

Efecto de tres tiempos de inundación en la etapa de floración de tres híbridos de maíz en Ecuador

Effect of three times of flooding in the flowering stage of three maize hybrids in Ecuador

Freddy Carlos Gavilánez Luna^{1*}  y Ada Anyeline Carabalí Vargas¹ 

¹Universidad Agraria del Ecuador, Departamento de Ingeniería Agrícola. Guayaquil, Ecuador.

***Autor para correspondencia:**

fgavilanez@uagraria.edu.ec

Conflictos de interés:

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Contribución de autores:

Todos los autores realizaron contribuciones sustanciales en la concepción y diseño de este estudio, al análisis e interpretación de datos, a la revisión del manuscrito y la aprobación de la versión final. Todos los autores asumen la responsabilidad por el contenido del manuscrito.

Financiamiento:

Ninguno

Periodo de publicación:

Enero-Junio de 2024

Historial:

Recibido: 28/02/2023;

Aceptado: 30/05/2024

Editor responsable:

Arnaldo Esquivel Fariña 

Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias. San Lorenzo, Paraguay.

Licencia:

Artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia Creative Commons CC-BY 4.0

RESUMEN

El conocimiento del tiempo de drenaje del maíz y del material vegetativo menos susceptible a la inundación son elementos importantes al momento de diseñar la infraestructura de desagüe en los campos agrícolas. Ante esto, este ensayo tuvo como objetivo evaluar el efecto de tres tiempos de saturación hídrica del suelo en tres híbridos de maíz, dentro de la etapa de floración. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, bajo un esquema factorial de 36 unidades experimentales y con distancia de siembra de 0,90 m x 0,25 m. Se emplearon los híbridos DK-7508, EMBLEMA y ADV9313 (niveles del Factor A); los mismos que en etapa plena de floración se inundaron durante 24, 48 y 72 horas, con un tratamiento testigo (0 horas) (niveles del factor B). Se valoró el tamaño y peso de mazorcas, índice grano/tusa, peso de 100 granos y el rendimiento de granos. Se aplicaron modelos de análisis de varianza con esquemas bi-factoriales, se realizó la prueba de Tukey en la comparación de medias para los híbridos, y ajustes de regresión por polinomios ortogonales para verificar tendencias en cuanto a los tiempos de inundación. Se establecieron diferencias significativas ($p < 0,05$) en todas las variables de acuerdo a los tiempos de inundación, con reducciones en el rendimiento de 36,80%, 18,42% y 18,73% para los híbridos DK-7508, EMBLEMA y ADV9313, respectivamente, a las 72 horas de inundación. Predominó la tendencia lineal en las variables y se determinó un tiempo de drenaje entre 29 y 48 horas para una pérdida máxima del 10%, según el híbrido evaluado.

Palabras clave: *Zea mays*, anaerobiosis, características agronómicas, cereales, estrés abiótico

ABSTRACT

Knowledge of the drainage time of corn and the vegetative material less susceptible to flooding are important elements when designing drainage infrastructure in agricultural fields. Given this, this trial aimed to evaluate the effect of three times of soil water saturation in three corn hybrids, within the flowering stage. A complete randomized block design was used, under a factorial scheme of 36 experimental units and with a planting distance of 0.90 m x 0.25 m. The hybrids DK-7508, EMBLEMA and ADV9313 were used (Factor A levels); the same ones that in the full flowering stage were flooded for 24, 48 and 72 hours, also evaluating a control treatment (0 hours) (factor B levels). The size and weight of ears, grain/cob index, weight of 100 grains and yield were evaluated. Analysis of variance models with bi-factor schemes, Tukey test in the comparison of means for the hybrids and regression adjustments by orthogonal polynomials were applied to verify trends in terms of flooding times. Significant differences ($p < 0.05$) were established in all variables according to flooding times, with reductions in yield of 36.80%, 18.42% and 18.73% for the DK-7508 hybrids. EMBLEMA and ADV9313, respectively, at 72 hours of flooding. The linear trend predominated in the variables and a drainage time was determined between 29 and 48 hours for a maximum loss of 10%, depending on the hybrid evaluated.

Keywords: *Zea mays*, abiotic stress, agronomic characteristics, anaerobiosis, cereals

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays*) es un cereal básico dentro de la seguridad alimentaria a nivel general. Junto al arroz y al trigo, son las especies gramíneas de mayor consumo a nivel mundial (Pérez y Sánchez, 2022). En Ecuador, es el principal cultivo transitorio, ocupa un área de 373.587 ha y comprende el 37,12% de todas estas especies que se siembran a nivel nacional (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), 2021). Su importancia se debe a su mayoritario uso en la agroindustria y, en menor medida, como alimento directo de la población. Bajo este panorama, se entiende el requerimiento de los procesos de investigación relacionados a esta especie para mantener y/o mejorar sus niveles de producción, especialmente en zonas que tienen restricciones edafoclimáticas para la producción normal de este cereal.

Las condiciones de suelo de total saturación hídrica para el maíz en estaciones lluviosas, especialmente en la época de floración, ocasionan una serie de efectos que van en desmedro de sus niveles de producción (Trujillo-Marín, Cun-González y Herrera-Puebla, 2017). Estas condiciones anóxicas reducen el desarrollo del cultivo, el área foliar, los contenidos de materia seca y la transpiración (Basso *et al.*, 2019); consecuentemente, se genera una deficiente formación del grano y bajo rendimiento (Escalante, Escalante y Aguilar, 2023; Zaidi, Rafique, Rai, Singh y Srinivasan, 2004). El exceso de humedad produce un daño directo al sistema radicular, lo que afecta la absorción de agua y nutrientes; además de producirse deficiencias de nitrógeno en el suelo por desnitrificación, afectaciones al cultivo en su capacidad fotosintética y generación de sustancias tóxicas debido a la falta de oxígeno (Herrera, Duarte, González y Cid, 2016; Li, Guan, Schnitkey, DeLucia y Peng, 2019).

Un elemento fundamental para el manejo de la especie, en la época de lluvias, es el conocimiento del tiempo de drenaje o duración máxima a la que podría estar sometida en condiciones de saturación sin que su rendimiento se vea afectado sustancialmente (Herrera *et al.*, 2016). No obstante, este periodo de tiempo es un factor poco estudiado, no solamente en el maíz, sino en prácticamente todas las especies. Entre estos escasos reportes se encuentra el de Cun-González *et al.* (2018), quienes indican que, con 72 horas de inundación en la etapa de floración, el rendimiento del maíz se reduce en un 50%; o lo indicado por Li *et al.* (2019), quienes manifiestan que el rendimiento del maíz puede reducirse hasta en un 34% debido a lluvias excesivas, sin precisar el tiempo de exposición a partir del cual se ha estimado esta pérdida.

Otro aspecto unido al desconocimiento del tiempo de drenaje en el maíz es la falta de información respecto de la susceptibilidad a la inundación que presentan los materiales vegetativos que comúnmente utiliza el agricultor en las zonas maiceras de Ecuador, que tienen diferente respuesta a esta condición (Kaur, Zurweller, Motavalli y Nelson, 2019). En este sentido, existe la necesidad de identificar, de entre las principales semillas de maíz que actualmente se comercializan en la zona de estudio, las que presenten una mayor resistencia a las condiciones anaeróbicas de suelos saturados, especialmente cuando esta condición

ocurre en una etapa crítica como la floración (Alfonso-Perdomo *et al.*, 2022; Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2001).

El desconocimiento del tiempo de drenaje limita la selección, más o menos adecuada, de las lluvias de diseño para el dimensionado de las obras de evacuación de los excesos hídricos (Grassi, 1991); cuya imprecisión podría incidir en un sobredimensionamiento que encarece la infraestructura y resta área de cultivo, o en el subdimensionamiento que no permitiría la evacuación de los excesos hídricos en el tiempo oportuno para el cultivo (Gavilánez, 2020). Por ello, será fundamental definir el tiempo de drenaje del maíz para que la proyección de las obras de evacuación permita un diseño más optimizado en zonas inundables con potencial de producción; además de identificar para estas zonas, algún híbrido que ofrezca menos susceptibilidad a estas condiciones. De allí que se haya desarrollado este trabajo, que tiene como objetivo la valoración de la incidencia de varios tiempos de exposición a excesos hídricos, en la etapa de floración, sobre la producción de tres híbridos de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio fue desarrollado entre los meses de junio a septiembre del año 2022, en el cantón Simón Bolívar de la provincia del Guayas, en Ecuador; en un sitio de coordenadas UTM (17M) 676063E, 9776797N. La condición climática de la zona se define por tener, como media, una temperatura de 25,2°C, una humedad relativa del 82%, velocidad del viento de 1,2 ms⁻¹, heliofanía dada por 3,2 horas día⁻¹ de insolación y precipitación de 1.210 mm año⁻¹ (FAO, 2022). En la zona se cultivan predominantemente especies de ciclo corto, siendo el maíz una de ellas. El suelo es de tipo arcilloso y, de acuerdo al Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG, 2022), éste se encasilla en el orden de los Mollisoles, suborden Udolls.

Se instaló un experimento bajo un diseño de bloques completos al azar, en el cual el factor A estuvo representado por los tres híbridos más cultivados en la zona de estudio, identificados como DK-7508, EMBLEMA y ADV9313; todos con un rendimiento potencial entre 7 a 10 t ha⁻¹. Los tiempos de inundación, a los cuales se sometieron los híbridos indicados, constituyeron el factor B, compuesto de los niveles: 0, 24, 48 y 72 horas. Totalizando 36 unidades experimentales. Cabe indicar que los lapsos de exceso hídrico fueron aplicados en la etapa de floración, a los 60 días después de la siembra. En cada unidad experimental se sembraron seis hileras de plantas, distanciadas a 0,90 m y a 0,25 m entre ellas. A partir de estas medidas se definieron parcelas de 5,4 m de ancho y 6,0 m de longitud, con un área útil de 1,8 m x 4,0 m que delimitó 32 plantas para la evaluación de las variables de respuesta.

La irrigación se aplicó por surcos, tomando en cuenta la demanda hídrica del cultivo, cuyo método para su determinación fue el de la tina de evaporación clase A (Allen, Pereira, Raes y Smith, 2006). Se empleó una fertilización base de 120 kg N ha⁻¹, 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ y 50 kg KCl ha⁻¹, de acuerdo al análisis de suelo previo (bajo para amonio, medio para fósforo y potasio); adicionando

la mitad del nitrógeno (N) y, la totalidad del fósforo (P_2O_5) y potasio (KCl), a los 15 después de la siembra; mientras que, la mitad restante de N, se añadió a los 50 días posteriores a la siembra. Para el control de plagas se utilizaron los insecticidas Methomyl (900 g kg^{-1} de i.a.) y Benfuracarb (212 g L^{-1} de i. a.), en dosis de $0,50 \text{ kg ha}^{-1}$ y $0,50 \text{ L ha}^{-1}$, respectivamente. El control de malezas se realizó de forma manual. La cosecha se llevó a cabo a los 135 días después de la siembra.

Las variables estuvieron relacionadas a la producción y se evaluaron en el periodo de cosecha. Se evaluó el tamaño (diámetro y longitud) (cm) y el peso de la mazorca (g), la relación grano/tusa, el peso de 100 granos (g) y el rendimiento (kg ha^{-1}); utilizando un calibrador Vernier y una balanza digital. Las valoraciones se realizaron a partir de 20 plantas que se seleccionaron aleatoriamente dentro del área útil de cada unidad experimental. Se realizó el ajuste por humedad en el peso de los granos al 14%, con la ayuda de un medidor portátil, marca KETT, modelo PM-410.

Los datos de cada variable se sometieron al análisis de varianza, bajo un esquema bi-factorial, para verificar diferencias significativas ($p < 0,05$) entre híbridos de maíz y los tiempos de inundación; se aplicaron polinomios ortogonales para estos últimos, con el fin de establecer tendencias en el comportamiento de cada variable. En el caso del rendimiento, se generaron los respectivos modelos de regresión para representar la disminución de éste en función de los tiempos de exceso hídrico considerados. Para estos análisis se utilizaron Microsoft Excel y el software R Studio (R Studio Team, 2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características físicas de la longitud y peso de la mazorca obtuvieron diferencias significativas ($p < 0,05$), correspondiendo así a la expresividad genética de los híbridos de maíz evaluados (Caviedes, Carvajal-Larenas y Zambrano, 2022); lo cual fue distinto para el caso del diámetro de la mazorca, en donde no se encontraron estas diferencias (tabla 1).

Debido al balanceo en la comparación de los tres híbridos

dentro del diseño experimental utilizado, se podría indicar que las diferencias detectadas atribuibles al efecto de la inundación a la que fueron sometidos cada uno de ellos en igualdad de condiciones, dependen de forma individual de sus propios caracteres genotípicos implícitos, los cuales definen aspectos fenotípicos diferentes (Belalia et al., 2019). Estos, son afectados por las condiciones de exceso de humedad (Zaidi et al., 2004); pues, si se observan en conjunto los efectos de interacción de las seis variables evaluadas (tablas 1 y 2), éstos mayoritariamente resultaron no significativos ($p > 0,05$).

En cuanto al factor inundación, su efecto presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) en todos los híbridos evaluados, tanto en el diámetro y la longitud, así como en el peso de las mazorcas (tabla 1). De acuerdo con lo indicado en la tabla 3, entre los híbridos evaluados, ADV9313 fue el que experimentó la mayor reducción tanto en el diámetro como en la longitud de la mazorca (36,48% y 38,21%, respectivamente) a las 72 horas de inundación; mientras que, en el peso de la mazorca, DK-7508 fue el más afectado, con una disminución del 35,39%. Debido a que estas tres variables están inmersas en el proceso productivo de la especie, en alguna medida, la disminución de la concentración de nitrógeno, que arrastra a su vez al fósforo y al potasio (Goldman, Echeverría, Andrade y Uhart, 2002), producido por procesos de desnitrificación que ocurren en suelos inundados, termina incidiendo negativamente sobre estas características de la mazorca. Esta situación también es favorecida por presencia de sustancias tóxicas que se generan en el suelo por la actividad anaeróbica presente (Pardos, 2004).

Reducciones en el diámetro, la longitud y el peso de la mazorca, han sido reportados por Cun-González et al. (2018), con valores de 16,3%, 18,9% y 21,3%, respectivamente; reducciones debidas al efecto de la inundación en la etapa de floración, por un lapso de 144 horas. Considerando estas mismas variables, Alfonso-Perdomo et al. (2022), registran reducciones de 38,7%, 11,1% y 21,7% para el peso, el diámetro y la longitud de mazorca, respectivamente; también dentro de un lapso de 144 horas de inundación y en la etapa de floración. Resultados similares en la longitud de mazorca han sido

Tabla 1. Resumen del análisis de varianza para las variables diámetro de mazorca, longitud de mazorca y peso de mazorca.

Fuentes de variación	Diámetro de mazorca		Longitud de mazorca		Peso de mazorca	
	F	p	F	p	F	p
Híbridos	1,05	0,366	16,41	<0,001	22,38	<0,001
T. inundación	95,80	<0,001	657,62	<0,001	65,02	<0,001
Híbridos*T. inundación	2,81	0,035	9,50	<0,001	1,60	0,194
Tendencia lineal T. inundación	280,03	<0,001	1.856,29	<0,001	193,16	<0,001
Tendencia cuadrática T. inundación	1,66	0,210	13,94	0,001	1,39	0,251
Tendencia cúbica T. inundación	5,71	0,026	102,64	<0,001	0,5	0,487
Bloques	1,13	0,341	2,43	0,111	3,29	0,056
Coefficiente de variación	3,91%		1,66%		3,58%	

Estadígrafo de prueba (F) y probabilidad (p) bajo la función de densidad de Fisher.

Tabla 2. Resumen del análisis de varianza para las variables relación grano/tusa, peso de 100 granos y rendimiento.

Fuentes de variación	Relación. Grano/tusa		Peso de 100 granos		Rendimiento	
	F	p	F	p	F	p
Híbridos	1,37	0,275	5,55	0,011	17,05	<0,001
T. inundación	8,24	0,001	28,67	<0,001	31,23	<0,001
Híbridos*T. inundación	0,22	0,966	0,40	0,871	1,59	0,197
Tendencia lineal T. inundación	24,24	<0,001	85,08	<0,001	91,36	<0,001
Tendencia cuadrática T. inundación	0,03	0,854	0,07	0,790	1,41	0,248
Tendencia cúbica T. inundación	0,45	0,510	0,86	0,364	0,91	0,350
Bloques	2,02	0,156	4,77	0,019	3,28	0,057
Coefficiente de variación	8,18%		5,86%		4,78%	

Estadígrafo de prueba (F) y probabilidad (p) bajo la función de densidad de Fisher.

Tabla 3. Variación de las variables productivas de los híbridos de maíz evaluados, entre 0 y 72 horas de inundación.

Híbridos	Tiempo de inundación. (h)	Diámetro. Mazorca (cm)	Longitud Mazorca (cm)	Peso de mazorca (g)	Relación Grano/tusa	Peso 100 granos (g)	Rendimiento. (kg ha ⁻¹)
DK-7508	0	5,23	17,77	252,73	5,27	35,33	9.431,00
	72	4,07	14,00	186,67	6,15	27,00	6.894,73
	Variac. (%)	28,50*	26,93*	35,39*	-14,31ns	30,85*	36,79*
EMBLEMA	0	5,20	19,03	262,73	5,52	34,00	9.885,83
	72	3,97	13,83	217,10	6,46	27,00	8.348,07
	Variac. (%)	30,98*	37,60*	21,02*	-14,55ns	25,93*	18,42*
ADV9313	0	5,50	19,17	273,67	5,46	37,00	10.276,27
	72	4,03	13,87	223,77	6,67	28,67	8.655,47
	Variac. (%)	36,48*	38,21*	22,30*	-18,14ns	29,05*	18,73*

*: Diferencias significativas ($p < 0,05$); ns: Diferencias no significativas.

reportados por Caicedo-Camposano et al. (2019), con una disminución del 18,0% en un híbrido que fue sometido a 72 horas de inundación, pero sin precisar la época de su periodo vegetativo en que se produjo dicha condición.

El efecto sobre el diámetro, la longitud y el peso de las mazorcas de maíz, debido a las condiciones de inundación, fue representado por una disminución regresiva contundente mediante una tendencia lineal negativa (tabla 1 y figura 1), dada la magnitud de los valores del estadígrafo F de prueba registrados, que declaran un efecto altamente significativo ($p < 0,01$). Esto es, existe una relación inversamente proporcional que involucra la reducción de estos aspectos por cada hora de inundación a la que se somete el cultivo en la etapa de floración. Estos resultados son similares a los presentados por Trujillo-Marín et al. (2017), quienes también definen una relación lineal inversa entre el tiempo de inundación (0 a 72 horas) y la producción relativa del cultivo, propiciada por el exceso hídrico del suelo. Esta última condición reduce las concentraciones de nitratos y desequilibra otros nutrientes en el suelo, mientras que en la planta limita la transpiración y la capacidad fotosintética de ésta (Basso et al., 2019; Pardos, 2004); todo lo cual, termina repercutiendo en la producción de esta gramínea.

La afectación que pudieran experimentar los caracteres de producción del maíz como la relación grano/tusa, el peso de 100 granos y el rendimiento, como consecuencia de la inundación durante la etapa de floración, es un efecto independiente del tipo de material vegetativo que se utilice; es decir, no hay interacción entre estos factores (tabla 2). No obstante, se han detectado diferencias significativas en las dos últimas variables mencionadas que pueden ser atribuidas a la capacidad potencial implícita de cada material vegetativo (Kandel y Shrestha, 2020); sin embargo, los efectos significativos encontrados en el factor inundación, de forma general, en las tres variables mencionadas, dejan entrever el efecto igualitario que tiene cada híbrido a los tiempos de saturación evaluados (0, 24, 48 y 72 horas). Lo último permite observar el efecto en cadena de la limitación del proceso fotosintético normal causada por la condición anaeróbica, lo que consecuentemente termina restringiendo la translocación de biomasa al grano de maíz (Escalante J. et al., 2023; Li et al., 2019).

El efecto negativo causado por los periodos de inundación en los caracteres productivos del maíz como la relación grano/tusa, el peso de 100 granos y el rendimiento también pueden reflejarse mediante una tendencia lineal altamente significativa ($p < 0,01$), cuyos efectos se observan en la tabla 2 y en la figura 1. Nótese que la relación grano/tusa

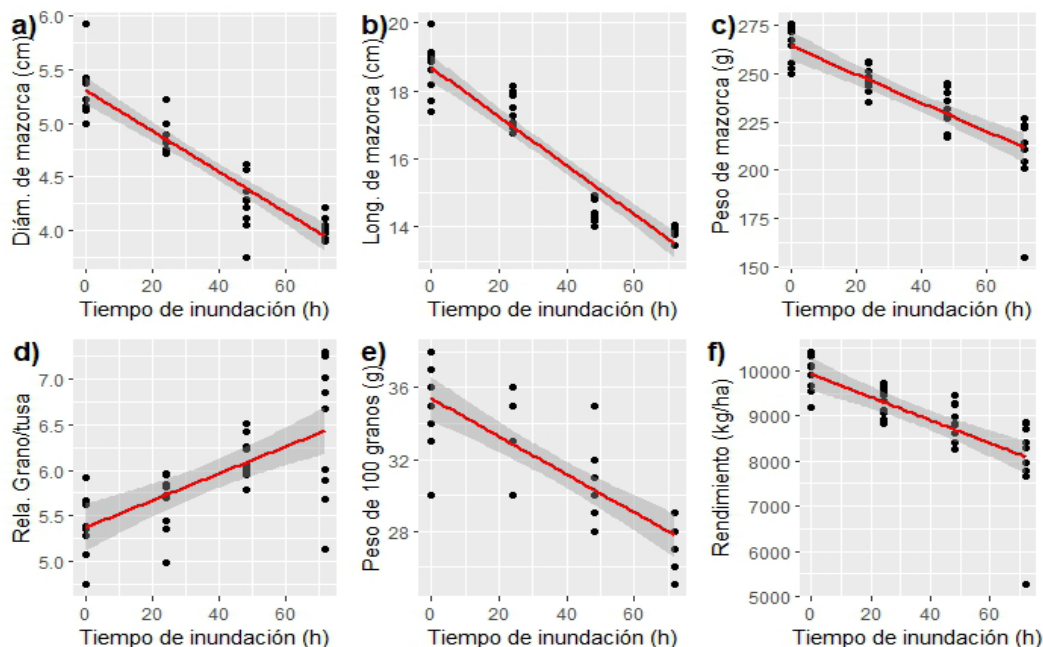


Figura 1. Líneas de tendencia de las variables productivas evaluadas en maíz, según el tiempo (horas) de inundación en la etapa de floración.

es la única variable que registra una tendencia al alza, explicada por la posibilidad de que la tusa sea el elemento que experimente una mayor afectación que los granos; lo que, en alguna medida, podría avalarse debido a la correlación significativa ($p < 0,05$) que tiene esta variable con la disminución del diámetro de la mazorca. La mayor reducción en el peso de 100 granos se registra en los híbridos DK-7508 y ADV9313, con un valor alrededor del 30% (tabla 3); mientras que, en el rendimiento, la mayor reducción observada a las 72 horas de inundación corresponde únicamente al híbrido DK-7508, con un valor de aproximadamente 37%. Registros de reducción en el peso de 100 granos por efecto de 144 horas de inundación son publicados por Alfonso-Perdomo et al. (2022), quienes indican una variación de 18,5%; un valor menor a los observados en este trabajo y cuya explicación podría atribuirse al uso de semillas menos sensibles que los híbridos a condiciones de hipoxia generadas por la falta de oxígeno del medio (FAO, 2001), como es el caso de la variedad utilizada por parte de estos autores.

Existen reportes que manifiestan cierta supremacía en caracteres productivos de determinados híbridos como el ADV9313 sobre otros, en las zonas maiceras de Ecuador (Caviedes, 2019). Esta apreciación concuerda

con lo obtenido en este experimento, a pesar de que las medias indicadas en la tabla 4 se obtuvieron tomando los valores de todos los niveles del factor inundación. Puede observarse que este material vegetativo, junto al híbrido EMBLEMA, aparentemente tienen una superioridad productiva respecto del híbrido DK-7508.

La floración es una de las etapas críticas para cualquier especie, sea por déficit hídrico o por exceso de humedad, cuya repercusión está directamente ligada a la productividad de los cultivos (Li et al., 2019). Cuando se trata de excesos de humedad, la reducción de la capacidad productiva de cultivos como el maíz registran una tendencia lineal a la baja, muy marcada (figura 1), lo cual ha sido corroborado por varios autores (Herrera et al., 2016). En 72 horas de inundación durante la floración, las variables productivas indicadas en la figura 1 han experimentado una reducción que va desde el 19,2% al 25,5%; a excepción de la relación grano/tusa, en donde se observó un cambio positivo del 18,9%, atribuible al hecho de que condiciones saturadas podrían estar afectando negativamente en mayor proporción al peso de la tusa antes que al peso de los granos.

Tabla 4. Características productivas de los híbridos evaluados.

Híbridos	Diámetro de mazorca (cm)	Longitud de mazorca (cm)	Peso de mazorca (g)	Relación. Grano/tusa	Peso de 100 granos (g)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
DK-7508	4,67 a	15,75 b	225,5 c	5,73 a	31,4 ab	8.457,7 b
EMBLEMA	4,57 a	16,28 a	239,2 b	5,92 a	30,4 b	9.067,1 a
ADV9313	4,65 a	16,31 a	248,7 a	6,06 a	32,9 a	9.475,7 a

Medias con letras iguales no difieren significativamente ($p > 0,05$), según test de Tukey

Tabla 5. Modelos lineales para representar las pérdidas de rendimiento de los híbridos evaluados sometidos a inundación en la etapa de floración.

Híbridos	Modelo lineal	r ²	Rendimiento máximo (sin inundación) (kg ha ⁻¹)	Tiempo de inundación (h) hasta una pérdida del 10% del rendimiento máximo
DK-7508	Y=9676,78-33,86X	0,64	9.676,8	28,6
EMBLEMA	Y=9826,58-21,10X	0,84	9.826,6	46,6
ADV9313	Y=10252,75-21,58X	0,94	10.252,8	47,5

La mayor susceptibilidad del híbrido de maíz DK-7508 a condiciones anaerobias, por exceso de humedad, se hace palpable mediante los modelos de regresión lineal generados entre el rendimiento y el tiempo de inundación durante la floración de entre los tres materiales vegetativos evaluados, los mismos que se detallan en la tabla 5. Nótese la mayor pendiente del modelo (-33,86) para este híbrido; mientras que, EMBLEMA y ADV9313, registran pendientes menores (-21,10 y -21,58, respectivamente). Estos resultados han permitido establecer el tiempo que cada híbrido puede soportar, durante la floración, condiciones saturadas en el suelo hasta que sus rendimientos se reduzcan un 10%; valor límite que puede ser admisible en términos económicos, de tal forma que el agricultor pueda obtener al menos la tasa mínima de retorno de su inversión (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), 1988).

CONCLUSIONES

Todos los híbridos de maíz evaluados presentaron reducciones en los índices de producción al estar sometidos bajo condiciones anaeróbicas durante 72 horas de inundación en la etapa de floración; evidenciándose una mayor susceptibilidad en el híbrido DK-7508, con una disminución aproximada del 37% en el rendimiento, frente a la disminución cercana al 19% que expresaron los híbridos EMBLEMA y ADV9313. De acuerdo al híbrido, podría adoptarse un tiempo de drenaje entre 24 y 48 horas, considerando que la producción unitaria no se afecte más allá del 10%.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Agraria del Ecuador por el apoyo brindado dentro de sus programas de investigación formativa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfonso-Perdomo, Y., Cun-González, R. y Martín-Alonso, G. (2022). *Cultivos Tropicales*, 43(1). <https://doi.org/10.1234/ct.v43i1.1647>
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D. y Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma – Italia: FAO. <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>
- Basso, C., Rodríguez, G., Rivero, G., León, R., Barrios, M. y Díaz, G. (2019). Respuesta del cultivo de maracuyá (*Passiflora edulis sims*) a condiciones de estrés por

inundación. *Bioagro*, 31(3), 185 – 192. [http://www.ucla.edu/ve/bioagro/Rev31\(3\)/3.%20ms%201846.pdf](http://www.ucla.edu/ve/bioagro/Rev31(3)/3.%20ms%201846.pdf)

- Belalia, N., Lupini, A., Djemel, A., Morsli, A., Mauceri, A., Lotti, C., Khelifi-Slaoui, M.,... Sunseri, F. (2019). Analysis of genetic diversity and population structure in Saharan maize (*Zea mays* L.) populations using phenotypic traits and SSR markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 66, 243 – 257. <https://doi.org/10.1007/s10722-018-0709-3>
- Caicedo-Camposano, O., Cadena-Piedrahita, D., Galarza-Centeno, E. y Solórzano-Galarza, D. (2019). Permisibilidad del maíz (*Zea mays* L.) sometido a diferentes condiciones de inundación: Determinación del tiempo de drenaje en Babahoyo, Ecuador. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 6(2), 67 – 75. <https://incyt.upse.edu.ec/ciencia/revistas/index.php/rctu/article/view/472/445>
- Caviedes, M. (2019). Producción de semilla de maíz duro en el Ecuador: retos y oportunidades. *Avances en ciencias e ingenierías*, 11(17), 116 – 123. <http://dx.doi.org/10.18272/aci.v11i1.1100>
- Caviedes, M., Carvajal-Larenas, F. y Zambrano, J. (2022). Tecnologías para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el Ecuador. *Avances en ciencias e ingenierías*, 14(1), 1 – 21. <https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2588>
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). (1988). *La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica*. México D. F., México: CIMMYT.
- Cun-González, R., Herrera-Puebla, J., González-Robaina, F., Duarte-Díaz, C., Leiva-Leiva, A., Sarmiento-García, O., González-Echevarría, D. y González-Morales, D. (2018). Efecto del sobre humedecimiento en el maíz para la proyección de sistemas de drenaje. *Revista Ingeniería Agrícola*, 8(2), 68-73. <https://rcta.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/940/1326>
- Escalante, J., Escalante, Y. y Aguilar, C. (2023). Rendimiento y componentes del rendimiento en maíz (*Zea mays* L.) nativo bajo condiciones de inundación. *eCUCBA*, (20), 79 – 84. <https://doi.org/10.32870/ecucba.vi20.299>
- Gavilánez, F. (2020). *El drenaje agrícola y sus elementos de diseño*. Quito, Ecuador: Editorial MAWIL. <https://mawil.us/el-drenaje-agricola-y-sus-elementos-de-diseño/>
- Goldman, V., Echeverría, H. E., Andrade, F. H. y Uhart, S. (2002). Incidencia de la fertilización nitrogenada sobre la concentración de nutrientes en maíz. *Ciencia del suelo*, 20(1), 27 – 35. http://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_20n1/goldman_27-35.pdf
- Grassi, C. (1991). *Drenaje de tierras agrícolas*. Mérida, Venezuela: Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT).

- Herrera, J., Duarte, C., González, F y Cid, G. (2016). Efecto del exceso de humedad del suelo sobre el rendimiento en algunos cultivos de importancia agrícola en Cuba. *Revista Ingeniería Agrícola*, 6(2), 3-7. <https://www.redalyc.org/revista.oa?id=5862>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2021). *Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2021/Principales%20resultados-ESPAC_2021.pdf
- Kandel, B. P. y Shrestha, K. (2020). Performance evaluation of maize hybrids in inner-plains of Nepal. *Heliyon*, 6(12). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05542>
- Kaur, G., Zurweller, B., Motavalli, P. y Nelson, K. (2019). Screening Corn Hybrids for Soil Waterlogging Tolerance at an Early Growth Stage. *Agriculture*, 9(2), 33. <https://doi.org/10.3390/agriculture9020033>
- Li, Y., Guan, K., Schnitkey, G. D., DeLucia, E. y Peng, B. (2019). Excessive rainfall leads to maize yield loss of a comparable magnitude to extreme drought in the United States. *Glob Change Biol*, 25, 2325 – 2337. <https://doi.org/10.1111/gcb.14628>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2022). *Suelos: Unidad Geopedológica 1:25000*. Geoportal del agro ecuatoriano. <http://geoportal.agricultura.gob.ec/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2001). *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción*. Roma, Italia: FAO. <https://www.fao.org/3/x7650s/x7650s00.htm#toc>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2022). *CLIMWAT 2.0* (Base de datos). <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/es/>
- Pardos, J. A. (2004). Respuestas de las plantas al anegamiento del suelo. *Forest Systems*, 13(4), 101-107. <https://doi.org/10.5424/srf/200413S1-00858>
- Pérez, A. y Sánchez, Y. (2022). Seguridad Alimentaria en México: del TLCAN hacia la agenda 2030. *Revista CEDS*, 2(10), 1 – 18. <https://periodicos.undb.edu.br/index.php/ceds/article/view/25/11>
- R Studio Team (2022). *Integrated Development Environment for R*. Boston, EE. UU.: RStudio PBC. <https://posit.co/products/open-source/rstudio/>
- Trujillo-Marín, E. E., Cun-González, R. y Herrera-Puebla, J. (2017). Estudio del efecto del exceso de humedad en el cultivo del maíz (*Zea mays* L.). *Revista Ingeniería Agrícola*, 7(1), 60-64. <https://rcta.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/515/515>
- Zaidi, P. H., Rafique, S., Rai, P. K., Singh, N. N. y Srinivasan, G. (2004). Tolerance to excess moisture in maize (*Zea mays* L.): susceptible crop stages and identification of tolerant genotypes. *Field Crops Research*, 90(1-2), 189 – 202. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.03.002>