

III. EFECTO DE LAS FECHAS DE SIEMBRA EN LA INCIDENCIA DE LA POLINIZACIÓN EN EL MAÍZ¹

Román Gordón-Mendoza²; Jorge E. Franco-Barrera³; Francisco P. Ramos-Manzané⁴;
Jorge I. Núñez-Cano⁵; Ana E. Sáez-Cigarruista⁶

RESUMEN

El estudio se desarrolló en la Estación Experimental del IDIAP en El Ejido-Los Santos. Localizada entre los 7°54' de latitud Norte y 80°22' longitud Oeste, a unos 25 msnm. La unidad experimental constó de seis surcos de 5,2 m de largo, con un arreglo de 0,75 m entre surcos y 0,20 m entre plantas. La parcela efectiva fue los dos surcos centrales de cada unidad experimental. Se evaluaron dos híbridos de maíz y dos sistemas uno en secano y otro en riego por goteo suplementario, dependiente de las lluvias de la temporada. Se realizó la siembra en tres fechas distintas (agosto, septiembre y octubre) separadas 20 días entre las mismas, para que el desarrollo de las plantas estuviera sometido a distintas condiciones ambientales y de lluvia. El objetivo del estudio fue determinar la variable climática que más influye en el rendimiento de grano. El síntoma que más impactó en la baja del rendimiento fue la incidencia del Diente de Perro (DPE) o mazorcas con deficiente polinización. La incidencia o porcentaje de esta variable en parcelas con riego suplementario pasó de 3,0 y 5,3% en agosto y septiembre a 51,5% en la siembra de octubre, lo que representa una reducción de 54,5% del rendimiento en la siembra de octubre. Este efecto es más marcado en las siembras en secano el que presenta un 2,6 y 8,8% en agosto y septiembre a 61,0% de mazorcas con el síntoma de DPE en la siembra en secano en octubre, con una reducción del 69,2% del rendimiento. En ambos sistemas se encontraron las mismas variables que afectan las floraciones masculinas y femeninas en el período de los 15 días después de la floración. El déficit de presión de vapor (VPD) fue la variable que influye más en el aumento de la incidencia de las mazorcas con DPE tanto en la floración masculina ($r > 0,70$) como femenina ($r > 0,80$).

Palabras clave: Mazorcas con mala polinización, VPD, Diente de Perro, estrés hídrico.

¹Recepción: 27 de agosto de 2025. Aceptación: 17 de octubre de 2025.

²Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Centro de Innovación Agropecuaria de Azuero “Ing. Germán De León” (CIA-Azuero), Los Santos, Panamá. e-mail: gordon.roman@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8433-2357>

³IDIAP, CIA-Azuero, Panamá. M.Sc. Ambiente. e-mail: joenfra13@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0000-0247-411X>

⁴IDIAP, CIA-Azuero, Panamá. e-mail: franciscoramos2016@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0003-3203-3069>

⁵IDIAP, CIA-Azuero, Panamá. Ph.D. Nutrición Mineral e-mail: jorgenunezcano@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0005-3417-4791>

⁶IDIAP, CIA-Azuero, Panamá. Ph.D. Ecofisiología Vegetal. e-mail: ansacig@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4901-7263>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](#)

III. EFFECT OF PLANTING DATES ON POLLINATION INCIDENCE IN MAIZE

ABSTRACT

The study was conducted at the IDIAP Experimental Station in El Ejido-Los Santos, located at 7°54' N latitude and 80°22' W longitude, at approximately 25 m above sea level. The experimental unit consisted of six rows, each 5.2 m long, arranged at 0.75 m between rows and 0.20 m between plants. The effective plot comprised the two central rows of each experimental unit. Two maize hybrids and two production systems-rainfed and supplemental drip irrigation dependent on seasonal rainfall-were evaluated. Sowing was carried out on three different dates (August, September, and October), spaced 20 days apart, so that plant development occurred under contrasting environmental and rainfall conditions. The objective of the study was to identify the climatic variable that most strongly influences grain yield. The symptom with the most significant impact on yield reduction was the incidence of "Diente de Perro" (DPE), or poorly pollinated ears. In plots with supplemental irrigation, DPE incidence increased from 3.0% and 5.3% in August and September to 51.5% in the October sowing, corresponding to a 54.5% yield reduction in October. This effect was even more pronounced under rainfed conditions: DPE incidence rose from 2.6% and 8.8% in August and September to 61.0% in the October sowing, resulting in a 69.2% yield reduction. In both systems, the same environmental factors affected male and female flowering during the 15-day post-silking period. Vapor pressure deficit (VPD) was the climatic variable that most strongly influenced the increase in DPE incidence, showing high correlations with both tassel flowering ($r > 0.70$) and silk flowering ($r > 0.80$).

Key words: Poor pollination, VPD, Diente de Perro, water stress.

INTRODUCCIÓN

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 la fase reproductiva. 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



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](#)

y la producción de granos sea una fase extremadamente sensible al estrés ambiental causado por distintas variables climáticas (Bolaños & Barreto, 1991; Bolaños & Edmeades, 1993c). Lizaso et al. (2018) 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. Los problemas de polinización del maíz, que resultan en mazorcas mal llenas o mazorcas estériles, pueden deberse a diversos factores ambientales y de manejo. Las altas temperaturas, la sequía y el daño de los insectos pueden interferir con la viabilidad del polen, la aparición de los estigmas y la polinización, lo que lleva a una reducción de los rendimientos.

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 según Aylor, 2004; Schoper et al., 1986; Herrero & Johnson, 1980, baja humedad relativa del ambiente al momento de la polinización (Aylor, 2003). El Déficit de Presión de Vapor (VPD) es otra variable a considerar en la pérdida de viabilidad del polen (Fonseca y Westgate, 2005; Aylor, 2004). A estos factores ambientales, se le suma el exceso de lluvias al momento de la liberación del polen, la cual puede afectar la distribución de este; 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.

El estrés abiótico, como el calor, la sequía, el frío, las inundaciones y la salinidad, afecta negativamente la productividad de los cultivos. Diversas etapas del desarrollo reproductivo son especialmente sensibles al estrés ambiental, lo que puede provocar esterilidad total y graves pérdidas de rendimiento (Begcy & Dresselhaus, 2018). El estrés térmico es una limitación importante para la producción actual y futura de maíz a escala global. Tanto los órganos reproductivos masculinos como femeninos desempeñan un papel importante en el aumento de la producción de semillas bajo estrés térmico durante la floración, pero sus contribuciones relativas a la producción de semillas no están claras (Dong et al., 2024). Existe una fuerte interacción de la temperatura con el déficit de presión



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](#)

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. Esta pérdida de la viabilidad ocurre en el tiempo de movimiento del polen desde la panoja a los estigmas de la mazorca (Fonseca & Westgate, 2005). Estos resultados sugieren que a medida que aumenta la temperatura y aumenta el VPD, es más probable que la polinización pudiera 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 & Dold, 2018). Traore et al. (2000), 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). El objetivo del estudio fue determinar la variable climática que más influye en el rendimiento de grano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en la Estación Experimental del IDIAP en El Ejido-Los Santos. Localizada entre los 7°54' de latitud Norte y 80°22' longitud Oeste, a unos 25 metros sobre el nivel del mar. El manejo agronómico en cuanto a control de maleza y fertilización se realizó según la tecnología generada por el IDIAP (Gordón-Mendoza, 2021).

La unidad experimental constó de seis surcos de 5,2 m de largo, con un arreglo de 0,75 m entre surcos y 0,20 m entre plantas. La parcela efectiva fueron los dos surcos centrales de cada unidad experimental. El diseño utilizado fue el de Bloques completos al azar con 3 repeticiones. Se evaluaron tres factores en un arreglo Factorial en Fajas dobles 3 x 3 x 2. Se realizó la siembra en tres fechas distintas (agosto, septiembre y octubre) separadas 20 días entre las mismas. Se evaluaron dos híbridos de maíz y dos sistemas uno con riego por goteo suplementario, y secano dependiente de las lluvias de la temporada.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](#)

El sistema de riego suplementario se utilizó para mantener las parcelas a capacidad de campo (de acuerdo con monitoreos con tensiómetros ubicados en las parcelas) y así garantizar que las plantas no pasaran por estrés debido a la precipitación pluvial errática que se presentaba en cada período o fecha de siembra a través de los años que duró la investigación. Por otro lado, las parcelas de secano sometieron a las plantas al estrés natural de falta de lluvias de cada fecha de siembra a través de los años. Se midieron las variables más comunes en el cultivo como lo son: Floración masculina y femenina, rendimiento de grano, porcentaje de humedad, número de plantas y mazorcas cosechadas, número de mazorcas con polinización deficiente o diente de perro (DPE) (Figura 1). Se realizó un análisis de correlación y regresión entre el rendimiento y los porcentajes de mazorcas con deficiente polinización de cada siembra en las distintas fechas de siembra a través de los años que duró el estudio.

Las variables climáticas se obtuvieron de una estación meteorológica portátil tipo Davis®, ubicada a menos de 100 m lineales de la parcela experimental. Se midió la precipitación pluvial, temperatura máxima y mínima del aire, porcentaje de humedad relativa máxima y mínima, radiación solar, radiación ultravioleta, energía solar. Se calculó la evapotranspiración potencial de acuerdo con la ecuación de Penman Monteith y el déficit de presión de vapor (VPD) de acuerdo con Allen et al., 2006.

Los datos climáticos como temperatura promedio, temperatura máxima, radiación solar, energía solar, humedad relativa promedio, radiación ultravioleta, evapotranspiración potencial y déficit de presión de vapor se promediaron o sumaron 5, 10 y 15 días después de la floración masculina y femenina. Luego cada valor se correlacionó con el porcentaje de mazorcas con mala polinización (diente de perro) tanto en las parcelas con riego suplementario como en secano. Posteriormente se procedió a realizar una regresión múltiple entre el rendimiento de grano por sistema y las distintas variables climáticas a través del procedimiento Stepwise de SAS para estimar el efecto que tienen estas sobre el rendimiento.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](#)



Figura 1. Mazorcas con mala o deficiente polinización, denominadas Diente de Perro (DPE).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento de grano en el sistema de secano osciló entre 1,75 a 10,17 t.ha⁻¹ mientras que en las parcelas con riego suplementario oscilaron entre 1,84 a 9,36 t.ha⁻¹ (Cuadro 1). Con relación a la mazorca con DPE en secano y riego suplementario los porcentajes máximos por sistemas fueron de 97,6% y 72,7%, respectivamente, variando a través de los años. El rendimiento de grano según las fechas de siembra de agosto y septiembre superaron al rendimiento de las siembras en octubre tanto en el sistema de secano (8,28, 6,86 y 2,55 t.ha⁻¹) como con riego suplementario (8,31, 8,52 y 3,78 t.ha⁻¹). En estas mismas fechas de siembra el porcentaje de mazorcas DPE fue bajo en las primeras dos fechas de ambos sistemas (menor de 10%) y aumentó en octubre tanto en secano (61,0%) como en riego suplementario (51,5%).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](#)

Cuadro 1. Rendimiento de grano y otras características agronómicas por sistema a través de años El Ejido, 2016-2022.

Año	Fecha Siembra	Secano					Riego suplementario				
		Rend (t.ha ⁻¹)	DPE (%)	Ptm2	Mzm2	Alpt (cm)	Rend (t.ha ⁻¹)	DPE (%)	Ptm2	Mzm2	Alpt (cm)
2016	Ago	7,05	0,0	5,83	5,73	232	7,72	0,0	6,43	6,20	243
	Sep	7,76	1,8	6,60	6,37	258	8,27	1,8	6,56	6,35	270
	Oct	3,12	50,6	6,35	5,94	221	5,59	27,2	6,20	5,77	234
2017	Ago	10,17	0,0	6,56	6,65	272	9,36	0,0	6,50	6,26	273
	Sep	8,00	3,5	6,18	6,20	233	7,95	7,3	6,58	6,05	261
	Oct	1,75	97,6	6,00	5,13	219	3,60	72,7	6,65	5,94	241
2018	Ago	9,58	4,8	7,01	6,73	236	9,12	5,7	6,58	6,49	247
	Sep	6,39	3,7	6,54	5,94	228	7,97	3,0	6,75	6,18	238
	Oct	2,06	61,0	6,50	5,47	233	3,70	51,1	6,60	5,96	244
2019	Ago	7,88	2,4	6,45	6,35	232	7,60	2,6	6,13	5,73	227
	Sep	6,60	16,3	5,90	5,36	228	8,51	6,9	6,18	5,58	240
	Oct	1,81	56,6	6,67	6,07	214	1,84	46,2	6,71	5,94	220
2020	Ago	7,74	7,5	6,07	5,79	248	7,48	6,8	6,30	5,79	252
	Sep	6,96	10,9	6,13	6,05	233	8,92	3,4	6,58	6,28	252
	Oct	3,15	70,9	6,60	6,32	239	3,52	54,9	6,45	5,88	237
2021	Ago	8,95	1,3	6,92	6,84	226	8,96	1,7	6,77	6,69	235
	Sep	6,22	5,7	5,85	5,45	220	9,34	4,7	6,56	6,39	233
	Oct	2,47	66,5	3,44	2,97	175	4,68	62,9	6,11	4,32	214
2022	Ago	6,58	2,3	6,62	6,47	230	7,95	4,0	6,50	6,50	237
	Sep	6,09	20,1	5,73	5,22	216	8,66	9,9	6,61	6,37	253
	Oct	3,50	24,0	6,67	6,30	175	3,56	45,4	6,13	6,03	214
	Agosto	8,28	2,6	6,50	6,36	239	8,31	3,0	6,46	6,24	245
	Septiembre	6,86	8,8	6,13	5,80	231	8,52	5,3	6,54	6,17	250
	Octubre	2,55	61,0	6,03	5,46	211	3,78	51,5	6,41	5,69	229
	Promedio	5,90	24,2	6,22	5,87	227	6,87	19,9	6,47	6,03	241

Rend = Rendimiento de grano, DPE = Diente de perro, Ptm2 = plantas/m², Mzm2 = mazorcas/m², Alpt = Altura de planta

Relación entre el rendimiento de grano y % mazorcas con DPE

El estrés hídrico puede retrasar la emergencia de los estigmas hasta que la liberación de polen esté casi terminada o completamente terminada. Durante períodos de altas temperaturas, baja humedad relativa y un nivel inadecuado de humedad del suelo, los estigmas expuestos pueden secarse y volverse no receptivos a la germinación del polen (Lauer, 2006).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](#)

El análisis de correlación del rendimiento de grano en los sistemas de secano y riego suplementario con los porcentajes de mazorcas con DPE presentaron un coeficiente de correlación de -0,89 y -0,91, respectivamente. De todas las variables asociadas medidas a la planta éstas fueron las que explicaron con más precisión la reducción del rendimiento en ambos sistemas. La Figura 2 muestra la ecuación de regresión de ambos sistemas, indicando la relación negativa de esta característica (DPE) con el rendimiento de grano.

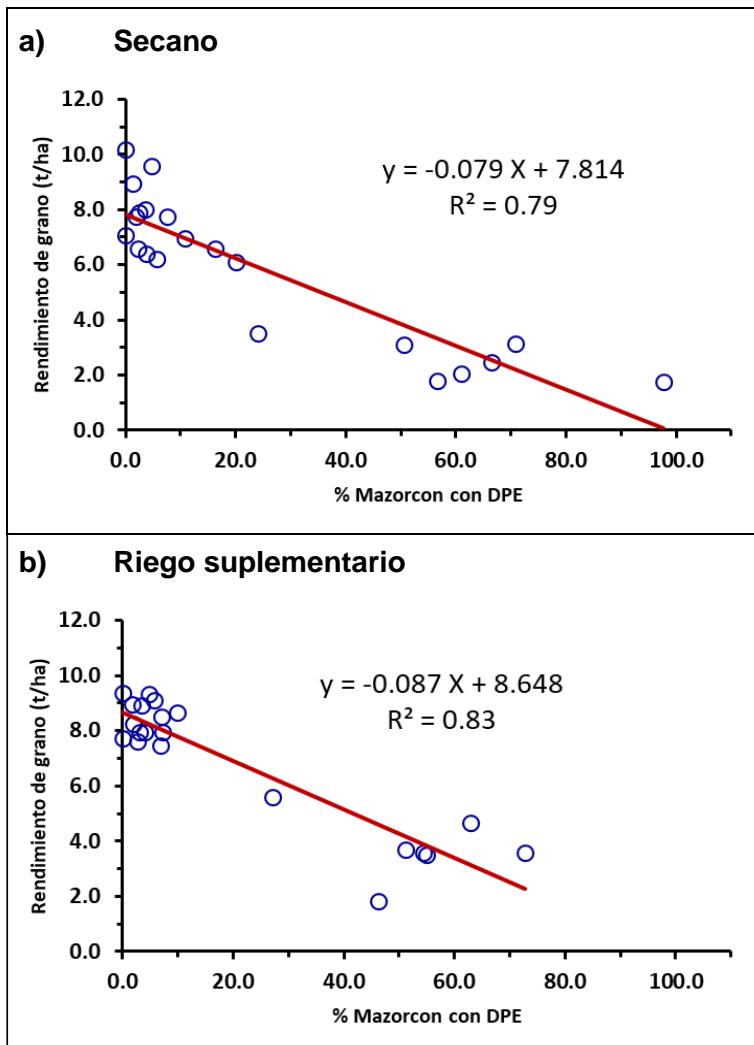


Figura 2. Relación entre el rendimiento de grano y el porcentaje de mazorcas con polinización deficiente bajo los sistemas de secano (a) y riego suplementario (b). El Ejido, 2013-2022.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](#)

La pendiente de la regresión lineal de ambas ecuaciones es parecida, aunque ligeramente menor en el sistema de riego suplementario. Esto sugiere que las plantas en secano al estar estresada por la baja humedad del suelo se afectan más que las plantas que no sufren estrés hídrico por la falta de humedad del suelo en ninguna etapa de su desarrollo.

Relación entre el % mazorcas con DPE y las variables climáticas:

La floración y el llenado de grano son dos fases críticas para la determinación del rendimiento de grano (Ndlovu et al., 2021). Estreses en la fase de floración afectan la polinización y los componentes asociados a la biomasa, resultando en reducción del rendimiento de grano (Oury et al., 2016). En el Cuadro 2 se presentan los coeficientes de correlación lineal de Pearson entre el porcentaje de mazorcas con DPE y las distintas variables climáticas en tres períodos (5, 10 y 15 días) después de la floración (DDF) masculina y femenina. En general, las variables climáticas en el período de los 15 días después de ambas floraciones presentaron los coeficientes más altos en ambos sistemas. Por otro lado, Wang et al. (2021), encontraron que el período más sensitivo con el estrés térmico los cinco días después de la antesis como función de la reducción del número de granos de polen más que con la viabilidad de este. Lizaso et al. (2018) encontraron que el rendimiento de grano de maíz se reduce bajo estrés térmico principalmente a través de la viabilidad del polen que a su vez determina el número de granos, aunque también se detectó un efecto más pequeño pero significativo del componente femenino. La etapa de antesis consiste en el desarrollo de los órganos reproductivos, la polinización y la fertilización, y la diferenciación temprana de los granos, que es una etapa típicamente sensible al calor y otros factores de estrés abióticos (Gupta et al., 2015).

En el sistema secano el aumento de la precipitación pluvial acumulada en los 15 DDF femenina reduce la incidencia de mazorcas con DPE (-0,56) mientras que el VPD acumulado en ese mismo período aumenta la incidencia de DPE (0,78). Estas mismas dos variables (lluvia y VPD) tuvieron el mismo efecto en las parcelas con riego suplementario ($r = -0,57$ y 0,84, respectivamente). Con respecto al período de 15 DDF de la floración masculina, el VPD explicó el 0,71 en parcelas en secano y 0,80 en las parcelas con riego suplementario del aumento del % de mazorcas DPE. La liberación de polen, la polinización, el crecimiento del tubo polínico y la formación temprana del grano en el período



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](#)

inmediatamente posterior a la estigmatización son más sensibles al estrés térmico en el maíz (Wang et al., 2021).

Cuadro 2. Coeficientes de correlación lineal de Pearson de la relación del porcentaje de mazorcas con DPE y las distintas variables climáticas a los 5, 10 y 15 días después de la floración masculina y femenina en dos sistemas de estrés hídrico.

Variables climática s	SECANO						RIEGO SUPLEMENTARIO					
	F MASCULINA			F FEMENINA			F MASCULINA			F FEMENINA		
	5 DDF	10 DDF	15 DDF	5 DDF	10 DDF	15 DDF	5 DDF	10 DDF	15 DDF	5 DDF	10 DDF	15 DDF
PPT	-0,19	-0,29	-0,51	-0,17	-0,36	-0,56	-0,18	-0,29	-0,53	-0,20	-0,39	-0,57
T Prom	0,16	0,13	0,18	0,13	0,13	0,24	0,17	0,15	0,27	0,15	0,16	0,26
T Max	-0,09	-0,10	-0,03	-0,15	-0,08	0,00	0,00	0,00	0,07	-0,05	0,01	0,08
HR	-0,14	0,13	-0,47	-0,16	-0,26	-0,54	-0,24	0,08	-0,56	-0,24	-0,37	-0,55
R Max	-0,44	-0,51	-0,48	-0,51	-0,44	-0,40	-0,45	-0,55	-0,56	-0,53	-0,50	-0,46
SEN	-0,34	-0,53	-0,18	-0,02	-0,17	0,22	-0,30	-0,55	-0,22	0,10	-0,13	0,21
Eto	-0,08	-0,13	0,17	0,05	-0,03	0,27	-0,08	-0,13	0,09	0,09	0,05	0,35
UV	0,03	-0,08	0,04	0,06	0,15	0,38	0,20	0,03	0,36	0,03	0,17	0,45
VPD	-0,04	-0,02	0,71	0,02	0,09	0,78	0,07	0,10	0,80	0,11	0,19	0,84

PPT = Precipitación pluvial, TProm = Temperatura promedio, T Max = Temperatura máxima, HR = Humedad relativa promedio, RMax = Radiación solar máxima, SEN = Energía solar, Eto = Evapotranspiración potencial, UV = Radiación ultravioleta, VPD = Déficit de Presión de Vapor.

Tanto la liberación del polen como la receptividad de los estigmas del maíz se encuentran demarcadas a un corto período de tiempo. La liberación del polen ocurre exclusivamente durante las horas de luz, en especial durante la mañana hasta antes del mediodía. La receptividad de los estigmas decae rápidamente después de los siete días de su aparición, siendo nula a los 14 días de su emergencia (Garay & Cruz, 2015).

En ambos tipos de floración (femenina y masculina) las pendientes de las líneas de regresión son más pronunciadas en el sistema de siembra de secano (Figura 3), encontrando mayor porcentaje de mazorcas con DPE, lo que sugiere que una planta estresada por déficit hídrico se ve más afectada por las condiciones climáticas del ambiente. Bheemanahalli et al. (2022), encontraron que la germinación del polen disminuyó más cuando las plantas estuvieron sometidas por estrés hídrico y de temperatura que cuando fueron sometidas a un solo estrés o estreses separados. Zhou et al. (2017) informa



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](#)

que las respuestas de estrés hídricos y temperatura combinados pueden ser únicos con respecto a los estreses individuales.

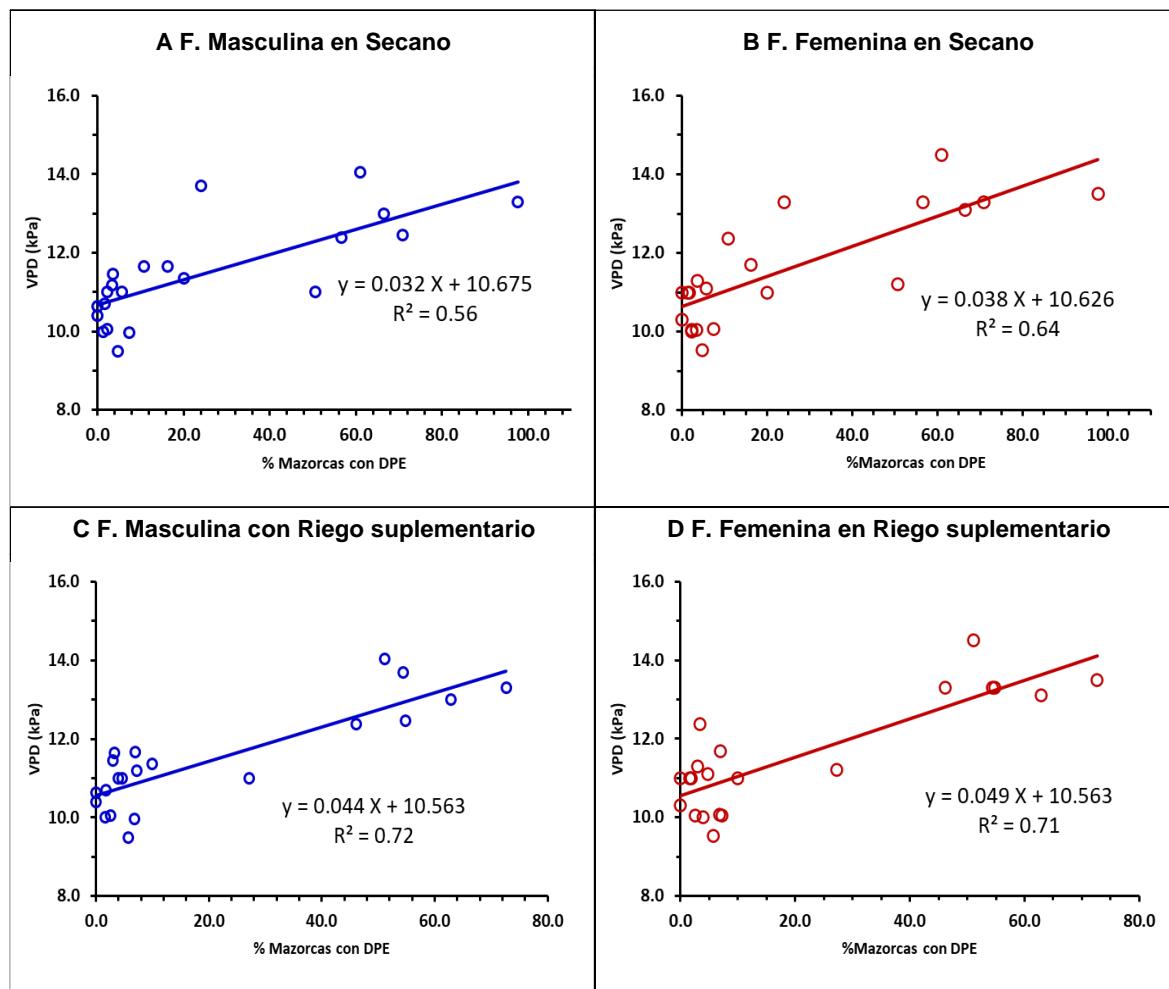


Figura 3. Relación entre el porcentaje de mazorcas con DPE y el VPD en los 15 días después de la floración masculina (A) y femenina (B) en las siembras en secano y floración masculina (C) y femenina (D) en las siembras con riego suplementario.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](#)

Análisis de Regresión múltiple

Los estadísticos del análisis de regresión múltiple del porcentaje de mazorcas con DPE y las distintas variables climáticas en el período de 15 DDF femenina y masculina para los dos sistemas evaluados (secano y riego suplementario) se presentan en el Cuadro 3. El coeficiente de regresión de los cuatro modelos fue superior a 0,85, alcanzando los mayores valores en el sistema con riego suplementario ($R^2 = 0,91$).

En ambos sistemas se encontraron casi las mismas variables que afectan las floraciones en el período de los 15 días DDF. El VPD sigue siendo la variable que influye más en el aumento de la incidencia de las mazorcas con DPE; en los cuatro modelos es la variable con mayor parámetro estimado (> 23) y a su vez es altamente significativo. La radiación promedio reduce la incidencia de las mazorcas con DPE y su incidencia favorable es mayor en la floración femenina que en la masculina. Por otra parte, la Energía solar afecta en el periodo posterior a la floración femenina incrementando la incidencia de DPE. Dong et al. (2024) indican que el VPD, que es una medida de la sequedad atmosférica, puede afectar significativamente la polinización y el rendimiento del maíz. La VPD elevada, a menudo asociada con altas temperaturas y baja humedad, puede provocar una reducción de la viabilidad del polen, una mala emergencia de los estigmas y, en última instancia, una menor formación de granos.

Estudios realizados por Dong et al. (2024) encontraron que el rendimiento de grano se correlacionó significativamente de forma negativa con los valores de temperatura máxima y promedio, horas de sol y VPD durante los 15 días que enmarcan la etapa de floración femenina. En este estudio el VPD tuvo la mayor importancia para la variación del conjunto de semillas seguido de la temperatura promedio y la lluvia. Por otra parte, Turc et al. (2016) indican que altos valores de VPD inducidos por el estrés debido a la sequía pueden inhibir el crecimiento de los estigmas los cuales reducen la emergencia de estos y de esta forma afectando la polinización.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](#)

Cuadro 3. Parámetros estimados del procedimiento de regresión múltiple (Stepwise) entre el porcentaje de mazorcas con DPE y las variables climáticas acumuladas en la fase de 15 DDF femenina y masculina en los sistemas de secano y riego suplementario, El Ejido, 2016 -2022.

Floración	Variables	Parámetro estimado	Prob >F	R² parcial	R² del modelo	Pr >F
		Secano				
Masculina	VPD	27,95	0,001	0,50	0,50	0,002
	RPR	-1,64	0,001	0,36	0,86	0,001
Femenina	VPD	27,42	0,001	0,52	0,52	0,002
	RPR	-10,07	0,054	0,32	0,84	0,001
	SEN	4,11	0,097	0,03	0,88	0,097
Riego suplementario						
Masculina	VPD	26,40	0,003	0,48	0,48	0,003
	RPR	-1,00	0,001	0,41	0,88	0,001
	TMax	-3,33	0,093	0,03	0,91	0,093
Femenina	VPD	23,86	0,001	0,49	0,49	0,003
	RPR	-10,63	0,007	0,36	0,86	0,001
	SEN	4,47	0,015	0,06	0,91	0,015

VPD = Déficit de presión de vapor, PPT = precipitación pluvial; RPR = Radiación solar promedio, SEN = Energía solar, TMax = Temperatura máxima.

CONCLUSIONES

- El Déficit de presión de vapor (VPD) y la radiación solar son las variables climáticas que mejor explicaron la incidencia de mazorcas con mala polinización.
- La incidencia de las mazorcas con mala polinización o presencia del Diente de Perro (DPE) está altamente correlacionada con el rendimiento de grano.
- La etapa de floración en el cultivo de maíz es muy sensible a las condiciones climáticas del ambiente, siendo los 15 días después de la antesis y el barbeo la que mejor explicaron la incidencia de las mazorcas con mala polinización.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](#)

REFERENCIAS

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo-Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO Riego y Drenaje 56. FAO. Roma. ISBN 92-5-304219-2.
- Aylor, D. E. (2004). Survival of maize (*Zea mays*) pollen exposed in the atmosphere. *Agricultural and Forest Meteorology*, 123, 125-133.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.12.007>
- Aylor, D. E. (2003). Rate of dehydration of corn (*Zea mays*) pollen in the air. *Journal of experimental Botany*, 54(391), 2307-2312. <https://doi.org/10.1093/jxb/erg242>
- Begcy, K., & Dresselhaus, T. (2018). Epigenetic responses to abiotic stresses during reproductive development in cereals. *Plant Reprod.* 31, 343-355.
<https://doi.org/10.1007/s00497-018-0343-4>
- Bheemanahalli, R., Ramamoorthy, P., Poudel, S., Samiappan, S., Wijewardane, N., & Reddy, K. R. (2022). Effect of drought and heat stresses during reproductive stage on pollen germination, yield and leaf reflectance properties in maize (*Zea mays*). *Plant Direct* 6(8), e434. <https://doi.org/10.1002/pld3.434>
- Dong, X., Li, B., Yan, Z., Guan, L., Huang, S., Li, S., Qi, Z., Tang, L., Tian, H., Fu, Z., & Yang, H. (2024). Impacts of high temperature, relative air humidity, and vapor pressure deficit on the seed set of contrasting maize genotypes during flowering. *Journal of Integrative Agriculture*, 23(9), 2955-2969.
<https://doi.org/10.1016/j.jia.2023.09.007>
- Fonseca, A. E., & Westgate, M. E. (2005). Relationship between desiccation and viability of maize pollen. *Field Crops Research*, 94(2-3), 114-125.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.12.001>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](#)

Garay, J. A., & Cruz-Colazo, J. (2015). El cultivo de maíz en San Luis. Información Técnica 188.

Gordón-Mendoza, R. (2021) El maíz en Panamá: Características, requerimientos y recomendaciones para su producción en ambientes con alta variabilidad climática. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá. 110p.
https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/manual_tecnico_el_maiz_en_panama.pdf

Gupta, S. K., Rai, K. N., Singh, P., Ameta, V. L., Gupta, S., Jayalekha, K., Mahala, R. S., Pareek, S., Swami, M. L., & Verma, Y. S. (2015), Seed set variability under high temperatures during flowering period in pearl millet (*Pennisetum glaucum* L. (R.) Br.). *Field Crops Research*, 171, 41-53. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.11.005>

Hatfield, J. L., & Dold, C. (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, 95-114.

<http://doi.org/10.5772/intechopen.76933>

Herrero, M. P., & Johnson, R. R. (1980). High Temperature Stress and Pollen Viability of Maize. *Crop Science*, 20(6), 796.

<https://doi.org/10.2135/cropsci1980.0011183X002000060030x>

Lauer, J. G., Carter, P. R., Wood, T. M., Diezel, G., Wiersma, D. W., Rand, R. E., & Mlynarek, M. J. (1999). Corn Hybrid Response to Planting Date in the Northern Corn Belt. *Agronomy Journal*, 91, 834-839. <https://doi.org/10.2134/agronj1999.915834x>

Lauer, J. G. (2006). Concerns about drought as corn pollination begins. University of Wisconsin Agronomy Department. *Field Crops*, 28, 493-42.

<https://corn.agronomy.wisc.edu/AA/pdfs/A042.pdf>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](#)

Lizaso, J. I., Ruiz Ramos, M., Rodríguez, L., Gabaldon Leal, C., Oliveira, J. A., Lorite, I. J., & Rodríguez, A. (2018). Impact of high temperatures in maize: Phenology and yield components. *Field Crops Research*, 216, 129-140.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.11.013>

Ndlovu, E., van Staden, J., & Maphosa, M. (2021). Morpho-physiological effects of moisture, heat and combined stresses on Sorghum bicolor [Moench (L.)] and its acclimation mechanisms. *Plant Stress*, 2, 100018. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100018>

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(5), 1034-1042. <https://doi.org/10.2134/agronj2001.9351034x>

Oury, V., Caldeira, C. F., Prodhomme, D., Pichon, J. P., Gibon, Y., Tardieu, F., & Turc, O. (2016). Is change in ovary carbon status a cause or a consequence of maize ovary abortion in water deficit during flowering? *Plant Physiology*, 171(2), 997-1008.
<https://doi.org/10.1104/pp.15.01130>

Schoper, J. B., Lambert, R. J., & Vasilas, B.L. (1986). Maize Pollen Viability and Ear Receptivity under Water and High Temperature Stress1. *Crop Science*, 26(5), 1029.
<https://doi.org/10.2135/cropsci1986.0011183X002600050038x>

Tebaldi, C., Hayhoe, K., Arblaster, J. M., & Meehl, G. A. (2006). Going to the extremes: An intercomparison of model simulated historical and future changes in extreme events. *Climatic Change*, 79(3-4), 185-211. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9051-4>

Turc, O., Bouteillé, M., Fuad-Hassan, A., Welcker, C., & Tardieu, F. (2016). The growth of vegetative and reproductive structures (leaves and skills) respond similarly to hydraulic cues in maize. *New Phytologist*, 212, 377-388.
<https://doi.org/10.1111/nph.14053>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](#)

Traore, S. B., Carlson, R. E., Pilcher, C. D., & Rice, M. E. (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>

Wang, Y., Sheng, D., Zhang, P., Dong, X., Yan, Y., Hou, X., Wang, P., & Huang, S. (2021). High temperature sensitivity of kernel formation in different short periods around silking in maize. *Environmental and Experimental Botany*, 183, 104343. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104343>

Zhou, R., Yu, X., Ottosen, C.-O., Rosenqvist, E., Zhao, L., Wang, Y., Yu, W., Zhao, T., & Wu, Z. (2017). Drought stress had a predominant effect overheat stress on three tomato cultivars subjected to combined stress. *BMC Plant Biology*, 17, 24. <https://doi.org/10.1186/s12870-017-0974-x>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](#)