

Revista Científica y Tecnológica UPSE

Permisibilidad del maíz (*Zea mays* L.) sometido a diferentes condiciones de inundación: Determinación del tiempo de drenaje en Babahoyo, Ecuador

Maize's Permissibility (*Zea mays* L.) submitted to different flood conditions: determination of drainage time in Babahoyo, Ecuador



Oscar Caicedo-Camposano¹ <https://orcid.org/0000-0002-6020-0413>, Dalton Cadena-Piedrahita¹ <https://orcid.org/0000-0002-5532-7663>, Edgar Galarza-Centeno¹ <https://orcid.org/0000-0003-4639-2436>, Darwin Solorzano-Galarza¹ <https://orcid.org/0000-0002-3772-0357>

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias - Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador

Resumen

La investigación se realizó en la Facultad de Ciencias Agropecuarias - Universidad Técnica de Babahoyo, Km 7,5 vía Montalvo, Los Ríos, el objetivo fue evaluar tolerancia del cultivo de maíz a diferentes condiciones de inundación, para la determinación del tiempo de drenaje. Para la investigación se utilizó el Híbrido S – 810; las variables fueron: volumen de raíces asfixiadas, días a la antesis, días al estigma, altura de inserción de la mazorca, altura de planta, diámetro y longitud de mazorca, porcentaje de mazorca con pudrición, número de plantas y mazorcas, porcentaje de acame, rendimiento de grano y porcentaje de plantas asfixiadas. El diseño experimental fue DBCA, constituido por siete tratamientos y tres replicas. Los tratamientos fueron horas de inundación por medio de los cuales se estableció tolerancia; para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey al 95 % de confianza. El rendimiento del maíz S – 810 se vio afectado por la aplicación de una lámina de agua durante 72 horas, obteniendo 6,03 t/ha. en comparación con el testigo, el cual produjo 8,8 t/ha. Las aplicaciones de láminas de agua de: 12, 24, 36, 48 y 60 horas ejercieron influencia poco negativa sobre el comportamiento agronómico del maíz.

Abstract

This research was carried out on the ground of the Faculty of Agricultural Sciences of the Technical University of Babahoyo, located at Km 7,5 Babahoyo – Montalvo, Province Los Ríos, the target was to evaluate the tolerance of maize cultivation to different flood conditions in its growth phase and the determination of drainage time. In the investigation the hybrid S – 810 was used, the variables evaluated were the following: amount of asphyxiated roots, flowering time male, female flowering time, cob insertion, plant height, diameter and length cob, cob rot percentage, amount of pants and cob, bent percentage, grain yield, percentage of asphyxiated plants. The experimental field design was as follow: Randomized Blocks, consisting of seven treatments and three repetitions. The treatments were flood hours, these allowed to establish the tolerance time; 95% confidence Tukey test was used to evaluate the measures. The results showed an impact on the hybrid S - 810 yield by water application depth for 72 hours, resulting 6,03 t/ha compared to the witness test, which produced 8,8 t/ha. The frequency of water application depth of: 12, 24, 36, 48 and 60 hours also negative influenced the agronomic behavior of maize cultivation.

Palabras clave:

inundación,
estrés hídrico,
hipoxia,
tiempo de drenaje

Keywords:

flood,
wáter stress,
hyoxy,
drain time

Recibido: 12/09/2019

Aceptado: 24/10/2019

Publicado: 15/12/2019

Forma de citar: Caicedo-Camposano, O.; Cadena-Piedrahita, D.; Galarza-Centeno, E.; Solorzano-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), pág. 67-75. DOI: 10.26423/rctu.v6i2.472

* Autor para correspondencia: ocamposano@utb.edu.ec

I. Introducción

Las raíces de la planta de maíz son fasciculadas y robustas, su función, además de aportar alimento a la planta, da anclaje a la misma; esto se refuerza con la presencia de raíces adventicias. El tallo tiene aspecto de caña, con entrenudos rellenos de una médula esponjosa; es erecto, sin ramificaciones, y de elevada longitud pudiendo alcanzar 4 metros de altura (Lorenzo, 2008). Las hojas se disponen de forma alternada en dos filas a lo largo del tallo. Cada una de ellas consta de dos partes: la vaina, y la lámina o limbo. La inflorescencia está conformada por flores unisexuales masculinas y femeninas. La panícula o flor masculina se encuentra en la parte superior de la planta en forma de eje central y varias ramas laterales; la mazorca producida por la flor femenina, surge hacia la mitad del tallo, está protegida por un conjunto de hojas especiales llamadas brácteas, que la cubren por completo (Hidalgo *et al.* 2018).

En cuanto al sistema radicular del maíz, las raíces seminales se desarrollan a partir de la radícula de la semilla a la profundidad a la que ha sido sembrada. Las primeras raíces adventicias inician su desarrollo a partir del primer nudo en el extremo del mesocotilo. Esto ocurre por lo general a una profundidad uniforme, sin relación con la profundidad a que fue colocada la semilla. Un grupo de raíces adventicias se desarrolla a partir de cada nudo sucesivo hasta llegar a entre siete y diez nudos, todos debajo de la superficie del suelo. Estas raíces adventicias se desarrollan en una red espesa de raíces fibrosas. El sistema de raíces adventicias es el principal sistema de fijación de la planta y además absorbe agua y nutrimentos (Silva *et al.* 2019).

Según Mistrik y Mistrikova (1995), el sistema de raíces adventicias seminales, conforman cerca del 52 % y el sistema de nudos de las raíces es el 48% de la masa total de raíces de la planta de maíz. Ciertas raíces adventicias emergen a dos o tres nudos por encima de la superficie del suelo; en algunos cultivares de maíz también se pueden desarrollar un número mayor de nudos. La función principal de éstas es mantener la planta erecta y evitar su acame en condiciones normales. Se cree ahora que estas raíces también colaboran en la absorción de agua y nutrimentos (Feldman, 1994).

Según SAGARPA (2010), los problemas de drenaje se presentan cuando las inundaciones superficiales asfixian a los cultivos, ya que el aire es reemplazado por el agua en los poros del suelo. Esto impide toda posibilidad de provisión de oxígeno y afecta también la actividad biológica, y la estructura del mismo suelo. Además, internamente reduce el volumen de suelo disponible para las raíces, afectando la aireación y el desarrollo radicular, por lo que se disminuye la capacidad de absorción de agua y nutrientes de la mayoría de las plantas. Samperio, (1997), citado por Gómez, (2007) dice que la oxigenación es un proceso muy importante ya que a través de ésta se realiza la

función de transportar nutrientes y acumular elementos dentro de su sistema celular. El oxígeno al oxidar los minerales, se convierte en el catalizador para generar la energía metabólica mediante su sistema de respiración radicular. Para su buen funcionamiento, las raíces dependen esencialmente de una óptima cantidad de oxígeno, pues de lo contrario, aunque se les aporta los nutrientes adecuados, se tendrá un cultivo precario, o en casos más graves, podrían morir las raíces al no poder respirar.

La falta de oxígeno en el suelo induce a trastornos fisiológicos múltiples en las plantas. Se produce cierre de estomas, y un menor crecimiento de raíces; en consecuencia, se inhibe la fotosíntesis, y el transporte de los hidratos de carbono. También se disminuye la absorción de macro-nutrientes, debido a la mortalidad de la raíz, a la pérdida de micorrizas, y a la supresión del metabolismo de la raíz.

En estas condiciones se ha encontrado una alteración del equilibrio hormonal en las plantas (Ferreira, 2006). Los efectos de una mala aireación sobre las plantas causan: curvatura de las plantas, raíces adventicias, pérdida de geotropismo, abscisión prematura de las estructuras de reproducción y toxicidad de algunos elementos nutritivos (Fe, Co, Mn, Cu, Zn, S) (Universidad de la República de Uruguay, 2008). Según estudios realizados por Gómez *et al.* (2016), el maíz en germinación o apenas emergiendo, puede sobrevivir de 2 a 4 días en condiciones de anegamiento sin una pérdida significativa de plantas.

Cuanto más grande sea la planta, mejor tolera esta situación. Una vez que el ápice de crecimiento se encuentra por encima de la superficie del agua, la probabilidad de sobrevivir aumenta en gran medida. El exceso de humedad en el suelo agota el oxígeno y aumenta el dióxido de carbono, induciendo la descomposición anaeróbica de materia orgánica, y reduciendo hierro y manganeso (Ferreira *et al.* 2006).

El anegamiento elimina los niveles de oxígeno en el suelo dado que los poros pasan a estar llenos de agua. Los investigadores han encontrado que la concentración de oxígeno puede acercarse a cero dentro de las 24 horas del anegamiento. Las plantas y sus raíces necesitan oxígeno para sobrevivir. La falta de oxígeno resulta en la muerte de células radicales y la subsecuente podredumbre de raíces.

La absorción de agua y nutrientes se ve inhibida a medida que las raíces se deterioran (Gómez *et al.* 2016). Las plantas expuestas a condiciones anaeróbicas pueden cambiar su metabolismo de respiración aeróbica a la vía de la fermentación, como un mecanismo adaptativo debido a la falta de oxígeno. En ausencia de O₂, el ciclo del ácido cítrico y la fosforilación oxidativa no funcionan y por ende la glicólisis se detiene debido a la limitación en el contenido de NAD⁺ (nicotinamide adenine dinucleotide). Cuando se agota el NAD⁺,

necesario para la primera reacción de la fase de conservación de energía de la glicólisis, la planta metaboliza piruvato por la vía fermentativa para obtener NAD⁺. Las plantas realizan dos tipos de fermentación: alcohólica, y de ácido láctico; estas dos vías metabólicas utilizan como substrato el piruvato, producido en la glicólisis (Jiménez, 2013).

La inundación parece reducir la conductividad hidráulica de las raíces; además las altas temperaturas y la alta radiación exacerbaban el estrés hídrico sobre el cultivo. El daño directo al sistema radical ocurre a causa de la acumulación de productos tóxicos originados por la respiración anaeróbica. Mientras que el ácido láctico es el primer producto formado, el cambio resultante en el pH de las células favorece rápidamente la formación de aceto-aldehído, el cual es convertido en etanol por medio de la actividad de la dehidrogenasa alcohólica. El maíz responde inmediatamente a la anoxia por medio de la formación de aerénquima y de raíces adventicias, y la elongación de los entrenudos más bajos.

Estas adaptaciones permiten la difusión del oxígeno a las raíces y facilitan la sobrevivencia a inundaciones de corta duración (FAO, 2001).

El anegamiento causa dos fenómenos en la planta como son, la hipoxia que ocurre cuando el nivel de oxígeno es bajo a causa de un drenaje pobre o inundaciones periódicas; de otra parte, la anoxia ocurre en completa ausencia de oxígeno. La hipoxia estimula la síntesis del etileno, mientras que la anoxia causa la interrupción de la respiración aerobia y la síntesis de ATP mitocondrial (Chávez *et al.* 2012). Al haber bajo volumen de aire en el suelo, se comienza a deteriorar el sistema radicular para posteriormente afectarse la parte aérea. Cortos periodos deficientes en oxígeno, normalmente derivan en disminución o muerte del sistema radicular (Ferreira *et al.* 2006).

El encharcamiento no produce un estrés primario de potencial hídrico y sólo afecta a la planta a través de un estrés secundario. El primer efecto fisiológico secundario de la anegación es la pérdida de nutrientes minerales y metabolitos intermedios por lavado de las raíces. El segundo estrés en generarse es la hipoxia y anoxia, por el exceso de CO₂ y sobreproducción de etileno. En estado anaeróbico el etileno no escapa a la atmósfera, acumulándose tanto en las plantas como en el suelo. En las plantas, alcanza valores muy superiores a los producidos en condiciones normales y da lugar a síntomas morfológicos y fisiológicos característicos de situaciones de estrés (Pardos, 2004).

El aire dentro de los poros del suelo tiene un contenido de oxígeno similar al de la atmósfera (aproximadamente 20%). Cuando es inundado, el aire de los poros se sustituye con agua, restringiendo en gran medida el flujo de oxígeno a través del mismo. La pequeña cantidad de oxígeno que queda se agota rápidamente por la respiración de raíces y los microorganismos, además este agotamiento se acelera a temperaturas más

cálidas, porque el oxígeno se vuelve menos soluble en agua a medida que aumenta la temperatura (Jusoff, 2009). Pezeshki (1994), citado por Jusoff (2009) señaló que una vez que el suelo se vuelve anaeróbico, sobre las plantas se producen efectos adversos como clorosis, reducción de la tasa de crecimiento, alteración de las membranas celulares, efectos en la absorción de minerales, cierre de los estomas, marchitamiento de las hojas y epinastia, reducción de la fotosíntesis y la respiración, la partición de carbohidratos, y potencialmente la muerte. El anegamiento produce alteraciones en la absorción y utilización de iones minerales por las plantas. La hipoxia dificulta la absorción activa de nutrientes minerales por las raíces. Hay evidencia de deficiencias de macro y micronutrientes en los tejidos vegetales por exceso de agua en el suelo; aunque también el aumento en su absorción.

El primer síntoma de daños por anegación es un cierre estomático, por lo cual la absorción pasiva de agua por la planta disminuye, a lo que se añade la absorción activa por falta de oxígeno en el cortex radicular. Además, el movimiento del agua por el xilema, también disminuye. El descenso de la transpiración provoca un marchitamiento de las hojas y una senescencia precoz que acaba en su caída. La concentración de etileno alcanzada en los tallos provoca la inhibición de diversos procesos y la alteración de parámetros fisiológicos tales como la asimilación neta, la transpiración y la conductancia estomática (Pardos, 2004).

La absorción de agua e iones se hace por un transporte activo que requiere ATP. Como consecuencia de la hipoxia, la planta no es capaz de producir ATP. Por cada molécula de glucosa se generan 38 ATP en condiciones aerobias, mientras que en condiciones de hipoxia se inhibe el ciclo de Krebs y se pasa a una respiración anaeróbica en la que se pueden generar sustancias tóxicas como etanol. La respiración anaeróbica tiene varias consecuencias como: escasez de ATP, producción de sustancias tóxicas, efecto Pasteur, por el cual aumenta la degradación de azúcares sin gasto de O₂. La anaerobiosis ayuda al paso de SAM (S-Adenilato-Metionina) a ACC (amino ciclopropano 1 carboxílico), pero para pasar de ACC a etileno se necesita O₂.

En las raíces hay producción de ACC que es translocado al tallo y cuando sube por el xilema se encontrará con condiciones aerobias y el ACC se transforma en etileno; el aumento del mismo provoca la triple respuesta como son: disminución del crecimiento, aumento del diámetro del tallo y se produce epinastia de las hojas. El incremento de etileno hace también aumentar el nivel de auxinas en la parte aérea (Sevilla, 2010). El anegamiento causa daños en las plantas produciendo la solubilización de sustancias minerales y formación de compuestos fitotóxicos en el suelo, como el aumento en las cantidades de Fe y Mg.

En respuesta a estos cambios se producen variaciones fisiológicas, metabólicas y morfológicas, que varían dependiendo de la especie, el estado fenológico, la temperatura ambiental, la duración del anegamiento y la clase de microorganismos presentes en el suelo (Rojas, 2007). A nivel fisiológico, el anegamiento crea un ambiente anaeróbico para las raíces y por consiguiente las plantas sufren alteraciones en sus procesos funcionales, acompañados a veces por modificaciones anátomo-morfológicas.

Los primeros síntomas son: poca absorción de agua, desbalance hormonal, acumulación de sustancias tóxicas y clorosis, seguida por la caída de las hojas. El crecimiento disminuye y, dependiendo del estado fenológico de las plantas, puede afectar la reproducción. Los cambios morfológicos incluyen la aparición de hipertrofias y aerénquimas y el desarrollo de raíces adventicias (Osvaldo, *et.al.*, 2003).

La falta de oxígeno es producto de la disminución en la tasa de intercambio de gases entre el suelo y la atmósfera lo cual es provocado por una lámina de agua sobre el suelo. Esto deriva en un déficit de energía (ATP) a nivel de la planta, como consecuencia de la inhibición de la respiración mitocondrial, de la promoción de las vías fermentativas, y la glicólisis, siendo éstas menos eficientes en la producción de ATP que la vía aeróbica. La baja oxigenación también disminuye la absorción de agua y nutrientes, lo que crea una severa marchitez y deficiencia mineral en las plantas.

Sin embargo, frente a un ambiente anaeróbico provocado por la inundación, las plantas de especies tolerantes pueden responder a través de cambios anatómicos, morfológicos y fisiológicos relacionados con su supervivencia y crecimiento bajo tales condiciones (Imaz, 2009).

Básicamente, el nivel de oxígeno en un suelo saturado alcanza un estado perjudicial para el crecimiento de plantas después de aproximadamente 48 - 96 horas. En un esfuerzo por sobrevivir, los tejidos que crecen en los niveles de oxígeno reducido el uso de las vías metabólicas alternativas que producen sustancias. Algunas de estas son tóxicas a niveles elevados. Todos los cultivos de grano pequeño como el maíz pueden morir, si los suelos están saturados por más de 48 horas y la temperatura del suelo es superior a 65 °F (NDSU, 2011).

Las respuestas morfológicas asociadas a la inundación incluyen curvaturas hiponásticas en hojas, aumento en el ángulo de inserción y elongación de los órganos aéreos, ubicación de la biomasa de la planta en estratos más altos y modificación en la asignación de recursos hacia una mayor relación tallo - raíz. Entre las características de las plantas que afectan sus respuestas a la inundación se destaca especialmente el estadio ontogénico en el cuál sucede el anegamiento.

En este sentido, los efectos de la inundación en plantas de una misma especie, pero de diferente edad, como así también el momento de ocurrencia de la inundación, dentro del ciclo de crecimiento, han sido raramente aspectos muy poco explorados. No obstante, es generalmente aceptado que plántulas y plantas adultas de una misma especie pueden diferir en el grado de tolerancia a inundación (Imaz, 2009). Los cultivos de maíz tienden a ser más sensibles al anegamiento cuando su punto de crecimiento es aún por debajo de la superficie del suelo.

El exceso de agua hace filtrar el nitrógeno nítrico más allá de la zona radicular de la planta en desarrollo. En suelos más pesados, el nitrógeno nítrico se puede perder por desnitrificación. La cantidad de pérdida depende de la cantidad de nitrato en el suelo, la temperatura del suelo, y el tiempo que el suelo está saturado. Investigaciones realizadas en otros lugares se encontró pérdidas por desnitrificación entre 1 y 5 % por cada día de saturación (NDSU, 2013).

En suelos anegados, la difusión de los gases a través de los poros del suelo es fuertemente inhibida por el contenido de agua que no coincide con las necesidades de las raíces. Una disminución de la afluencia de oxígeno es la causa principal de lesiones en las raíces y los brotes. La cantidad máxima de oxígeno disuelto en el agua es un poco más de 3% de la de un volumen similar de aire mismo.

Esta pequeña cantidad se consume rápidamente durante las primeras etapas de las inundaciones por microorganismos aerobios y raíces. Además de la escasez de oxígeno, las inundaciones también impiden el escape por difusión y/o descomposición por oxidación de gases como el etileno o dióxido de carbono que se produce por las raíces y los microorganismos del suelo. Esto conduce a acumulaciones que pueden influir en el crecimiento y la función de la raíz. Por ejemplo, el etileno acumulado puede retardar la extensión de la raíz, mientras que el dióxido de carbono en el suelo puede dañar gravemente las raíces de ciertas especies.

El dióxido de carbono atrapado puede formar iones bicarbonato que puede acentuar el efecto de alto contenido de cal, lo que lleva a la falta de hierro y clorosis (Jackson, 2014).

Plantas de maíz jóvenes pueden tolerar una completa inmersión durante un máximo de 48 horas, con un bajo impacto en el rendimiento. Si la inundación se produce antes de V6, cuando el punto de crecimiento está en cero por debajo de la superficie del suelo, las inundaciones que duran de 2 a 4 días pueden afectar el crecimiento de las plantas durante todo el ciclo, y el rendimiento de grano, o causar mortalidad de las plantas. Las posibilidades de supervivencia de las plantas aumentan significativamente si el punto de crecimiento no está completamente sumergido o estuvo menos de 48 horas.

Las investigaciones han demostrado reducciones en el rendimiento que van de 5 a 32 %, dependiendo del estado de nitrógeno en el suelo y la duración de la inundación (Scherer, 2011). Si el ápice de la planta del maíz se encuentra por encima de la superficie del agua, estas pueden sobrevivir a una inundación que dure entre algunos días y varias semanas.

Sin embargo, se producen reducciones de rendimiento debido a efectos directos e indirectos. En los directos están la muerte de células radicales y descomposición, en los indirectos están las infecciones de patógenos, pérdidas de nitrógeno, y la sensibilidad de la planta a estrés por exceso de humedad debido a un limitado desarrollo radical (Gómez *et al.* (2016).

El crecimiento longitudinal del tallo se reduce, la dominancia apical disminuye, la respuesta diageotrópica en plantas de crecimiento horizontal se altera, se induce epinastia, se forman hojas más anchas, se provoca clorosis foliar y se promueve su senescencia y abscisión.

En las plantas que viven en suelos anegados aumentan las concentraciones de etileno y CO₂, la baja concentración de etileno estimula la elongación de las raíces, mientras que las altas la inhiben, ennegreciéndose sus ápices. Asimismo, la anegación dificulta la nodulación e inhibe la fijación de nitrógeno (Pardos, 2004).

II. Materiales y métodos

La presente investigación se realizó en los predios de la Facultad de Ciencias Agropecuarias “San Pablo” de la Universidad Técnica de Babahoyo, ubicada en el km. 7,5 de la vía Babahoyo – Montalvo - Los Ríos. La zona presenta un clima Tropical húmedo, con temperatura media de 24.2° C, precipitación anual de 1865.3 mm, humedad relativa de 86.3 %, y 834.9 horas de brillo solar al año. El suelo es de topografía plana; textura franco-arcillosa, y drenaje regular. Para el ensayo se utilizó como material genético maíz híbrido “S-810”, comercializado por la Procesadora Nacional de Alimentos (PRONACA).

Se investigó la respuesta agronómica del cultivo de maíz, según los diferentes tiempos de inundación, que fueron desde cero hasta 72 horas como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Tratamientos

Híbrido cultivado	Inundación (horas)
HIBRIDO ‘S – 810’	0
	12
	24
	36
	48
	60
	72

Se utilizó el Diseño de Bloques Completos al Azar, conformado por siete tratamientos y tres replicas; los tratamientos fueron los tiempos de inundación por medio de los cuales se estableció la tolerancia al estrés hídrico por exceso de agua en el suelo. Para la comparación de las medias de los tratamientos se utilizó la prueba de Tukey al 95 % de confianza.

Durante el ensayo se realizaron todas las labores agrícolas adecuadas para el buen desarrollo del cultivo, tales como preparación del suelo, siembra, control de arvenses, control fitosanitario, fertilización y cosecha. El tiempo de inundación, estuvo en función a los tratamientos establecidos, los cuales mantuvieron una lámina de agua durante un tiempo determinado, los cuales fueron 12, 24, 36, 48, 60 y 72 horas respectivamente, mientras que el testigo no tuvo lámina de agua, siendo su tiempo cero, y solamente se aplicó riego según las lecturas de un tensiómetro instalado en el campo.

III. Resultados y discusión

En las Tablas 2 y 3 se muestran los coeficientes de variaciones, los promedios y los resultados de las pruebas de Tukey al 95% de confianza, realizadas para la presente investigación; con base en estos se analizó, discutió, concluyó y se hicieron recomendaciones en esta investigación.

Tabla 2. Resultados de volumen, días a la antesis, días a la aparición de estigmas, altura de inserción de mazorca, altura de planta, diámetro de mazorca obtenidos en el estudio de la Permisibilidad del maíz (*Zea mays* L.) sometido a diferentes condiciones de inundación: Determinación del tiempo de drenaje de drenaje en Babahoyo, Ecuador.

Tratamientos		Datos evaluados				
Tiempo	Volumen	Días a la antesis	Días a la aparición de estigmas	Altura de inserción de mazorca	Altura de planta	Diámetro de mazorca
(horas)	(cm ³)			(cm)	(cm)	(cm)
12	20,93 a	50,00	52,05	101,37 b	199,57 a	5,26
24	20,57 a	50,00	52,11	101,27 b	198,03 a	5,32
36	19,13 b	50,67	52,19	99,13 bc	197,03 a	5,26
48	19,13 b	51,00	52,10	98,07 c	195,27 b	5,20
60	18,63 b	51,00	52,14	97,37 cd	195,67 b	5,31
72	11,93 c	51,00	52,37	95,67 d	193,57 c	5,15
0	21,23 a	50,00	52,22	105,33 a	203,03 a	5,09
Promedio	18,79	50,52	52,23	99,74	197,545	5,22
Significancia	**	ns	ns	**	**	ns
CV (%)	3,66	0,43	0,42	0,82	0,4	3,59

Medias con una letra común no son significativamente diferentes, según prueba de Tukey a 95 % de confianza.

**= altamente significativo

Tabla 3. Resultados de longitud de mazorca, porcentaje de mazorcas con pudrición, número de mazorcas por tratamiento, porcentaje de mazorcas perdidas, rendimiento y porcentaje de plantas asfixiadas obtenidos en el estudio de la Permisibilidad del maíz (*Zea mays* L.) sometido a diferentes condiciones de inundación: Determinación del tiempo de drenaje en Babahoyo, Ecuador.

Tratamientos		Datos evaluados				
Tiempo	Longitud de mazorca	Porcentaje de mazorcas con pudrición	Número de mazorcas por tratamiento	Mazorcas perdidas	Rendimiento	Porcentaje de plantas asfixiadas
(horas)	(cm)	(%)		(%)	t/ha	(%)
12	16,35 ab	16,67 c	141,00 b	6,0 d	8,50 ab	23,33 d
24	14,75 bc	30,00 a	138,00 bc	8,0 c	7,37 c	35,00 c
36	14,76 bc	26,67 b	136,00 cd	9,3 b	6,87 d	35,00 c
48	14,91 bc	20,05 c	134,00 de	10,6 ab	6,63 e	43,33 b
60	14,66 c	20,00 c	132,67 de	11,5 a	6,40 f	41,67 b
72	14,01 c	23,33 b	131,00 e	12,6 a	6,03 g	50,00 a
0	17,09 a	13,33 c	149,00 a	1,0 e	8,80 a	6,67 e
Promedio	15,21	20,01	137,38	8,4	7,23	33,57
Significancia	**	**	**	**	**	**
CV (%)	3,81	14,27	0,91	1,04	1,09	11,13

Medias con una letra común no son significativamente diferentes, según prueba de Tukey a 95 % de confianza.

**= altamente significativo

Al someter al híbrido de maíz S-810 a tiempos de inundación por 12, 24, 36, 48, 60 y 72 horas se afectaron funciones fisiológicas, como baja la producción, lo que se verifica en la morfología de la mazorca tal como lo indica Gómez *et al.* (2016), al indicar que el ápice de la planta del maíz se encuentra por encima de la superficie del agua, y que éstas pueden sobrevivir a una inundación que dure entre algunos días y varias semanas.

Sin embargo, se producen reducciones de rendimiento debido a efectos directos e indirectos. En los directos están la muerte de células radicales y descomposición; en los indirectos, están las infecciones de patógenos, pérdidas de nitrógeno, y la sensibilidad de la planta al estrés por exceso de humedad, debido a un limitado desarrollo radical.

El mayor porcentaje de plantas asfixiadas fue de 50 % que lo presentó el tratamiento de 72 horas de inundación, lo que muestra que la falta de oxígeno en las raíces produce respuestas fisiológicas negativas para las plantas, e incluso esto puede conllevar a la muerte. Esto concuerda con Pardos (2004) quien indica que el encharcamiento, no solo produce un estrés primario de potencial hídrico, sino que afecta a la planta a través de un estrés secundario.

El primer efecto fisiológico secundario de la anegación es la pérdida de nutrientes minerales y metabolitos intermedios por lavado de las raíces. El segundo estrés en generarse es la hipoxia y anoxia, por el exceso de CO₂ y sobreproducción de etileno.

En estado anaeróbico el etileno no escapa a la atmósfera, acumulándose tanto en la planta como en el suelo. En las plantas, alcanza valores muy superiores a los producidos en condiciones normales y da lugar a síntomas morfológicos y fisiológicos característicos de situaciones de estrés.

El volumen de raíces de las plantas se vio afectado debido a la acumulación de CO₂, la reducción de oxígeno y la producción de etileno, además esto se manifiesta en la planta como un marchitamiento prematuro.

Ensayos realizados por Imaz (2009) demuestran que la falta de oxígeno es producto de la disminución en la tasa de intercambio de gases entre el suelo y la atmósfera, lo que provoca una lámina de agua sobre el suelo. Esto deriva en un déficit de energía (ATP) a nivel de la planta como consecuencia de la inhibición de la respiración mitocondrial y de la promoción de las vías fermentativas y de la glicólisis, siendo éstas menos eficientes en la producción de ATP que la vía aeróbica. La baja oxigenación también disminuye la absorción de agua y nutrientes, lo que crea una severa marchitez y deficiencia mineral en las plantas.

Sin embargo, frente a un ambiente anaeróbico provocado por la inundación, las plantas de especies tolerantes pueden responder a través de cambios

anatómicos, morfológicos y fisiológicos relacionados con su supervivencia y crecimiento bajo tales condiciones.

La Universidad de la República de Uruguay afirma (2008) que, los efectos de una mala aireación sobre las plantas causan: curvatura de las plantas, raíces adventicias, pérdida de geotropismo, abscisión prematura de las estructuras de reproducción, y deficiencia de nutrientes, los cuales afectan directamente al rendimiento. Esto se observó en la longitud de mazorca en este ensayo de campo, que se vio afectada por el lavado de nutrientes que se produjo en el suelo y la planta no logró absorber lo suficiente para suplir sus necesidades nutricionales.

En cuanto al número de mazorcas cosechadas por tratamiento, el mayor porcentaje de pérdidas se dio en el tratamiento de 72 horas de inundación con un 12,6 % de mortalidad, lo que concuerda con lo expuesto por Scherer (2011) que dice que plantas de maíz jóvenes pueden tolerar una completa inmersión durante un máximo de 48 horas, con un bajo impacto en el rendimiento.

Si la inundación se produce antes de V6, cuando el punto de crecimiento está en cero por debajo de la superficie del suelo, las inundaciones que duran de 2 a 4 días pueden afectar el crecimiento de plantas durante todo el ciclo y el rendimiento de grano, o causar mortalidad de las plantas. Las posibilidades de supervivencia de las plantas aumentan significativamente si el punto de crecimiento no está completamente sumergido o estuvo menos de 48 horas.

Las investigaciones han demostrado reducciones en el rendimiento que van de 5 a 32 %, dependiendo del estado de nitrógeno en el suelo y la duración de la inundación.

Respecto a días a la floración masculina y femenina, diámetro de mazorca y acame de plantas, no se vieron influenciadas por los tratamientos, debido a que dichas características están más determinadas por la genética del híbrido.

Al aplicar lámina de agua, el comportamiento agronómico del cultivo se vio afectado en aspectos como: volumen de raíz, longitud de mazorca, plantas asfixiadas, número de plantas y mazorca cosechadas y sobre todo el rendimiento, mostrando el tratamiento de 72 horas un rendimiento de 6,03 t/ha, en comparación con el testigo el cual no fue sometido a estrés hídrico, dando como resultado una producción de 8,8 t/ha.

En la Tabla 4 se muestran las características físicas del suelo donde se desarrolló el ensayo; resultados que fueron determinantes para establecer el tiempo de drenaje.

Tabla 4: Características Físicas del suelo

Textura (FL)	Ar: 15	L: 50	A: 35
Humedad equivalente	25,45 %		
Capacidad de campo	16,78 %		
Punto de marchitez permanente	13,25 %		
Densidad aparente (a 30cm)	1,37 g.cm ⁻³		
Velocidad de infiltración	4,73 mm.hora ⁻¹		

IV. Conclusiones

- El rendimiento de grano del híbrido de maíz S – 810 se vio afectado por la aplicación de una lámina de agua durante un tiempo de 72 horas, obteniendo 6,03 t/ha en comparación con el testigo y el tratamiento de 12 horas, los cuales dieron 8,8 y 8,5 t/ha.
- No se presentaron plantas acamadas en ningún tratamiento, puesto que el volumen de raíces fue lo suficiente para mantener anclada la planta al suelo y, porque no se aplicó lámina de agua en movimiento (escorrentía).
- Con fundamento en los resultados de suelos y de respuesta agronómica del maíz, se concluye, que el tiempo para drenar volúmenes de agua en campos cultivados con maíz no debe exceder 12 horas.

V. Recomendaciones

- Procurar que las plantaciones de maíz no permanezcan por más de 12 horas con lámina de agua, ya que esto afecta al rendimiento de grano del cultivo.
- No cultivar este y otros híbridos susceptibles al estrés hídrico por excesos de agua.

VI. Referencias

[1]Chávez, L., Álvarez, A., & Ramírez, R. (2012). Apuntes sobre algunos reguladores del crecimiento vegetal que participan en la respuesta de las plantas frente al estrés abiótico. *Cultivos Tropicales*, 33(3), 47-56.

[2]Ferreira, R., Sellés, G., Maldonado, P., Celedón, J., Barreras, C., & Gil, P. (2006). La asfixia radicular y el manejo del riego en palto. *Seminario Inter.*

Manejo del Riego y Suelo en el Cultivo del palto. *INIA-CORFO*, 27, 1-20.

[3]Food and Agriculture Organization. (2001). *Estreses abióticos que afectan al maíz*. FAO.

[4] Gómez, L. V., Herrera, E. D. R., Bautista, E. H. D., Arroyabe, M. L., Núñez, J. A. N., & Suárez-Salazar, J. C. (2016). Comportamiento agronómico de Maíz (*Zea mays* L.) cultivado bajo diferentes condiciones hídricas del suelo. *Momentos de Ciencia*, 13(1). 45-50.

[5] Gómez, M. (2007). *Evaluación del Forraje Verde Hidropónico de Maíz y Cebada, con Diferentes Dosis de Siembra para las Etapas de Crecimiento y Engorde de Cuyes* (Tesis de Ingeniero Zootecnista, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1813>

[6]Hidalgo, E. M., Bustamante, M. B., Pincay, C. M., Ubilla, L. D., & Cedeño, C. C. (2018). Evaluación de la calidad nutricional de los ensilajes en bolsa de los híbridos de maíz Somma y Trueno aplicando dos aditivos en la zona de Colimes. *Espirales Revista Multidisciplinaria de investigación*, 2(15), 137-153.

[7]Imaz, J. (2009). *Tolerancia a la Inundación de Especies Gramíneas Forrajeras Megatérmicas: Bases Ecofisiológicas Relacionadas con su Instalación y Producción*. <http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/maestria/2013imazjoseaugusto.pdf>

[8]Jackson, M. (2004). *El impacto de las inundaciones estrés en plantas y cultivos*.

[9] Jiménez, J., Moreno L., Magnitskiy, S. (2013). *Respuesta de las plantas a estrés por inundación*. <http://www.soccolhort.com/revista/pdf/magazin/Vo16/Vol.6%20No.1/Vol.6%20No.1.%20Art.9.pdf>

[10]Kamaruzaman, J. (2009). *Efectos de anegamiento en Crecimiento*. <http://www.ccsenet.org/journal/index.php/ijb/article/download/2944/2717>

[11]Ortas, L. (2008). *El cultivo del maíz: fisiología y aspectos generales*. <http://nolaboreo.es/publicaciones/articulos/pdf/maiz.pdf>

[12]Pardos, J. A. (2004). *Respuestas de las plantas al anegamiento del suelo*. *Forest Systems*, 13(4), 101-107.

[13]Rojas, P. (2007). *Estudio del efecto del anegamiento prolongado en las Nothofagus dombeyi (Mirb.) Oerst, Nothofagus (Phil.) Krasser y Nothofagus betuloides (Mirb) Blume*. Tesis de Máster en Agronomía. Universidad Austral de Chile.

[14]Scherer, C. (2011). *Effect of flooded and water-logged soils on corn growth and yield*. <http://www.agprofessional.com/resource-centers/corn/disease/news/Effect-of-flooded-and-water-logged-soils-on-corn-growth-and-yield-123116603.html>

- [15]Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2010). Drenaje Superficial en Terrenos Agrícolas. SAGARPA.
- [16]Silva, R. C., Chávez, J. C. N., Huamán, E. H., & Contreras, L. D. P. J. (2019). Cultivo de maíz forrajero (*Zea mays* L.) en el distrito de Molinopampa-Chachapoyas-Amazonas. *Revista de Investigación en Agroproducción Sustentable*, 2(3), 23-29.
- [17]Universidad de la República, Facultad de Agronomía. (2008). Drenaje. FAGRO
- [18]Universidad de Sevilla. (2010). Estrés hídrico por exceso de agua (encharcamiento): Aspectos fisiológicos y bioquímicos implicados en la hipoxia. US.
- [19]Universidad Estatal de Dakota del Norte. (2011). Las inundaciones y anegamiento afectarán el desarrollo de cultivos. <http://cornandsoybeandigest.com/seed/flooding-and-waterlogging-will-affect-crop-development>
- [20]University, North Dakota State. (2013). Impacts Of Flooding/Waterlogging On Crop Development. <http://www.ag.ndsu.edu/cpr/plant-science/impacts-of-flooding-waterlogging-on-crop-development-07-03-13>
- [21]Vignolio, O. R., Maceira, N. O., & Fernández, O. N. (1994). Efectos del anegamiento en invierno y verano sobre el crecimiento y la supervivencia de *Lotus tenuis* y *Lotus corniculatus*. *Ecología Austral*, 4(01), 019-028.