincias de Herrera y Los Santos.

¹ Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Centro de Investigación Agropecuaria Azuero (CIA-Azuero). Correo electrónico: gordon.roman@gmail.com

Desde otra perspectiva, se conoce como región de Azuero únicamente a las provincias de Herrera y Los Santos. De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, tiene un clima tropical de sabanas Aw (Peel *et al.*, 2007) y pertenece a la zona de vida del Bosque Seco Tropical según la clasificación de Holdridge (ANAM, 2010). En las costas y tierras bajas se encuentra el bosque seco, altamente intervenido y alternado con extensas sabanas. Generalmente se distinguen dos regímenes pluviales o épocas, la seca y la lluviosa. La primera de ellas se extiende desde finales de noviembre hasta inicios de mayo del siguiente año, y la segunda, desde mayo hasta noviembre, con menor intensidad que en el resto del país. La costa oriental de la península de Azuero es la región más seca de Panamá y suele sufrir prolongadas sequías; las tierras destinadas a la agricultura se ocupan con los cultivos de maíz, hortalizas de tierra baja (solanáceas y cucurbitáceas) y con la ganadería de doble propósito.

En Panamá se consumen aproximadamente 487,600 toneladas de maíz por año, de las cuales 96,600 son producidas nacionalmente y el resto son importadas. Del maíz que ingresa a los canales de comercialización, un 12.3% (59,800 t) se procesa para consumo

humano y el mismo es proporcionado en su totalidad por el maíz cosechado a nivel nacional; el 87.7% restante (427,800 t), corresponde al consumo de la industria de alimentos para animales, el cual es cubierto tanto por el maíz importado como por parte de la producción nacional. En el año agrícola 2018-2019, aproximadamente 742 productores sembraron 17,812 hectáreas de las cuales se cosechó 81,739 toneladas. En la región de Azuero el área sembrada de este cultivo ha fluctuado en los últimos años, pero la misma alcanzó un promedio de 18,000 hectáreas en las últimas diez campañas. En esta misma región, se produce el 97.1% de la producción nacional; esta actividad involucró en promedio unos 600 productores en ambas provincias de esta región (MIDA, 2020).

En los últimos años, las provincias del país se han caracterizado por un clima adverso y los desastres naturales. Los cambios recientes derivados de factores como el calentamiento global 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 la pobreza extrema. Sequías al inicio de los ciclos de siembra, lluvias

intensas en algunos períodos de cultivo y la aparición de nuevas plagas, están causando trastornos importantes en la 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). El desarrollo de cultivares y prácticas agronómicas que disminuyan el efecto de la sequía producirán beneficios económicos para los agricultores y contribuirán a mitigar el efecto del cambio climático al reducir el impacto de la sequía. Existe consenso sobre el hecho de que un incremento en la temperatura podría generar pérdidas en los cultivos (Lobell *et al.*, 2013, Battisi y Naylor, 2009, Sage y Kubien 2007). Bajo ese contexto, la identificación de prácticas agronómicas de manejo con alta capacidad de adaptación y resiliencia a la variabilidad climática se convierte en una prioridad inmediata.

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 de la misma. La dependencia de importaciones de maíz a futuro puede ser un factor de

alto riesgo en términos de la seguridad alimentaria nacional, la actividad económica y el agronegocio de pequeños, medianos y grandes productores, además de las empresas que procesan el grano. Es importante resaltar que cuando los precios internacionales están bajos, las industrias de piensos tienden a desestimar la producción interna, lo que a futuro puede ser muy riesgoso. Cualquier acuerdo deberá estar respaldado por un esfuerzo de incremento de la productividad interna sin importar lo que suceda con los precios internacionales.

NECESIDADES HÍDRICAS DEL CULTIVO DE MAÍZ

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. El principal efecto de la sequía en el período vegetativo es reducir el crecimiento de las hojas, de modo que el cultivo capta menos radiación solar. El agua es tomada del suelo y distribuida a través de la planta; parte es usada por la planta y el resto vuelve a la atmósfera en forma de

vapor (transpiración). Sin embargo, la tasa de pérdida del agua depende de varios factores entre los que están: temperatura y humedad ambiental, radiación solar, viento y área foliar del cultivo (Rhoads y Yonts, 1991, Kranz *et al.*, 2008).

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). 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). Estudios realizados en la faja maicera de los Estados Unidos por McIlrat y Earley (1961), indicaron que las necesidades de agua por parte de la planta de maíz en los meses del cultivo es de 100 mm el primer mes, 175 mm el segundo y 100 mm el tercer mes. Lafitte (2001) y Steduto *et al.* (2012), señalan que el cultivo de maíz requiere para un normal crecimiento de 500 a 800 mm de lluvia bien distribuida. Otros estudios señalan que, a lo largo del desarrollo de la planta de maíz, el consumo de agua varía; al inicio la demanda por el agua es baja, pero a medida que pasa el tiempo la misma se

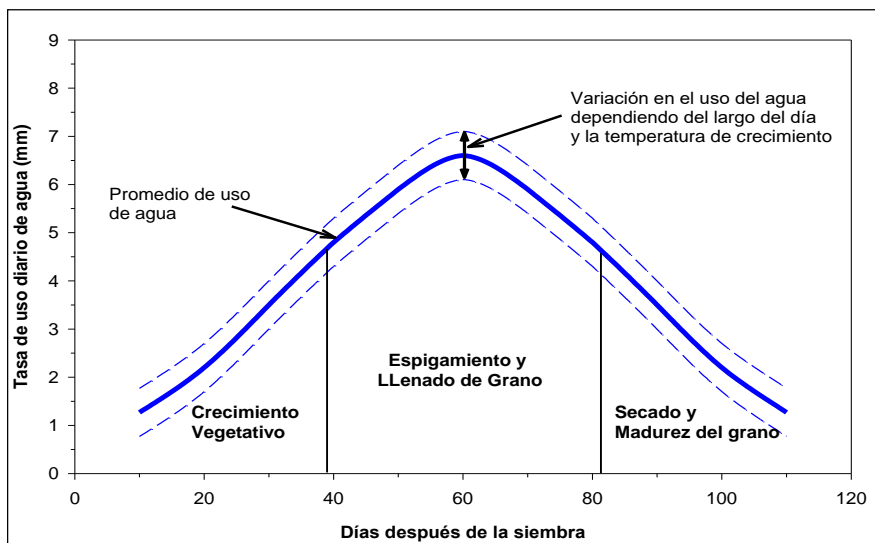
incrementa, para reducir su consumo nuevamente al final del cultivo (Kranz *et al.*, 2008). La Figura 2 muestra como varía el consumo del agua a lo largo del desarrollo del cultivo.

El conocimiento de las características fenológicas del cultivo establece el marco temporal que forma el rendimiento y sus componentes. En las etapas de germinación, iniciación floral, floración y madurez fisiológica se delinean respectivamente la fase vegetativa, reproductiva y de llenado de grano (Bolaños y Edmeades, 1993a). En la fase reproductiva se determina la inflorescencia femenina y, por tanto, el número de mazorcas por planta y el número de granos por mazorca. Entre la emisión del polen y la emergencia de los estigmas del maíz existe un período de uno a dos días, etapa conocida como ASI por sus siglas en inglés (Anthesis-Silking Interval). Adicional a la diferencia en tiempo en la floración, en esta especie ambas flores se encuentran separadas más de un metro. Ambos aspectos, hacen que la polinización y la producción de granos sea una fase extremadamente sensitiva a los estreses ambientales, llegándose a perder hasta un 10% del rendimiento por cada día de retraso del tiempo de la emisión de los estigmas con

referencia a la antesis (Bolaños y Barreto, 1991, Bolaños y Edmeades, 1993 a y b).

El cultivo de maíz se encuentra expuesto a diferentes estreses (bióticos y abióticos) en cada una de las fases ontogénicas comprendidas desde la siembra hasta la madurez fisiológica, sin embargo, la etapa crítica en el cultivo de maíz va de la floración masculina a la segunda etapa de la fase reproductiva conocida como R2 (Fase lechosa). En esta fase se puede perder por estrés hídrico hasta un 50% del potencial del rendimiento. En la fase de llenado del

grano, la cual comprende de la etapa R2 a la etapa R5, se constituye en la otra fase en donde la planta de maíz se ve afectada grandemente por cualquier estrés hídrico que sufra (McWilliams *et al.*, 1999, Shaw y Newman, 1985). En estas etapas, limitaciones en la disponibilidad del recurso agua por un período prolongado de días puede resultar en un 100% de reducción del rendimiento. El Cuadro 1 resume como se afecta el rendimiento de grano por día de sequía en el cultivo de maíz de acuerdo a McWilliams *et al.* (1999) y Denmead y Shaw (1960).



Fuente: Kranz *et al.*, 2008.

Figura 2. Curva de utilización del agua durante el desarrollo de la planta de maíz.

Cuadro 1. 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
1-30	VE-V9	---	---
31-50	V10-V18	2.0	25
51-79	VT-R2	6.0	50
80-107	R3-R5	1.5	25

¹ Fenología del cultivo (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. (McWilliams *et al.*, 1999).

Se ha estudiado el efecto del estrés hídrico en la reducción del rendimiento de la biomasa y grano de maíz (Song *et al.*, 2019, Traore *et al.*, 2000, Denmead y Shaw, 1960). 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 si el agua escasea durante este período, el rendimiento de grano puede ser seriamente afectado (Sah *et al.*, 2020, Andrade *et al.*, 2002, Vega *et al.*, 2001, Pandey *et al.*, 2000). Claassen y Shaw (1970) observaron que el estrés antes o durante el barbeo y la polinización resultó en un número reducido de granos, mientras que el estrés durante o

después del barbeo redujo el peso del grano. Durante el llenado de granos, el principal efecto de la sequía es reducir el tamaño de éstos (Lafitte, 1994, Hall *et al.*, 1981). NeSmith y Ritchie (1992) atribuyeron la pérdida de rendimiento por estrés hídrico durante la pre-antesis a una reducción en el número de granos bien desarrollados. Bryant *et al.* (1992) indicaron que el estrés hídrico reduce el rendimiento al disminuir la biomasa acumulada y el índice de cosecha (relación entre 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 el déficit hídrico 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).

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 (Figura 3).

LA LLUVIA EN LA REGIÓN DE AZUERO

Se realizó un análisis para caracterizar la precipitación pluvial de la región de Azuero, tomando los registros de lluvia de 12 pluviómetros ubicados a lo largo de su zona maicera. Los mismos estaban localizados en los distritos de Pedasí (2), Pocrí (2), Las Tablas (2), Guararé (2), Los Santos (2) y Parita (2). El estudio comprendió el período de 1995 hasta 2018. Los pluviómetros en Parita, La Villa, Tablas Abajo, Cocobolas, los dos de Pocrí y el de Pedasí tuvieron registros durante los 24 años del estudio (registros llevados por ANAM y el departamento de Hidrometeorología de

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

El mes con el mayor promedio de lluvia fue octubre (209 mm), mientras que en febrero y marzo se registró la menor cantidad de lluvia durante el período en estudio. Los meses con mayor variación en este período fueron noviembre y agosto con valores de desviación estándar superior a 66.0 mm año⁻¹. 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 4).



Figura 3. Parcelas de maíz en estado vegetativo (a) y floración (b) presentando síntomas de estrés por déficit hídrico.

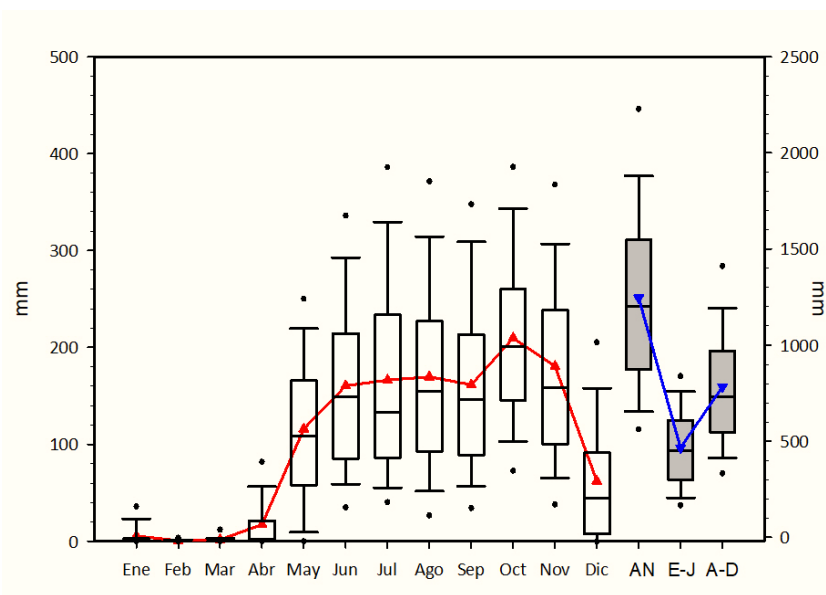


Figura 4. Promedio y variabilidad de la lámina de agua por mes y períodos del año en la región de Azuero de 1995 a 2018. Los triángulos rojos representan la media mensual. Triángulos azules representan la media acumulada anual (AN), enero-julio (E-J) y agosto-diciembre (A-D). Las cajas de Tukey representan la distribución mensual y por períodos durante los años 1995 a 2018.

Los registros de lluvia mostraron variaciones significativas entre meses y años. Para considerar un mes promedio o normal se verifica si el registro del mes está entre $\pm 10\%$ de la lluvia promedio histórico de ese mes (Olmedo, 2003). Si supera el 10% se considera un mes por arriba de lo normal o con anomalía positiva, mientras que si el registro está por debajo del 10% entonces se considera por debajo o anomalía negativa. Para este cálculo se utilizó el límite de confianza al

10%. Los años 1997, 1998, 2000, 2001, 2002, 2006, 2009, 2012, 2014, 2015 y 2018 son años con anomalías negativas; el déficit con relación al promedio fue entre 4 y 59%. El resto de los años son considerados con registros por encima del promedio, con un valor promedio entre 2 y 36%, respectivamente. Los años 2015 y 1999 presentaron los registros anuales más bajos y altos del período en estudio con 505 y 1,687 mm, respectivamente (Cuadro 2).

Cuadro 2. Precipitación pluvial promedio anual, por períodos del año (mm) y déficit hídrico de 12 pluviómetros ubicados en la región de Azuero, Panamá. 1995-2018.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual	Ene-Jul	Ago-Dic
1995	0	0	1	62	91	178	168	147	100	248	220	57	1272	500	772
1996	13	1	1	2	162	173	182	143	210	182	227	68	1365	535	830
1997	1	0	0	11	24	147	106	25	164	193	180	1	852	289	563
1998	0	6	0	2	121	133	109	173	101	178	184	156	1163	371	792
1999	25	1	0	11	149	139	170	251	269	294	282	97	1687	495	1192
2000	35	0	0	0	134	190	184	186	139	88	168	30	1155	543	612
2001	2	0	0	0	77	93	248	102	191	213	146	60	1132	420	712
2002	1	0	0	31	97	76	159	204	137	216	93	6	1021	364	657
2003	0	0	3	4	179	163	196	162	139	250	161	118	1375	545	830
2004	2	0	0	27	135	175	196	192	198	198	134	54	1311	536	776
2005	3	1	3	25	160	221	198	197	206	249	233	88	1585	612	974
2006	14	4	0	9	137	174	183	208	83	181	128	77	1199	521	678
2007	0	0	0	31	131	181	98	246	213	303	184	149	1537	441	1096
2008	0	0	0	0	135	168	189	230	205	177	260	43	1407	492	915
2009	1	0	3	1	82	192	152	261	85	178	219	27	1200	431	769
2010	0	1	7	45	159	234	199	230	257	243	255	52	1680	645	1035
2011	2	0	7	7	169	211	155	120	246	166	158	70	1313	552	761
2012	1	0	0	28	113	89	214	141	207	250	104	13	1161	444	717
2013	0	0	0	0	147	197	175	165	145	190	172	123	1314	519	795
2014	0	0	0	5	71	172	99	146	103	230	107	120	1053	347	705
2015	1	0	3	15	20	97	83	60	37	87	102	0	505	219	286
2016	0	0	4	45	67	145	179	132	158	326	330	9	1395	440	955
2017	0	0	3	42	82	155	177	188	153	240	190	50	1279	458	821
2018	34	0	0	18	114	118	147	124	109	133	90	1	888	432	456
Promedio	5.6	0.6	1.5	18	115	159	165	168	161	209	180	61	1244	465	779
LC	0.6	0.1	0.1	0.9	2.3	2.2	2.1	3	3.1	3.1	3.3	2.4	13.8	5.1	10.2

Cuadros rojos, verdes y amarillos representan los meses con registros por debajo, superior e igual a la media general LC= Límite de Confianza al 10%.

Al analizar la lluvia acumulada entre los meses que se lleva la actividad maicera en la región (agosto a diciembre), se observó que 13 de los 24 años (1995, 1997, 2000, 2001, 2002, 2004, 2006, 2009, 2011, 2012, 2014, 2015 y 2018) presentaron registros con anomalías negativas. Se observó que en seis de estos años el acumulado fue por debajo de los 680 mm (anomalías negativas arriba del 15%) siendo el año 2015 el más bajo con 286 mm y una anomalía negativa de 63%; el resto presentó anomalías negativas entre 2 y 42%. Los años 1998 y 2013 presentaron registros igual a la media y se consideran años con láminas de lluvia normales. Los demás años presentaron lluvias acumuladas por encima del promedio. En los años 1999, 2007 y 2010 se obtuvieron registros superiores a los 1,000 mm equivalentes a una anomalía positiva superior a 30%.

ANÁLISIS POR LOCALIDAD

De acuerdo al análisis de los registros de cada pluviómetro, según los promedios observados, 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 o disminución de la media mensual 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. 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 y diciembre (época de siembra del cultivo de maíz en la región), siendo muy lluviosa la zona sur por más de 350 mm en ambos períodos (Figura 5).

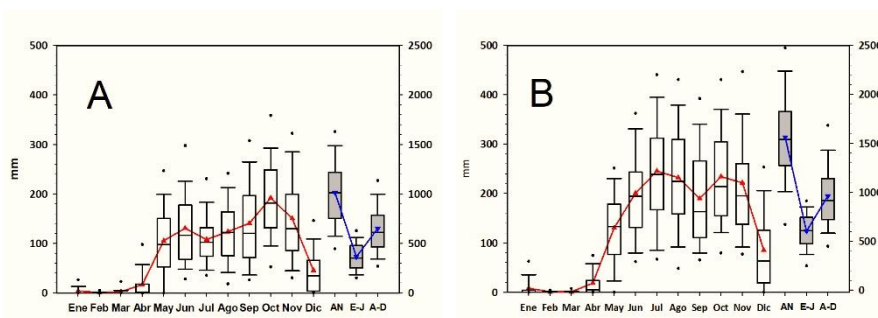


Figura 5. Distribución de la lluvia en las zonas norte (A) y sur (B) de la región de Azuero en el período 1995-2018.

Las localidades de la zona norte de la región presentan precipitaciones anuales por debajo del promedio con 1152, 1150, 1090, 846, 997, 852 y 1019 mm, respectivamente (Cuadro 3). El déficit en las localidades de la zona está entre 8 y 32% con respecto al promedio general. Por otro lado, se observó que las localidades de la zona sur de la península presentan registros por encima del promedio con medias por año de 1382, 1599, 1321, 1886 y 1653 mm, respectivamente; todos por encima del promedio (Cuadro 3).

Con relación al período agosto-diciembre, las localidades del área norte presentan igual tendencia a la encontrada en el análisis anual, en donde se observó una disminución entre 4 y 32% con respecto al promedio general. El comportamiento de las lluvias en estas localidades durante el período enero-agosto, también presentan deficiencias hídricas (entre 7 y 34%). En dichas localidades la mayoría de los meses presentan anomalías negativas. Por el contrario, en las cinco localidades del sur de la península, el promedio mensual en este período está por encima de la media. En resumen, de acuerdo al análisis de la precipitación pluvial de los últimos 24 años el promedio de toda la región en el período agosto-diciembre fue de 781 mm.

Pero el mismo varía si se divide la región en dos zonas; los distritos del norte de la península (Parita, Los Santos y Guararé) presentan registros de lluvia por debajo del promedio de la Región con una media de 651 mm. Por otro lado, los distritos ubicados al sur de la península (Las Tablas, Pocrí y Pedasí) presentaron lluvias por encima del promedio con una media de 953 mm.

CARACTERIZACIÓN DE LA SEQUÍA EN LA REGIÓN DE AZUERO

La sequía es una amenaza resultante de niveles de precipitaciones por debajo de lo que se considera normal. Cuando este fenómeno se prolonga, la precipitación es insuficiente para responder a las demandas de la sociedad y del ambiente. Desde esta perspectiva McKee *et al.* (1993) crearon el Índice Normalizado de Precipitación (SPI por sus siglas en inglés). El SPI puede ser calculado para escalas de tiempo variables según el interés del estudio a realizar (1, 3, 6, 12, 24 meses, entre otros), lo que la hace aplicable en el ámbito de la meteorología, agricultura e hidrología superficial y subterránea. Esta versatilidad temporal es también útil para el análisis de la dinámica de la sequía, especialmente la determinación del comienzo y el fin de la misma, lo que ha sido difícil de reconocer por medio de otros índices (Núñez *et al.*, 2005).

Cuadro 3. Precipitación pluvial por localidad y zonas norte y sur en la región de Azuero, Panamá. 1995-2018.

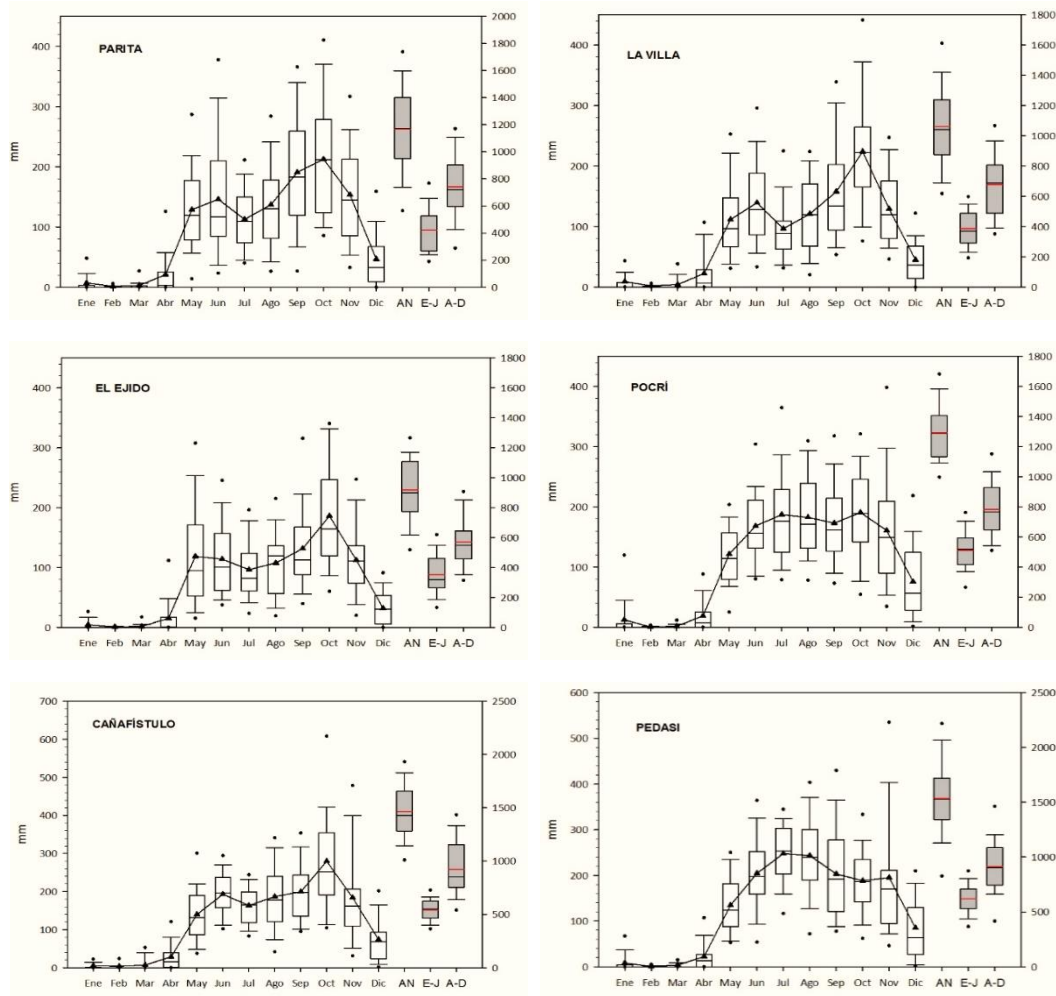
Mes	Distrito/localidad														Prom General	LC
	Parita París	Parita Paríta	L. Santos Villa	L. Santos Ejido	Guararé C. Larga	Guararé Guararé	L. Tablas T. Abj	Prom Norte	L. Tablas Coc	Pocri Pocri	Pocri Poc-E	Pedasi Ped	Pedasi Ped-E	Prom		
Ene	0	5	4	2	4	3	6	3.4	6	9	9	7	8	7.7	5.3	0.2
Feb	0	1	1	0	1	1	1	0.6	1	0	0	1	1	0.7	0.6	0.0
Mar	1	6	4	1	1	0	1	1.9	0	1	1	1	1	0.6	1.5	0.1
Abr	20	27	29	11	15	5	7	16	16	14	25	14	23	16	17	0.6
May	134	137	112	96	111	88	62	106	150	120	119	124	139	119	116	1.8
Jun	155	151	139	106	118	119	125	130	170	205	173	245	212	188	160	3.1
Jul	88	105	110	91	111	105	130	106	172	247	210	335	267	227	164	6.0
Ago	145	126	124	100	129	120	123	124	179	237	174	320	251	214	169	4.9
Sep	173	171	164	170	120	113	123	141	164	200	162	237	185	178	161	2.7
Oct	226	200	220	170	188	147	194	192	257	262	196	254	193	226	209	2.6
Nov	179	174	134	116	145	120	186	150	208	228	182	235	260	216	180	3.4
Dic	31	46	50	32	54	31	63	44	59	77	69	112	112	82	61	2.0
Total	1152	1150	1090	846	997	852	1019	1015	1382	1599	1321	1886	1653	1547	1246	24.1
% Déficit	-8	-8	-13	-32	-20	-32	-18	-19	11	28	6	51	33	24	465	10.2
ene-jul	398	433	398	307	362	321	331	364	516	596	538	727	651	594	465	10.2
% Déficit	-14	-7	-14	-34	-22	-31	-29	-22	11	28	16	56	40	28	781	14.2
ago-dic	753	717	692	539	635	531	688	651	867	1003	783	1159	1001	953	781	14.2
% Déficit	-4	-8	-11	-31	-19	-32	-12	-17	11	28	0	48	28	22	781	14.2

Cuadros rojos, verdes y amarillos representan respectivamente meses con registros por debajo, encima e igual al promedio general; LC= Límite de confianza al 10%.

Gordón *et al.* (2017) utilizaron la base de datos histórica (más de 30 años) de seis pluviómetros del departamento de Hidrometeorología de la Empresa de Transmisión Eléctrica S.A. (ETESA) ubicados en Parita La Villa (Los Santos), El Ejido (Los Santos), El Cañafístulo (Las Tablas), Pocrí y Pedasí. Las tres primeras localidades están ubicadas en la zona norte de la región de Azuero, mientras que las tres últimas están localizadas en la zona sur. Los datos de El Ejido fueron generados por el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) a partir del año 1999. Los resultados de este estudio indican que en los meses en que se lleva a cabo la actividad de producción del cultivo de maíz (agosto a diciembre), la precipitación pluvial difiere entre las localidades del norte con acumulados bajos menores de 750 mm, que los reportados en las localidades del sur. Las localidades con los acumulados más altos y bajos son Pedasí y El Ejido con valores de 914.9 y 569.1 mm, respectivamente (Figura 6).

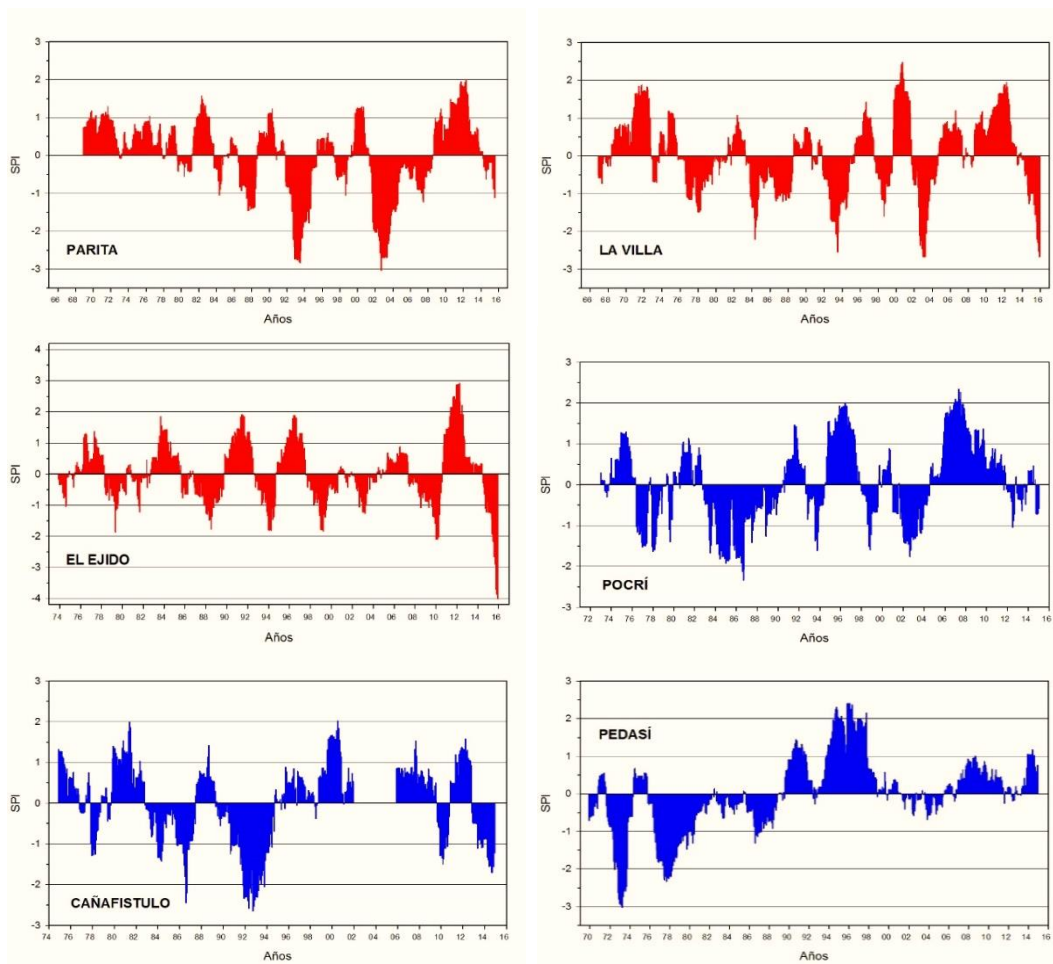
En los gráficos del SPI-24 de las seis localidades se puede observar como en las tres localidades del norte, los índices están por debajo de -2.00 en varios lapsos del tiempo del período después del año 2000, lo que indica un estrés severo de humedad en los últimos años, lo que clasifica a esta zona como la más seca de la región de Azuero. A diferencia de las tres localidades del sur, en donde a pesar de presentar valores negativos, los mismos son mayores de -1.50, lo que indica que la precipitación ha estado de normal a moderadamente seco. Los valores menores de -2.00 se presentaron en los años previos a 1990 (Figura 7). También se puede ver la alternancia de períodos secos y húmedos en las seis localidades. En el gráfico que representa a Pedasí se observa claramente pocos períodos secos en los últimos 20 años, sólo en la década de los años 70 presenta valores negativos menores de -2.0, indicando que es una zona con menos sequías en comparación a las localidades del norte.





Fuente: Gordón *et al.*, 2017.

Figura 6. Distribución de la precipitación pluvial mensual, anual y del período de producción del cultivo de maíz, en seis localidades de la región de Azuero, Panamá. Los triángulos negros representan la media mensual. Las cajas de Tukey blancas representan la distribución mensual y Cajas de Tukey gris la distribución acumulada anual (AN), enero-julio (E-J) y agosto-diciembre(A-D) durante los años 1995 a 2018.



Fuente: Gordón *et al.*, 2017.

Figura 7. Evolución del SPI-24 en las seis localidades de la región de Azuero, analizadas en este estudio.

Para analizar la evolución del clima a través del tiempo, se tomó la localidad más antigua del estudio y con mayor número de años (La Villa). Se dividió el período en dos etapas, la primera de 1965 al año 1999 y la segunda fase los años del 2000 hasta el 2015. Cuando se analizó el SPI-12, se pasó de un 2.4 a 5.7%, es decir más del doble de meses extremadamente secos y en el caso del SPI-24 de 1.3 a 7.3%, es decir más de tres veces. Igual relación se observa cuando se comparan los porcentajes de meses catalogados como extremadamente húmedos. Al comparar los meses considerados con lluvias por encima de lo normal (SPI > 1,00) se pasó de 13.0 a 21.4% en los valores de SPI-12;

mientras que para meses con lluvias por debajo de lo normal o meses con sequías a largo plazo o índices de SPI menores de -1.00 se pasó de 15.9 a 19.8%. Este aumento de meses que presentan más lluvia por encima o menos lluvia de lo normal se presentó al analizar el índice de SPI-24. El aumento de los meses por encima o por debajo de lo normal, se refleja en el porcentaje de meses considerados como normal que disminuyó en un 12.3 y 10.4% para los índices SPI-12 y SPI-24, respectivamente. Todo lo anterior indica que se ha presentado una alta variabilidad de los registros de lluvias, situación cada vez más frecuente por los efectos del cambio climático que se da a nivel global (Cuadro 4).

Cuadro 4. Porcentaje de meses con valores de SPI-12 y SPI-24 según categorías, en dos períodos de tiempo del pluviómetro localizado en La Villa de Los Santos, Panamá.

Categorías ¹	SPI-12		SPI-24	
	1965-1999	2000-2015	1965-1999	2000-2015
Extremadamente húmedo	1.9	4.7	0.0	2.6
Muy húmedo	3.4	5.2	5.3	13.5
Moderadamente húmedo	7.7	11.5	5.5	9.4
Normal	71.2	58.9	70.8	60.4
Moderadamente seco	8.7	6.8	13.9	4.2
Severamente seco	4.8	7.3	3.3	2.6
Extremadamente seco	2.4	5.7	1.3	7.3
Húmedo (> 1,00)	13.0	21.4	10.8	25.5
Normal	71.2	58.9	70.8	60.4
Seco (< -1,00)	15.9	19.8	18.4	14.1

¹ Categorías según OMM (2012).

ÉPOCA DE SIEMBRA EN FUNCIÓN A LA PRECIPITACIÓN

Para determinar le época de siembra, se procedió a calcular la lluvia acumulada en la etapa del cultivo que va de 51 a 100 días después de siembra (dds). Esto fue realizado para las posibles siembras que se realicen entre el 1 de agosto y el 10 de octubre (71 días en total), en cada localidad donde está ubicado el pluviómetro. Se realizó un análisis con la media general de la región y para cada localidad en particular. Adicional a este análisis se realizó un conteo del número de días con registro de lluvia en el período del estudio. Se realizó un análisis de regresión a los datos y se determinaron las fechas límites donde la precipitación acumulada entre 51 y 100 dds es menor de 225 mm. Se realizó un análisis de riesgo para las distintas fechas de siembras agrupadas en cinco períodos. Los períodos de siembra fueron los siguientes: a) 1 al 20 de agosto; b) 21 al 31 de agosto; c) 1 al 15 de septiembre; d) 16 al 30 de septiembre y e) 1 al 10 de octubre. La definición del riesgo estuvo en función de la determinación del porcentaje de días con una lámina acumulada menor de 225 mm

entre 51 y 100 dds. Este rango corresponde a la suma de los dos últimos períodos (51-80 y 81-100 dds) y en la cual se puede reducir hasta un 75% del potencial del rendimiento del cultivo de maíz (McWilliams *et al.*, 1999).

En la curva para el promedio de lluvia acumulada entre 51 y 100 dds, según fechas de siembra en la región de Azuero (1 agosto al 10 de octubre) de los 24 años del estudio (Figura 8), se observa como disminuye la lluvia acumulada a medida que las fechas de siembra se aproximan al mes de octubre. Las siembras realizadas el 1 de agosto tienen un promedio de 329 mm acumulados, mientras que las siembras realizadas el 10 de octubre acumulan precipitaciones cercanas a 89 mm en dicho período o lapso de tiempo. De acuerdo al resultado de este análisis, se encontró que en la región de Azuero se debe sembrar hasta el 15 de septiembre (promedio general), ya que las siembras a después de esta fecha pueden sufrir deficiencias hídricas durante el período crítico (menos de 225 mm de lluvia entre 51 y 100 dds).

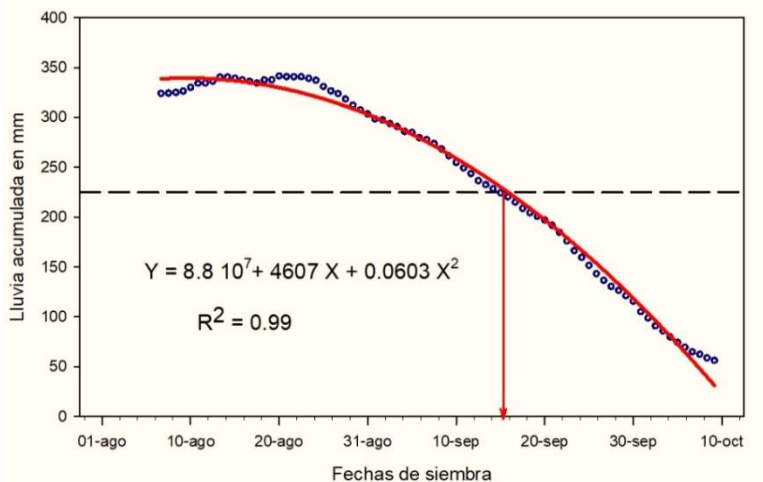


Figura 8. Curva de precipitación acumulada entre 51 y 100 dds, para siembras del 1 de agosto al 10 de octubre, según el promedio general de ocho pluviómetros en Azuero, Panamá. 1995-2018.

Al dividir las fechas de siembras en cinco períodos y realizar el análisis de riesgo de estrés hídrico (número de días con menos de 225 mm en la etapa de 51 a 100 dds), se encontró que la época con el menor porcentaje fue la realizada en el mes de agosto (primera y segunda quincena) con un 9 y 11% de los días con menos de 225 mm a través de todos los años del estudio. Las siembras realizadas en la primera quincena de septiembre fueron de 32% y de 62 % en el período del 16 al 30 de septiembre; incluso se observó que en varios años (10) el riesgo es de 100% o muy cercano a este valor. Luego, el porcentaje

aumenta hasta alcanzar un 100% de riesgo en las siembras entre el 1 y 15 de octubre en todos los años excepto en 1998 en donde el porcentaje fue de 93% (Cuadro 5). Este análisis de riesgo sugiere que siembras realizadas en estas épocas pueden verse afectadas por la escasez de agua, resultando en una baja en el rendimiento.

Esta fecha de siembra varió a través del comportamiento de la lluvia y de los años, para los años 1995, 1996, 1997, 2002, 2004, 2006, 2012, 2015 y 2018, años en donde la lámina acumulada en el

período de producción del cultivo estuvo por debajo de la media general, las fechas límites de siembra estuvo recomendada de finales de agosto al 5 de septiembre. En los años 2000, 2001, 2008 y 2009 en donde la lluvia de agosto a diciembre fue similar a la media del registro histórico, se encontró que la fecha límite para la siembra fue a mediados de septiembre (5-20 septiembre). Para el resto de los años (1998, 1999, 2003, 2005, 2007, 2010, 2011,

2013, 2014, 2016 y 2017) el cálculo de esta fecha indicó que los límites para no sufrir deficiencias hídricas en esta fase tan importante para el cultivo, estuvo a finales del mes de septiembre (24 al 30 septiembre), coincidiendo estos años con registros de lluvia por encima de la media histórica de agosto a diciembre (Cuadro 5). Este análisis indica que en función de la precipitación el límite para seleccionar las fechas de siembra varía con el año.

Cuadro 5. Riesgo (%) de recibir menos de 225 mm de lluvia en la fase de 51 a 100 dds, según períodos de siembra y años, Azuero, Panamá. 1995-2018.

Período	1-15 ago	16-31 ago	1-15 sep	16-30 sep	1-15 oct	Promedio	Fecha límite
1995	0	0	0	6	100	32	21-ago
1996	0	0	0	33	100	26	25-ago
1997	0	0	93	100	100	58	01-sep
1998	0	0	0	0	93	18	30-sep
1999	0	0	0	40	100	28	24-sep
2000	20	19	33	100	100	54	10-sep
2001	0	0	40	100	100	47	09-sep
2002	0	25	100	100	100	64	27-ago
2003	0	0	0	13	100	22	28-sep
2004	0	0	87	100	100	57	02-sep
2005	0	0	0	47	100	29	23-sep
2006	0	25	100	100	100	64	28-ago
2007	0	0	0	3	100	26	25-sep
2008	0	0	0	80	100	36	18-sep
2009	0	0	20	10	100	43	12-sep
2010	0	0	0	27	100	25	26-sep
2011	0	0	0	60	100	32	21-sep
2012	0	0	93	100	100	58	01-sep
2013	0	0	0	13	100	22	28-sep
2014	0	0	0	40	100	28	24-sep
2015	100	100	100	100	100	100	31-jul
2016	0	0	0	27	100	25	26-sep
2017	0	0	0	33	100	26	25-sep
2018	93	94	100	100	100	97	12-ago
Promedio	9	11	32	63	100	42	15-sep

Cuadros rojos, verdes y amarillos representan respectivamente años con registros por debajo, encima e igual al promedio general.

ÉPOCA DE SIEMBRA DE ACUERDO A LAS ZONAS EN AZUERO

Al realizar el análisis de riesgo de estrés por déficit de agua en cada una de las localidades, se observó que las siembras en agosto (1-15 y 16-31 de agosto) tanto en las localidades del norte como del sur de la península, presentan una baja o casi nula probabilidad de sufrir estrés hídrico en la etapa crítica del llenado de grano. La primera quincena de septiembre presentó un riesgo del 53% en general para las localidades del norte, con una probabilidad de menos de 30 y 0% en Parita y Tablas Abajo, respectivamente, y alta para el resto de las localidades. Para este mismo período (1 a 15 de septiembre) la probabilidad de riesgo en las localidades del sur es bajo o nulo. En el análisis de las siembras de la segunda quincena de septiembre se encontró de ser muy alto (riesgo>80%) para todas las localidades del norte, alto para Las Cocobolas y Pocrí (80%>riesgo>40%), mientras que en Pedasí se mantiene un bajo riesgo de estrés hídrico. Todas las

localidades de ambas zonas (sur y norte) presentan riesgo de 100% de déficit hídrico en la fase de 51 a 100 días. Considerando el período total de siembra del 1 agosto al 30 septiembre se tiene que las siembras del cultivo de maíz tienen menos riesgo en general (12%) que las siembras ubicadas en las localidades del norte que presentan un 39% de riesgo (Cuadro 6).

Con relación al número de días con lluvia en estos mismos períodos, se encontró que las siembras entre el 1 y 15 de agosto tuvieron en promedio 21.4 días con lluvias, mientras que este número se redujo para las siembras del 1 al 15 de octubre a 6.0 días con lluvia. La localidad de Pocrí E presentó el mayor número de días con lluvia (24), mientras que el Regadío en Ciénega Larga tiene el menor valor con 7 días. En todas las localidades se observó una tendencia de disminuir el número de días con lluvia al avanzar las siembras del 1 de agosto hacia el 15 de octubre (Cuadro 7).

Cuadro 6. Porcentaje de riesgo de recibir menos de 225 mm de lluvia en la fase de 51 a 100 dds, según períodos de siembra y localidades, Azuero, Panamá. 1995-2018.

Localidades	Fecha límite	1 - 15 agosto	16 - 31 agosto	1 - 15 septiembre	16 - 30 septiembre	1 - 15 octubre	1 agosto 30 septiembre
París	13-sep	0	0	13	100	100	28
Parita	11-sep	0	0	27	100	100	32
La Villa	07-sep	0	0	60	100	100	40
El Ejido	25-ago	0	38	100	100	100	60
Ciénega. Larga	03-sep	0	0	80	100	100	45
Guararé	01-sep	0	0	93	100	100	48
Tablas Abajo	18-sep	0	0	0	80	100	20
Promedio norte	8-sep	0	5	53	97	100	39
Cocobolas	19-sep	0	0	0	73	100	18
Pocrí	23-sep	0	0	0	47	100	12
Pocrí E	14-sep	0	0	7	100	100	27
Pedasí	28-sep	0	0	0	13	100	3
Pedasí E	30-sep	0	0	0	0	100	0
Promedio sur	25-sep	0	0	1	47	100	12
Promedio general	15-sep	0	3	35	83	100	28

Cuadros rojos, verdes y amarillos representan respectivamente fechas con bajo, medio y alto porcentaje de riesgo para siembras afectadas por sequía.

Cuadro 7. Número de días con registro de lluvia en el período de 51 a 100 dds, en las ocho localidades del estudio, Azuero, Panamá. 1995-2018.

Período	París	Parita	La Villa	El Ejido	Ciénaga Larga	Guararé	Tablas Abajo	Las Cocobolas	Pocrí	Pocrí E	Pedasí	Pedasí E	Media
1-15 ago	16	25	30	23	13	15	18	25	14	33	22	23	21.4
16-31 ago	15	24	27	21	11	14	17	23	16	30	21	22	20.1
1-15 sep	12	19	22	16	6	11	14	19	14	25	18	20	16.3
16-30 sep	7	13	16	12	4	8	10	14	10	18	13	16	11.8
1-15 oct	3	7	9	6	0	4	5	7	5	10	7	9	6.0
1ago-15 oct	11	18	21	16	7	10	13	18	12	24	16	18	15.3

RECOMENDACIONES PARA LA FECHA DE SIEMBRA EN AZUERO

Para el análisis del efecto de la lluvia sobre el rendimiento, cada año en estudio se dividió en dos períodos; el primero consistió en los ensayos sembrados en fechas tempranas; es decir, fechas antes del límite para sufrir estrés hídrico, establecido por Gordón *et al.* (2004a, 2004b). El segundo período incluyó los ensayos sembrados después de la fecha límite para sufrir estrés hídrico, de acuerdo a los datos de cada año. Se procedió a realizar el cálculo de la lluvia acumulada en los períodos que van de los 31 a 50, 51 a 80 y 81-100 dds para cada ensayo. Para este cálculo se tomó en cuenta la fecha de siembra de cada ensayo y la información de los pluviómetros ubicados en el distrito donde estaban sembrados los mismos.

A pesar que la región de Azuero es un área relativamente pequeña en extensión, la recomendación de la época de siembra varía de acuerdo a las zonas (norte o sur) en que se encuentren los distritos. Se observa que el riesgo de déficit hídrico, en los períodos críticos de formación del rendimiento en siembras tardías (posteriores al 15 de septiembre), aumentó con relación a las siembras tempranas. El análisis de esta información también indicó que 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. Estas fechas indican el último día que se debe sembrar para escapar al efecto de la falta de agua en el llenado de los granos. La recomendación es que en ambas zonas la siembra se pueda 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 temporada irregular de lluvias con una media por debajo de lo histórico o suspensión de éstas a principio o mediados del mes de noviembre (caso Fenómeno El Niño), esta recomendación debe adelantarse 10 días quedando las fechas límites de 25 de agosto (norte) y 10 de septiembre (sur). Por otro lado, en caso de pronósticos de lluvias de agosto a octubre por encima del promedio histórico o presencia de lluvias hasta finales de diciembre, la recomendación se puede posponer 10 días más tarde; es

decir, las fechas límites serían del 15 de septiembre para los distritos del norte y de 30 de septiembre para los distritos del sur (Figura 9). Los pronósticos de lluvia o perspectiva climática utilizados, son los que se emiten cada año para el

trimestre de agosto a octubre en el Foro del Clima de Mesoamérica del Comité Regional de Recursos Hidráulicos del Sistema Integración Centroamericana (CRRH, 2020).

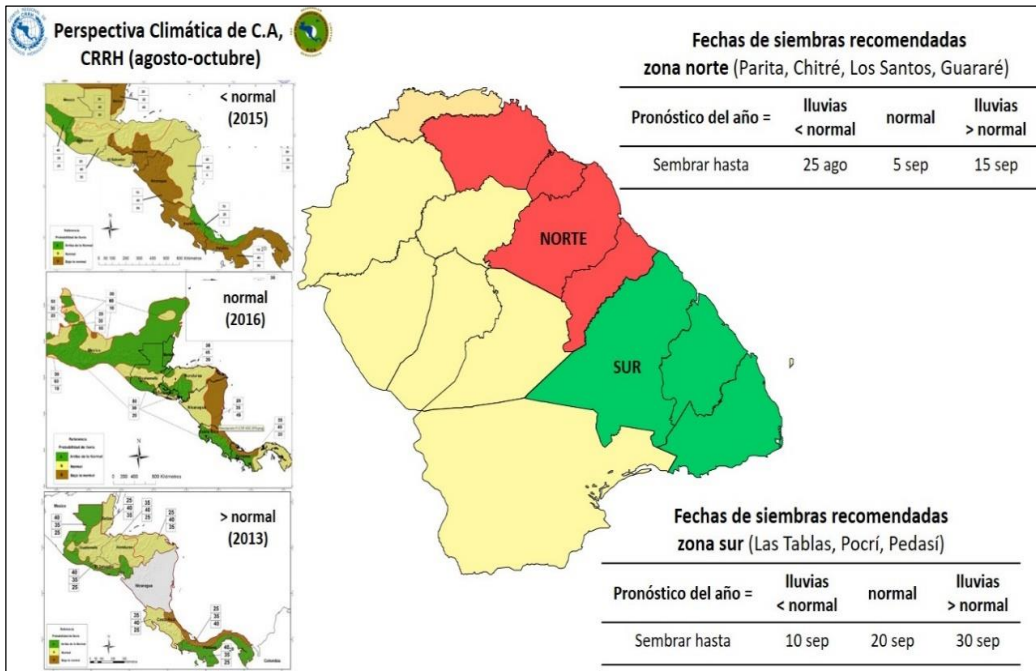


Figura 9. Fechas de siembra recomendadas para la región de Azuero como respuesta a la Perspectiva Climática emitida anualmente por el CRRH (2020).

RENDIMIENTO DE GRANO SEGÚN FECHA DE SIEMBRA

Para este análisis se tomaron los datos de rendimiento de grano de todos los ensayos sembrados anualmente (10 a 12 por año) en el período 1995-2018. Primero se calculó el rendimiento general de todos los ensayos. Se calculó el rendimiento de los ensayos sembrados dentro del rango recomendado para ese año en especial y también el rendimiento promedio de los ensayos sembrados fuera de la fecha recomendada. El rendimiento de grano en los ensayos sembrados dentro del rango de siembra recomendado por el análisis de lluvia de cada año, fue superior a los ensayos sembrados después del mismo (Cuadro 8). Sólo en los años 1997 y 1999 se observó un incremento en el rendimiento de los ensayos sembrados fuera de las fechas óptimas de siembra. 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 período de 1995 al 1998, el sembrar fuera del rango recomendado refleja pérdidas del 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 2011 a 2018 el sembrar fuera de la

recomendación representa una merma aproximadamente del 50% (Cuadro 8). 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.

En todos los años excepto 1996 y 2006 la cantidad acumulada en la fase 31-50 dds fue suficiente para cubrir las demandas del cultivo y, por lo tanto, no afectó el rendimiento del cultivo en ninguna de las dos épocas de siembra en que se dividió el estudio. En los años 1997 y 1999 se observó un superávit entre 3.0% y 30% a favor de los ensayos sembrados en la época temprana. En estos dos años, en ambas épocas de siembra, no hubo déficit en la fase de 51 a 100 días (precipitación acumulada superior a 225 mm). Cuando se analizó la precipitación acumulada en los años posteriores al 2010 en el período de 51 a 100 dds, se observa que la mayoría de los ensayos sembrados en la segunda época (siembras tardías) presentan acumulados por debajo de 225 mm, por el contrario, en los ensayos sembrados dentro de la recomendación tienen una lámina acumulada superior a 225 mm (Cuadro 9).

Cuadro 8. 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 (t·ha ⁻¹)			Reducción rendimiento		Año	Ppt ^a (mm)	Rendimiento de grano (t·ha ⁻¹)			Reducción rendimiento	
		Prom	Siembra Rec ² .	Siembra No Rec ³	t·ha ⁻¹	%			Prom	Siembra Rec ² .	Siembra No Rec ³	t·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

Período	Rendimiento de grano t·ha ⁻¹			Reducción del rendimiento	
	Promedio (Prom)	Siembra dentro de Fecha recomendada	Siembra fuera de Fecha recomendada	t·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

¹ Precipitación acumulada de septiembre a diciembre de cada año.

² Ensayos sembrados dentro de las fechas recomendadas según año.

³ Ensayos sembrados fuera de las fechas recomendadas según año.

Cuadro 9. Precipitación acumulada, según fase fenológica del cultivo en los ensayos sembrados en Azuero, Panamá. 1995-2018.

Año	Red %	Ppt 31-50 dds			Ppt 51-100 dds		
		Siembra Dentro Fecha	Siembra Fuera Fecha	Diferencia	Siembra Dentro Fecha	Siembra Fuera Fecha	Diferencia
		Recomendada	Recomendada		Recomendada	Recomendada	
1995	8	203	127	76	143	139	4
1996	15	177	52	125	330	317	14
1997	-30	234	117	117	317	233	84
1998	10	93	116	-23	309	253	56
1999	-3	171	240	-70	551	328	223
2000	20	78	173	-94	189	68	121
2001	7	137	143	-6	295	210	85
2002	33	134	137	-3	235	58	178
2003	15	168	165	3	300	264	36
2004	16	178	117	61	150	179	-29
2005	19	243	154	89	465	192	273
2006	5	106	76	30	199	156	43
2007	17	206	173	33	395	267	128
2008	14	99	164	-65	302	217	85
2009	26	155	177	-22	215	153	62
2010	28	178	149	30	360	286	75
2011	34	88	210	-121	291	188	103
2012	31	171	122	49	134	46	87
2013	46	155	130	25	297	77	220
2014	55	139	65	74	368	135	233
2015	74	84	64	20	303	120	183
2016	43	207	92	114	385	90	295
2017	58	208	228	-20	422	275	147
2018	37	124	200	-75	236	160	76

De acuerdo a resultados presentados, las siembras en la región de Azuero deben establecerse entre finales de julio y el 15 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.* (1993) en un muestreo realizado a parcelas comerciales de productores de maíz de la región de Azuero en el año 1992 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 (Figura 10), 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 de que en los últimos días del mes de julio (15 al 30) se puede escapar del estrés hídrico, el riego de ser afectados por la enfermedad limita la siembra en este período. 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.



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

Figura 10. Adulto de *Dalbulus maidis* y plantas de maíz mostrando síntomas de la enfermedad.

EFECTO DE LA SIEMBRA FUERA DE LA FECHA RECOMENDADA EN AZUERO

En el año 2019, se estableció en la localidad de El Ejido un ensayo con 18 híbridos de maíz, en tres fechas de siembra (22 agosto, 13 septiembre y 7 octubre), con el fin de determinar el efecto de las condiciones climáticas sobre el rendimiento de grano de distintos híbridos sembrados en el país. En esta prueba todas las prácticas agronómicas (arreglo topológico, fertilización base, control de malezas, fertilización suplementaria) fueron realizadas de manera similar en las tres fechas. En estas siembras, el rendimiento se redujo de 7.68 a 7.54 a 2.54 t·ha⁻¹ a medida que se sembró más tarde (Cuadro 10). Este resultado está correlacionado con la distribución de lluvias y las condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa, déficit de presión de vapor, radiación, entre otros) en las fases de polinización y llenado de grano (Hsiao *et al.*, 2019, Gholipoor *et al.* 2013, Payero *et al.*, 2009). Otros estudios realizados en la región han documentado la disminución del rendimiento de grano debido a la fecha de siembra en esta localidad (Gordón *et al.* 2016, 2004 a y b).

El mal llenado de la mazorca aumentó a medida que la siembra se alejó del límite recomendado. Pasó de

una media de 1.0 a 4.7 y finalmente a 54.5% de mazorcas con mal llenado. Las dos primeras siembras son consideradas con daño mínimo y el mal llenado se ve poco reflejado en el potencial del rendimiento de todos los híbridos. Sin embargo; en la siembra de octubre esta variable aumenta de manera significativa afectando el rendimiento de todos los híbridos. En la literatura el mal llenado de la mazorca por la baja tasa de disponibilidad de polen, se atribuye principalmente a varios factores ambientales, a la sequía y las altas temperaturas al momento de la floración (Aylor, 2004, Schoper *et al.*, 1986, Herrero y Johnson, 1980), baja humedad relativa del ambiente al momento de la polinización (Aylor, 2003). Fonseca y Westgate (2005) indican que el Déficit de Presión de Vapor (VPD) es otra variable a considerar en la pérdida de viabilidad del polen. A estos factores ambientales, se le suma el exceso de lluvias al momento de la liberación del polen, la cual puede afectar la distribución del mismo; causando también mal llenado de la mazorca. En el caso de este experimento, el causante del mal llenado; fue el ambiente seco con alto VPD, baja humedad relativa y alta radiación solar tuvieron presentes al momento de la polinización en la siembra de octubre, más no así, en las de agosto y septiembre.

Cuadro 10. Medias ajustadas del porcentaje de mazorcas mal llenadas y rendimiento de 18 híbridos en tres fechas de siembra en la localidad de El Ejido, Azuero, Panamá, 2019.

Híbridos	Porcentaje de Mazorcas mal llenadas				Rendimiento de grano (t·ha ⁻¹)			
	Siembra agosto	Siembra septiembre	Siembra octubre	Prom	Siembra agosto	Siembra septiembre	Siembra octubre	*Merma
ADV-9293	0.0	0.7	12.9	4.6	9.12	9.14	5.05	45
ADV-9789	0.0	0.0	14.3	4.6	8.19	9.71	4.81	50
HV110427	0.6	0.0	18.6	6.3	7.87	9.63	4.28	56
SV-3243	0.0	1.9	17.7	6.7	7.87	8.77	4.21	52
DOW-446	0.0	1.4	20.1	7.2	8.63	8.83	4.38	50
HV132549	0.8	0.7	24.8	8.7	7.62	7.90	4.02	49
Promedio A	0.2	0.8	18.1	6.4	8.22	9.00	4.46	50
ADV-9779	0.0	2.7	37.1	13.3	8.24	9.03	3.66	59
BA-1332	0.0	3.2	37.2	13.4	8.32	7.19	3.24	61
SV-7019	0.0	0.6	49.5	16.8	7.84	7.74	2.18	72
BA-1407	0.0	11.3	64.5	25.3	6.00	5.32	1.38	77
P-4226	0.6	3.4	75.3	26.5	9.21	7.91	1.98	78
P-4039	2.8	5.5	78.4	29.1	10.78	9.94	1.58	85
Promedio B	0.6	4.5	57.0	20.7	8.40	7.86	2.34	72
P-3456	0.1	1.5	83.9	28.6	8.24	7.30	0.62	92
BA-1303	0.8	14.8	76.7	30.7	6.27	4.64	0.84	87
P-3898	3.6	6.3	88.7	32.8	8.51	8.15	1.47	83
30F-35	2.3	8.2	89.2	33.3	8.45	7.46	1.04	88
BA-1419	4.4	4.8	92.4	33.9	3.91	3.12	0.64	84
BA-1429	2.4	18.0	100.0	40.0	3.26	3.86	0.39	90
Promedio C	2.3	8.9	88.5	33.2	6.44	5.76	0.83	87
Promedio General	1.0	4.7	54.5	20.1	7.68	7.54	2.54	67
DMS 5%	3.7	5.9	21.4		1.50	1.38	0.69	

* La merma se refiere a la reducción del rendimiento de grano de la siembra de octubre con respecto al rendimiento más alto logrado en las dos siembras previa.

Prom = Promedio

En la siembra de octubre sobresalieron híbridos como ADV-9293, ADV-9789, HV-110427, SV-3243, DOW-446 y HV-132549 con una media de mazorcas mal llenadas de 18.1% considerándose como tolerantes al efecto que causa este daño a las mazorcas (grupo A). Por otra parte, los híbridos BA-1429, BA-1419, 30F-35, P-3898, BA-1303 y P-3456 presentaron un promedio de 88.5% (grupo C); lo que indica una susceptibilidad de estos genotipos al factor causante de esta anomalía.

Se encontró un tercer grupo que presentó un promedio entre ambos grupos (media de 57%), en él se incluyen los híbridos ADV-9779, BA-1332, SV-7019, BA-1407, P-4226 y P-4039 (grupo B). El mal llenado de mazorca afecta el rendimiento de manera directa, manifestándose en una merma en el rendimiento de los híbridos superior al 80%. En la siembra fuera de la fecha óptima (octubre) de El Ejido sobresalieron el ADV-9293, ADV-9789, DOW-446, HV110427 y SV-3243-15014 con un rendimiento superior a $4.20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Estos híbridos fueron los menos afectados por el problema de la

deficiente polinización que se presentó en esta localidad.

En relación a los híbridos, el rendimiento promedio de la siembra en agosto no muestra diferencia entre tolerantes e intermedios (8.22 vs $8.40 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) pero sí en las siembras de septiembre (9.00 vs $7.86 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) y octubre (4.46 vs $2.34 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Las diferencias son marcadas con el grupo susceptible en las tres fechas de siembra, principalmente en la siembra de octubre en donde su rendimiento fue de $0.83 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. El BA-4029 fue el más afectado en esta localidad por la mala formación de granos con un rendimiento de $0.39 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. El testigo 30F-35, al igual que en el año 2018 presentó un alto porcentaje de mazorcas mal llenadas (89.2%) (Gordón *et al.*, 2019), reflejando un bajo rendimiento de $1.04 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. El efecto de este problema se refleja de manera clara en las mermas que se observan de la siembra de octubre con respecto a la siembra de agosto (Cuadro 11). La Figura 11 muestra el tipo de mazorcas que se presentó en algunos de los híbridos en los grupos con mayor tolerancia y susceptibilidad al mal llenado de mazorcas.





Figura 11. Polinización deficiente y mal llenado de mazorcas en los híbridos sembrados en octubre. Tolerantes: ADV-9293 (A), HV132549 (B), DOW 446 (C), intermedios: ADV-9779 (D), BA-1332 (E), SV-7019 (F) y susceptibles: 30F-35 (G), P-3898 (H) y BA-1419 (I).

SELECCIÓN DE VARIEDADES TOLERANTES A ESTRÉS HÍDRICO

Con el objetivo de seleccionar híbridos y variedades de maíz de grano blanco y amarillo con tolerancia a estrés hídrico, se sembraron más de 100 experimentos en la Estación Experimental El Ejido, ubicada en la provincia de Los Santos, República de Panamá en los años 2007 a 2013. Estos ensayos fueron

sembrados tanto a finales de agosto como a inicios del mes de octubre. La primera fecha de siembra correspondió a la época sin estrés, mientras que la segunda siembra correspondió a la época con estrés hídrico en las etapas de floración y llenado de grano. Se sembraron pares de ensayos por año, con distintos cultivares. El germoplasma evaluado incluyó híbridos simples, dobles, triples y variedades

sintéticas. Estos cultivares fueron obtenidos del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). También se incluyeron ensayos con híbridos provenientes de empresas privadas que realizan sus actividades comerciales en la región Centroamericana.

En todos estos años la precipitación pluvial acumulada en las siembras de agosto fue mayor que en la siembra de octubre con diferencias superiores a 200 mm. El período crítico en algunos años fue después de los 80 días después de siembra (dds) con diferencias superiores a 140 mm, mientras que en otros el período crítico fue entre 50 y 80 dds. Las diferencias en rendimiento de grano entre ambas siembras de los distintos ensayos variaron de 0.67 a 4.18 t·ha⁻¹ durante los distintos años. Se realizaron los análisis de varianza de ambos grupos de ensayos y los mismos mostraron diferencias estadísticas entre cultivares. Se obtuvieron altos porcentajes de repetitividad y bajos coeficientes de variación en ambas siembras. En los distintos grupos de cultivares se

identificaron tanto híbridos como variedades sintéticas promisorias por su buen grado de tolerancia o baja reducción del rendimiento debido al estrés hídrico a que fueron sometidos.

A partir del año 2010 se evaluaron distintas variedades del “Proyecto generación y validación de variedades de maíz tolerantes a sequía como medio de estabilizar productividad y disminuir el daño por micotoxinas como consecuencia del cambio climático” en conjunto con el CIMMYT a nivel de varios países de Centro y Sur América (FONTAGRO). De este proyecto se liberaron tres nuevas variedades de maíz que mostraron una mayor tolerancia al estrés hídrico en los momentos críticos de la floración. Las variedades IDIAP-MV-1102 e IDIAP-MV-1104 ambas de grano amarillo y la variedad de Alta Calidad Proteica de grano blanco IDIAP-MQ-09 superaron a los mejores testigos nacionales (IDIAP-MV-0706 y Guararé 8128) en más de una tonelada en ambientes no estresados y por más de media tonelada en ambientes con estrés (Cuadro 11).

Cuadro 11. Rendimiento de grano (t·ha⁻¹) de acuerdo a la fecha de siembra recomendada (sin estrés) y no recomendada (estrés después de la floración) en la localidad de El Ejido.

Variedades	2010		2011		2012 ^{a1}		2012 ^{b2}	
	Siembra Rec ³	Siembra No Rec ⁴	Siembra Rec ³	Siembra No Rec ⁴	Siembra Rec ³	Siembra No Rec ⁴	Siembra Rec ³	Siembra No Rec ⁴
IDIAP-MV-1102	7.33	7.02	8.44	5.44	6.32	1.86	7.45	3.24
IDIAP-MV-1104	7.26	6.19	8.05	4.43	6.12	2.02	6.57	2.83
IDIAP-MQ-09			8.93	5.60	6.82	1.87	5.54	1.66
IDIAP-MV-0706	6.31	5.82	5.78	5.85				
Promedio	5.73	4.90	7.33	4.58	6.08	2.08	5.50	2.23

Rec.=Recomendado, No Rec.= No Recomendado.

¹ Ensayos de la Prueba regional, ² Ensayos de CIMMYT, ³ Siembra dentro de la fecha recomendada, ⁴ Siembra fuera de la fecha recomendada

CONSIDERACIONES FINALES

A través de los estudios realizados durante varios años, se ha demostrado que el rendimiento de grano del cultivo de maíz puede ser afectado significativamente por la escasez de lluvias. Con los años este problema se ha ido incrementando tal como lo expuso Ruane *et al.* (2013) en un estudio de las incertidumbres del efecto del cambio climático sobre la producción de este cultivo. Se espera que los cambios climáticos se verán oscurecidos por las grandes variaciones interanuales en el clima panameño, que continuarán siendo el factor dominante que influenciará en

mayor grado el rendimiento estacional del maíz en las próximas décadas. Por lo tanto, hay que tener en cuenta que las lluvias irregulares es uno de los factores de mayor incidencia en la incertidumbre por obtener un rendimiento competitivo. En el presente documento, se analiza el problema de la irregularidad de las lluvias y como afecta al cultivo. También se proponen soluciones para mitigar su efecto, en donde la selección de la fecha de siembra es una decisión crucial para escapar a los efectos negativos en el rendimiento que ocasiona el déficit de lluvias. También se ha identificado variedades de polinización abierta como

híbridos que toleran mejor la mala distribución de lluvias. Todo esto mientras el sistema predominante sea el de siembras de secano.

Ahora bien, las lluvias son apenas un componente del clima que puede afectar el desarrollo de la planta de maíz. Otros factores como la temperatura y humedad relativa, radiación solar y de rayos ultravioletas, VPD, entre otros, son de las tantas variables climáticas que afectan de una manera u otra al cultivo (Cairns *et al.*, 2012, Ordóñez *et al.* 2015). Quizás sea la lluvia el factor de mayor incidencia, pero las otras variables no dejan de ser importantes para el desarrollo de las plantas. Dentro del Proyecto de Investigación e Innovación del cultivo de maíz de IDIAP, se han planteado investigaciones que tratan de identificar y cuantificar el efecto que tienen estas otras variables climáticas en la producción del cultivo de maíz en la región de Azuero. Del año 2015 a la fecha se tienen resultados preliminares que señalan a la radiación ultra violeta y VPD como dos factores que están incidiendo de manera directa en la producción del maíz en la región de Azuero.

BIBLIOGRAFÍA

- ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente). 2010. Atlas Ambiental de la República de Panamá. Primera Edición. 187 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 Sci.*42:1173–1179
- Aylor, D.E. 2004. Survival of maize (*Zea mays*) pollen exposed in the atmosphere. *Agricultural and Forest Meteorology.* 123:125–133.
- Aylor, D.E. 2003. Rate of dehydration of corn (*Zea mays*) pollen in the air. *Journal of experimental Botany.* 548(391)2307.2312
- Battisti, D.S., and R.L. Naylor. 2009. Historical Warnings of Future Food Insecurity with Unprecedented Seasonal Heat. *Science*, 323(5911), 240–244. doi:10.1126/science.1164363
- Bolaños J., y H.J. 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., y G.O. Edmeades. 1993a. La fenología del maíz. En: Síntesis de

- Resultados Experimentales del PRM, 1992, Vol. 4. CIMMYT-PRM, Guatemala. J. Bolaños, G. Saín, R. Urbina y H. Barreto (eds.). 251-261.
- 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.
- 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. *J. Prod. Agric.* 5, 237–242.
- Cairns, J.E., C. Sánchez, M. Vargas, R. Ordóñez and J.L. Araus, 2012 Dissecting maize productivity: Ideotypes associated with grain yield under drought stress and well-watered conditions. *Journal of integrative plant biology*. 54(2):1007-1020. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2012.01156.x>
- Claassen, M.M., and R.H. Shaw. 1970. Water deficit effects on corn. II. Grain components. *Agron. J.* 62, 652–655.
- CRRH (Comité Regional de Recursos Hídricos). 2020. Perspectiva del Climática para Centroamérica. <https://recursoshidricos.org/perspecti>
- [va-del-clima/](https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2012.01156.x) (consultado 15 feb. 2020).
- 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. *Agron. J.* 52, 272–274.
- 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. <https://doi.org/10.1111/gcb.13101>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 1993. Land and water integration and river basin management. Roma, Italia. www.fao.org/docrep/V5400E/v5400e00.htm#Contents (consultado 13 feb. 2020).
- Fonseca, A.E., and M.E. Westgate. 2005. Relationship between desiccation and viability of maize pollen. *Field Crop Research*. 94(2):114-125. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.12.001>
- Gholipour, M., S. Choudhary, T.R. Sinclair, C.D. Messina, and M. Cooper. 2013. Transpiration Response of Maize

- Hybrids to Atmospheric Vapour Pressure Deficit. *J. Agro Crop Sci.* 199:155-160.
<https://doi.org/10.1111/jac.12010>
- Gordón-Mendoza, R., J.E. Franco, J.I. Núñez, A.E. Sáez, J.E. Jaén., F.P. Ramos y A.E. Ávila. 2019. Evaluación de la adaptabilidad de híbridos de maíz a las condiciones agroclimáticas de la Región de Azuero, Panamá, 2017. *Visión Antataura* 3(2):15-32.
- Gordón-Mendoza, R., J.I. Núñez Cano, J.E. Franco Barrera, A.E. Sáez Cigarruista, y J.E. Jaén Villarreal. 2017. Relación entre rendimiento de grano de maíz y el Índice Normalizado de Precipitación en Azuero. *Ciencia Agropecuaria* 26:69-83.
- Gordón-Mendoza, R., J.E. Franco-Barrera y I. Camargo-Buitrago. 2016. Impacto de la tecnología generada en el cultivo de maíz para la Región de Azuero. *Ciencia Agropecuaria* 24:1-18.
- 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. IDIAP. *Ciencia Agropecuaria*, no. 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. II. Análisis del Rendimiento y su Relación con la Época de Siembra. IDIAP, *Ciencia Agropecuaria*, no. 16:31-44.
- Gordón, R., N. De Gracia, J.E. Franco y A.E. González, A. 1998. Evaluación de distintas épocas de siembra y su relación con la incidencia del achaparramiento en el cultivo de maíz, Azuero, Panamá. 1993-1994. IDIAP. *Ciencia Agropecuaria*, no. 9: 59-72.
- Gordón, R., N. De Gracia, A.E. González, D.F. Pérez, A. Alvarado, y J.E. Franco. 1993. Situación del achaparramiento en el cultivo de maíz en Azuero, Panamá 1992-93. En: *Síntesis de Resultados Experimentales del PRM, 1992*, Vol. 4. CIMMYT-PRM, Guatemala. J. Bolaños, G. Saín, R. Urbina y H. Barreto (eds.). 239-246.
- 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.
- Herrero, M.P. and R.R. Johnson. 1980. High Temperature Stress and Pollen Viability of Maize. *Crop Science*, 20(6), 796.

- Hsiao, J., A.L.S. Swann, and K. Soo-Hyung. 2019. Maize yield under a changing climate: The hidden role of vapor pressure deficit. *Agricultural and Forest Meteorology* 279:107692. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107692>
- 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*. Consultado 20 feb. 2020. <http://extensionpublications.unl.edu/assets/html/g1850/build/g1850.htm> (consultado 20 feb. 2020).
- Laffite, H.R., 2001. Estreses abióticos que afectan al maíz. En: *El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción*. R. Paliwal, G. Granados, H.R. Laffite y A. Violic (eds.). FAO. <http://www.fao.org/3/x7650s00.htm#toc> (consultado 20 feb. 2020).
- Lafitte, H.R. 1994. Identificación de problemas en la producción de maíz tropical. *Guía de Campo*. México D.F.; CIMMYT. 122 pp.
- 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. *Agron. J.* 91:834–839.
- Lobell, D.B., G.L. Hammer, G. McLean, C. Messina, M.J. Roberts, and W. Schlenker. 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](https://doi.org/10.1038/nclimate1832)
- McIlrath, W.O., and E.B. Earley. 1961. Effect of shading corn plants during several periods of growth on yield of grain and other factors. *Agronomy Abstract* 63.
- McKee, T.B., N.J. Doesken, and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*. Anaheim, California. 17 a 22 de enero de 1993. American Meteorological Society. Boston. 179–184.
- McWilliams, D.A., D.R. Berglund, and G.J. Endres. 1999. *Corn Grow and Management Quick Guide*. North Dakota State University. A-1173. https://library.ndsu.edu/ir/bitstream/handle/10365/9112/A1173_1999.pdf?sequence=1&isAllowed=y (consultado 12 jun. 2019).
- MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario). 2020. *Cierre Agrícola 2018-2019*. Dirección Nacional de Agricultura. <https://www.mida.gob.pa/upload/docu>

- [mentos/cierre_2018-2019_ok.pdf](#)
(consultado 10 marzo 2020).
- Norwood, C.A. 2001. Planting Date, Hybrid Maturity, and Plant Population Effects on Soil Water Depletion, Water Use, and Yield of Dryland Corn. *Agron. J.* 93:1034-1042.
<https://doi.org/10.2134/agronj2001.9351034x>
- NeSmith, D.S., and J.T. Ritchie. 1992. Short- and long-term responses of corn to pre-anthesis soil water deficit. *Agron. J.* 84, 107–113.
- Núñez, S.E., L.N. Núñez, G.P. Podestá, y M. Skansi. 2005. El Índice Estandarizado de Precipitación como herramienta para la caracterización y el monitoreo de la sequía: Una prueba de concepto. Resúmenes del IX Congreso Argentino de Meteorología, Buenos Aires Argentina. 3 al 7 octubre de 2005.
- Olmedo, B.A. 2003. Comportamiento de las lluvias en Panamá. Gerencia de Hidrometeorología y estudios ETESA.
- OMM (Organización Meteorológica Mundial). 2012. Índice Normalizado de Precipitación: Guía de Usuario. OMM 1090. 15p.
- Ordóñez, R. A., R. Savin, C.M. Cossani, and G.A. Slafer. 2015. Yield response to heat stress as affected by nitrogen availability in maize. *Field Crops Research* 183:184-203.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.07.010>
- Pandey, R.K., J.W. Maranville, and A. Admou. 2000. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment I. Grain yield and yield components. *Agricultural Water Management*. 46:1-13.
- Payero, J.O., DD. Tarkalson, S. Irmak, D. Davison, and J.L. Petersen. 2009. Effect of timing of a deficit-irrigation allocation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency and dry mass. *Agricultural Water Management* 96:1387-1397.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.03.022>
- Peel, M.C., B.L. Finlaysonb and T.A. McMahon. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*. 4(2): 439-473.
- Rhoads, F.M., and C.M. Yonts. 1991. *Irrigation Scheduling for Corn—Why and How*. Iowa State University. University Extension. NCH-20 National Corn Handbook 6 p.

- 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.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.10.015>
- Sage, R.F., and D.S. Kubien. 2007. The temperature response of C3 and C4 photosynthesis. *Plant Cell Environ.* 30, 1086–1106.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01682.x>
- 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.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-59689-7>
- Schoper, J.B., R.J. Lambert and B.L. Vasilas. 1986. Maize Pollen Viability and Ear Receptivity under Water and High Temperature Stress. *Crop Science*, 26(5), 1029.
- 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.
- Song, L., J. Jin, and J. He. 2019. Effects of severe water stress on maize growth process in the field. *Sustainability*. 11:5086.
<https://doi.org/10.3390/su11185086>
- Steduto, P., T.C. Hsiao, E. Fereres, y D. Raes. 2012. Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. FAO. Roma, Italia, 510 p.
- 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. *Agron. J.* 92, 1027–1035.
<https://doi.org/10.2134/agronj2000.9251027x>
- 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 Sci.* 41:748–754.
<https://doi.org/10.2135/cropsci2001.413748x>

CRÉDITOS

VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y SU EFECTO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ

Es una publicación del



Comité de revisión técnica

Ismael Camargo B., Ph.D.

Domiciano Herrera, M.Sc.

Julio Lara, M.Sc.

Marcos Medina, M.Sc.

Edición

Neysa Garrido Calderón, M.Sc.

Diagramación

Gregoria del C. Hurtado

Portada

Imagen satelital de Panamá 2003
Fuente: Jeff Schmaltz, MODIS Rapid
Response Team, NASA/GSFC

