



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



TRABAJO DE TITULACIÓN.

COMPONENTE PRÁCTICO PRESENTADO A LA UNIDAD DE TITULACIÓN
COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

TEMA:

“TOLERANCIA DEL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays L.*) A DIFERENTES
CONDICIONES DE INUNDACIÓN EN SU FASE DE CRECIMIENTO PARA
LA DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE DRENAJE EN LA ZONA DE
BABAHOYO”

AUTOR:

Darwin Estiven Solórzano Galarza

TUTOR:

Ing. Agr. Oscar Caicedo Camposano, M. Sc.

BABAHOYO – LOS RÍOS –ECUADOR

2016

Las investigaciones, resultados, conclusiones y recomendaciones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad del autor:

Darwin Estiven Solórzano Galarza

DEDICATORIA

Dedico esta investigación primeramente a Dios por prestarme vida, a mis padres: el Sr. Francisco Washington Solórzano Gómez y la Sra. Amparito Del Pilar Galarza Ramos; a mis hermanos Jorge Manuel Solórzano Galarza y Erick Stalin Solórzano Galarza, quienes son todo lo valioso que tengo en mi vida.

Darwin Estiven Solórzano Galarza

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias en primer lugar a Dios por su infinito amor y bondad, por permitirme culminar mi carrera y empezar mi vida profesional.

A mi familia Padres y Hermanos por estar siempre a mi lado brindándome su incondicional apoyo, por guiarme en un camino de rectitud, responsabilidad y honestidad.

A mis eternos amigos Álvaro, Víctor, que siempre estuvieron ofreciéndome su innegable ayuda y como amistad una hermandad, que se mantuvo durante nuestra etapa estudiantil y que se mantendrá en el futuro profesional.

A la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Babahoyo y sus catedráticos, por haberme ilustrado con excelentes conocimientos y enrumbándome así como un profesional.

A mi tutor de trabajo de titulación el Ing. Agr. Oscar Caicedo Camposano por guiarme durante todo el proceso investigativo y a los miembros del tribunal por dar su favorable aprobación y continuar mi vida como profesional.

Darwin Estiven Solórzano Galarza

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Objetivos | 2 |
| 1.1.1. General | 2 |
| 1.1.2. Específicos..... | 2 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 3 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS | 10 |
| 3.1. Ubicación y descripción del área experimental..... | 10 |
| 3.2. Material genético..... | 10 |
| 3.3. Factores en estudio o tratamientos | 11 |
| 3.4. Métodos de investigación..... | 12 |
| 3.5. Diseño experimental..... | 12 |
| 3.6. Esquema del Análisis de la Varianza | 12 |
| 3.7. Análisis funcional..... | 12 |
| 3.8. Manejo del Ensayo | 12 |
| 3.8.1. Preparación del suelo..... | 12 |
| 3.8.2. Siembra..... | 12 |
| 3.8.3. Control de malezas | 13 |
| 3.8.4. Control fitosanitario..... | 13 |
| 3.8.5. Tiempo de inundación | 13 |
| 3.8.6. Fertilización..... | 13 |
| 3.9. Datos evaluados..... | 13 |
| 3.9.1. Volumen de raíces asfixiadas | 14 |
| 3.9.2. Días a la floración masculina..... | 14 |
| 3.9.3. Días a la floración femenina | 14 |
| 3.9.4. Altura de la inserción de las mazorcas | 14 |
| 3.9.5. Altura de plantas..... | 14 |
| 3.9.6. Diámetro y longitud de las mazorcas | 14 |
| 3.9.7. Porcentaje de mazorcas con pudrición | 15 |
| 3.9.8. Número de mazorcas por tratamiento..... | 15 |
| 3.9.9. Porcentaje de acame de plantas | 15 |
| 3.9.10. Rendimiento de grano de maíz | 15 |
| 3.9.11. Porcentaje de plantas asfixiadas | 15 |
| IV. RESULTADOS | 16 |
| 4.1. Volumen de la Raíz..... | 16 |

| | |
|---|-----------|
| 4.2. Días a la floración masculina | 17 |
| 4.3. Días a la floración femenina..... | 18 |
| 4.4. Altura de inserción de mazorca | 19 |
| 4.5. Altura de plantas..... | 20 |
| 4.6. Diámetro y longitud de mazorca | 21 |
| 4.7. Porcentaje de mazorcas con pudrición | 23 |
| 4.8. Número de mazorcas por tratamiento..... | 24 |
| 4.9. Porcentaje de acame de planta..... | 25 |
| 4.10. Rendimiento de grano | 25 |
| 4.11. Porcentaje de plantas asfixiadas..... | 26 |
| V. DISCUSION | 27 |
| VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 29 |
| VII. RESUMEN | 31 |
| VIII. SUMMARY..... | 32 |
| IX. LITERATURA CITADA..... | 33 |
| ANEXOS | 36 |

I. INTRODUCCIÓN

El maíz, (*Zea mays* L.), es uno de los granos alimenticios más antiguos que conocemos. Pertenece a la familia de las Poáceas (Gramíneas), y es la única especie cultivada de este género.

El maíz es un cultivo de gran importancia en nuestro país. Según el Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (SINAGAP, 2014), el País cuenta con una superficie sembrada de aproximadamente de 273.556 has, con una producción promedio de 3.50 t/ha. En la Provincia de Los Ríos se siembran 133.876 has con un promedio de 3,5 t/ha de rendimiento.

Se lo cultiva tanto en época seca (verano) aprovechando la humedad remante del suelo, como en época lluviosa (invierno). Sin embargo, en ocasiones el invierno suele ser intenso, provocando inundaciones y por consiguiente causando cuantiosas pérdidas. Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), en el año 2013 se perdieron 107 has de maíz por inundación.

El ciclo vegetativo del cultivo de maíz cuenta con diferentes fases, que van desde la siembra hasta la maduración del grano. Este proceso comienza con la germinación, fase que se extiende desde la siembra hasta la aparición del coleóptilo, lo que dura entre 6 y 8 días. Después la fase de crecimiento, en que comienza el desarrollo de las hojas verdaderas lo que dura entre 4 a 5 semanas.

El cultivo de maíz es muy susceptible a daños, en la fase de desarrollo; cuando el punto de crecimiento está por debajo del nivel del suelo, las condiciones de anegamiento pueden matar a la planta en pocos días, debido a que elimina los niveles de oxígeno en el suelo, especialmente si las temperaturas son altas.

En efecto, si el punto de crecimiento se encuentra saturado en el suelo, durante las etapas tempranas, el cultivo es afectado por la temperatura del suelo. Esto afectará los estadios vegetativos, número total de hojas formadas, retrasará el desarrollo de la planta y reducirá la disponibilidad de nutrientes.

En zonas bajas y sin tecnificación, los pequeños y medianos productores, son los más propensos a grandes pérdidas, sin posibilidad de recuperar el total de lo invertido, pues el tiempo en que se debe evacuar el exceso de agua, sin que cause bajas o pérdidas en la producción, es desconocido; además de otros factores que afectan al cultivo.

Por las razones expuestas, es necesario determinar un tiempo óptimo de drenaje en el cultivo de maíz.

1.1. Objetivos

1.1.1. General

Evaluar la tolerancia del cultivo de maíz a diferentes condiciones de inundación en su fase de crecimiento para determinar el tiempo de drenaje en la zona de Babahoyo.

1.1.2. Específicos

- Determinar el tiempo de tolerancia en horas, del cultivo de maíz a diferentes condiciones de saturación del suelo en su fase de crecimiento.
- Evaluar la respuesta agronómica del cultivo de maíz en estudio.
- Definir el porcentaje de pérdida de rendimiento del cultivo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

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; ésto 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 (Cuadra, 2010).

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 (Paliwal, 2013).

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 la empresa PIONEER (2012), 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 (INIA, 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 (PIONEER, 2012).

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 sustrato 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 (Borsani, 2008).

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 (INIA, 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 aeróbicas 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 (PIONEER, 2012).

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).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación y descripción del área experimental

La presente investigación se realizó en los terrenos de la Granja “San Pablo” de la Universidad Técnica de Babahoyo, ubicada en el Km. 7,5 de la vía Babahoyo – Montalvo - Los Ríos, con las siguientes coordenadas UTM (Cuadro 1).

Cuadro 1. Coordenadas UTM de la ubicación del área experimental.

| Datos tomados con GPS | | |
|-----------------------|-----------------|---------|
| Puntos | Coordenadas UTM | |
| | X | Y |
| 1 | 668988 | 9800918 |
| 2 | 669062 | 9800856 |
| 3 | 669057 | 9800852 |
| 4 | 668984 | 9800912 |
| DATUM WGS - 84 | | |

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 heliofania (promedio anual). El suelo es de topografía plana; textura franco-arcilloso, y drenaje regular.¹

3.2. Material genético

Para el ensayo se utilizó semilla de maíz híbrido “S-810”, proporcionado por la Procesadora Nacional de Alimentos (PRONACA).

Las características agronómicas son:

Híbrido ‘S – 810’

- Cruce: Simple modificado
- Altura de inserción de mazorca: 98 cm.

¹ Datos tomados de la Estación Meteorológica INAMHI – UTB

- Altura de planta: 201 cm.
- Longitud de mazorca: 17 - 18 cm.
- Hileras de grano por mazorca: 13 - 14
- Peso de 1000 granos: 410 gramos
- Grano: Cristalino
- Color de grano: Anaranjado
- Resistencia de acame de tallo: Excelente
- Nivel de tolerancia a enfermedades: Excelente
- Rendimiento de grano: 180 – 200 quintal/ ha

3.3. Factores en estudio o tratamientos

Se investigó la respuesta agronómica del cultivo de maíz, según los diferentes tiempos de inundación, que fueron desde cero hasta 72 horas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Tratamientos aplicados en el cultivo de maíz, con los respectivos tiempos de inundación.

| Material De Siembra. | Inundación (Horas) |
|-----------------------------|---------------------------|
| HIBRIDO 'S – 810' | 12 |
| | 24 |
| | 36 |
| | 48 |
| | 60 |
| | 72 |
| | 0 |

3.4. Métodos de investigación

Los métodos utilizados fueron: Deductivo - Inductivo, Inductivo - Deductivo, y el Método Experimental.

3.5. Diseño experimental

Se utilizó el Diseño de Bloques Completos al Azar, constituido por siete tratamientos y tres repeticiones; los tratamientos fueron los días de inundación por medio de los cuales se estableció el tiempo de tolerancia.

3.6. Esquema del Análisis de la Varianza

| Fuente de variación | GL |
|----------------------------|-----------|
| Tratamientos | 6 |
| Repeticiones | 2 |
| Error experimental | 12 |
| Total | 20 |

3.7. Análisis funcional

Para la comparación de las medias de los tratamientos se utilizó la prueba de Tukey al 95 % de confianza.

3.8. Manejo del Ensayo

Durante el ensayo se realizaron todas las labores agrícolas adecuadas para el buen desarrollo del cultivo.

3.8.1. Preparación del suelo

Para la preparación del suelo se realizaron dos pases de arado, con la finalidad de que el suelo quede completamente mullido; posteriormente se procedió a humedecer el terreno para hacer los muros correspondientes a cada tratamiento y, para finalizar, se elaboraron canales tanto para riego de las parcelas como para el drenaje de las mismas.

3.8.2. Siembra

Se realizó manualmente con un distanciamiento de 20 cm entre plantas y 80 cm de calle, colocando una semilla por hoyo.

3.8.3. Control de malezas

Para el control pre-emergente de malezas se aplicaron los herbicidas PROWL (Pendimetalin) 2 L/ha, AMINAMONT (2,4-D Amina) 0,5 L/ha y FARMOZINA 90 (Atrazina) 1 kg/ha, después de la siembra. Para el control post-emergente se utilizó GRAMOXONE (Paraquat) 1 L/ha, aplicado entre las hileras con bomba de mochila.

3.8.4. Control fitosanitario

Para controlar insectos se aplicó PIRINOX (Clorpirifos) 0,3 L/ha a los 8 días después de la siembra para el control de grillos (*Acheta domestica*). A los 20 días se realizó una segunda aplicación de PIRINOX (Clorpirifos) 0,3 L/ha para el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*); y luego se realizó una tercera y última aplicación a los 35 días con el producto SKEMATA (Lambdacialotrina) 0,5 L/ha, para control de gusanos cogolleros remanentes. Para enfermedades no se realizó ninguna aplicación fungicida, pues no se presentaron indicios de éstos.

3.8.5. Tiempo de inundación

El tiempo de inundación estuvo en función a los tratamientos establecidos, los cuales mantuvieron una lámina de agua durante un tiempo determinado, los que 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 le dió riegos cuando el cultivo lo necesitaba.

3.8.6. Fertilización

De acuerdo a las necesidades básicas del cultivo, se aplicó un fertilizante completo al momento de la siembra, a los 20 y 40 días. Luego se aplicó úrea en dos fracciones iguales, y muriato de potasio a los 40 días. Adicionalmente se realizaron dos aplicaciones de abono foliar para desarrollo; se aplicó “NEWFOL BORO”: 0.5 l/ha, y para el llenado de grano, se aplicó “PANTERA PK 730”: 1 l/ha.

3.8.7. Cosecha

Ésta se realizó de forma manual cuando las mazorcas llegaron a su madurez fisiológica; posteriormente se desgranaron y se secaron al sol.

3.9. Datos evaluados

Los datos evaluados en el presente ensayo fueron los siguientes:

3.9.1. Volumen de raíces asfixiadas

Se tomaron diez plantas al azar por cada tratamiento, de las cuales se extrajeron las raíces respectivamente, luego se procedió a lavarlas para quitar totalmente la tierra; posteriormente se las llevó al laboratorio, y en probeta de 1000 ml se aforo a 500 ml, hasta saturar las raíces tomando los datos para expresarlos en centímetros cúbicos (cm³).

3.9.2. Días a la floración masculina

Se contaron los días a partir de la siembra, hasta cuando el 50 % de las panículas estuvieran emergidas, los datos se tomaron en diez plantas al azar, y la información se expresó en días.

3.9.3. Días a la floración femenina

A partir de la siembra se contaron los días hasta cuando el 50% de los estigmas hubieron emergido; los datos se tomaron de 10 plantas al azar; éstos se expresaron en días.

3.9.4. Altura de la inserción de las mazorcas

En 10 plantas al azar en cada tratamiento, con un flexómetro, se midieron desde el suelo hasta la base del pedúnculo de la mazorca; ésto se expresó en centímetros.

3.9.5. Altura de plantas

Con un flexómetro, y en 10 plantas al azar por cada tratamiento, se midió la altura de las plantas, que está comprendida desde el nivel del suelo hasta la última hoja emergida; ésto se expresó en centímetros.

3.9.6. Diámetro y longitud de las mazorcas

Se evaluaron 10 plantas al azar por cada tratamiento; el diámetro se tomó en el tercio medio de la mazorca mediante un calibrador, la longitud se tomó desde la base de la mazorca hasta el ápice de la misma, utilizando una cinta métrica, los valores se expresaron en centímetros.

3.9.7. Porcentaje de mazorcas con pudrición

Se evaluaron 10 plantas al azar por cada tratamiento, se consideraron mazorcas con pudrición aquellas que tenían ataque de hongos; aplicando una regla de tres, se determinó el porcentaje de mazorcas afectadas.

3.9.8. Número de mazorcas por tratamiento

Se contaron en cada parcela el número de mazorcas cosechadas por tratamiento en buen estado; también se determinó el promedio de pérdida de mazorcas, en porcentaje.

3.9.9. Porcentaje de acame de plantas

El acame de plantas se evaluó en 10 plantas al azar por cada tratamiento. Se consideraron como plantas acamadas aquellas que presentaron un ángulo de inclinación de 90^o con respecto al suelo.

3.9.10. Rendimiento de grano de maíz

Luego de la cosecha y desgranados se procedió a realizar el ajuste de humedad del grano al 14 %, y se expresó en kg/ha; se aplicó la siguiente fórmula:

$$P_s = \frac{P_a(100 - h_a)}{(100 - h_d)}$$

Dónde:

P_s = Peso seco

P_a = Peso actual

h_d = Humedad deseada

h_a = Humedad actual

3.9.11. Porcentaje de plantas asfixiadas

Se evaluaron 20 plantas al azar por tratamiento. Se consideró como planta asfixiada aquella cuyo crecimiento se detuvo totalmente.

IV. RESULTADOS

4.1. Volumen de la Raíz

En el Cuadro 3, se indican los promedios de volumen de raíz que se obtuvieron de los respectivos tratamientos. El análisis de varianza determinó alta significancia estadística para los tratamientos; con un coeficiente de variación de 3,66 %.

En el tratamiento con cero horas de inundación, se obtuvieron raíces de mayor volumen con 21,23 cm³, seguido por los tratamientos 12 y 24 horas de inundación con 20,93 y 20,57 cm³, respectivamente, mostrándose iguales estadísticamente, pero diferentes al tratamiento 72 horas de inundación con 11,93 cm³, siendo éste el del menor promedio.

Cuadro 3. Volumen de raíz con sus respectivos tiempos de inundación.

| Tratamientos | | |
|------------------------------|----------------|----------------------------|
| Número | Tiempo (horas) | Volumen (cm ³) |
| 1 | 12 | 20,93 ab |
| 2 | 24 | 20,57 abc |
| 3 | 36 | 19,13 bc |
| 4 | 48 | 19,13 bc |
| 5 | 60 | 18,63 c |
| 6 | 72 | 11,93 d |
| 7 | 0 | 21,23 a |
| Promedio | | 18,79 |
| Significancia estadística | | ** |
| Coeficiente de variación (%) | | 3,66 |

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

**= altamente significativo

4.2. Días a la floración masculina

Los promedios de los valores de días a la floración masculina se observan en el Cuadro 4; el análisis de varianza mostró significancia estadística solo para los tratamientos, siendo el coeficiente de variación 0,43 %.

La prueba de Tukey determinó que los tratamientos: cero, 12 y 24 horas de inundación, fueron iguales y superiores estadísticamente entre sí a los tratamientos con promedio de 50 días, seguido por el tratamiento de 36 horas de anegamiento, con una media de 50,67 días; siendo inferiores los tratamientos: 48, 60 y 72 horas de inundación con una media de 51 días.

Cuadro 4. Días a la floración masculina de acuerdo a los tiempos de inundación.

| Tratamientos | | |
|------------------------------|----------------|---------|
| Número | Tiempo (horas) | Días. |
| 1 | 12 | 50,00 a |
| 2 | 24 | 50,00 a |
| 3 | 36 | 50,67 b |
| 4 | 48 | 51,00 b |
| 5 | 60 | 51,00 b |
| 6 | 72 | 51,00 b |
| 7 | 0 | 50,00 a |
| Promedio | | 50,52 |
| Significancia estadística | | * |
| Coeficiente de variación (%) | | 0,43 |

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

*= significativo

4.3. Días a la floración femenina

El análisis de la varianza de la variable: días a la floración femenina, detectó significancia estadística solo para los tratamientos, siendo el coeficiente de variación 0,42 %, las medias se observan en el Cuadro 5.

Los tratamientos: testigo, 12, 24, 36 y 48 horas de inundación, fueron superiores e iguales estadísticamente entre sí, con una media de 52 días cada uno; mientras que los tratamientos: 60 y 72 horas, fueron inferiores a los demás tratamientos e iguales entre sí, con medias de: 53 y 52,67 días respectivamente.

Cuadro 5. Días a la floración femenina con sus tiempos de inundación.

| Tratamientos | | |
|------------------------------|----------------|---------|
| Número | Tiempo (horas) | Días. |
| 1 | 12 | 52,00 a |
| 2 | 24 | 52,00 a |
| 3 | 36 | 52,00 a |
| 4 | 48 | 52,00 a |
| 5 | 60 | 53,00 b |
| 6 | 72 | 52,67 b |
| 7 | 0 | 52,00 a |
| Promedio | | 52,23 |
| Significancia estadística | | * |
| Coeficiente de variación (%) | | 0,42 |

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

*= significativo

4.4. Altura de inserción de mazorca

En el Cuadro 6, se anotan las medias de altura de inserción de mazorca. El análisis de varianza mostró alta significancia estadística para los tratamientos, con un coeficiente de variación de 0,82 %.

El tratamiento con el que se alcanzó la mayor altura fue el testigo con un valor promedio de 105,33 cm, mientras que los tratamientos: 36, 48 y 72 horas de anegamiento, presentaron similitud estadística, con medias de: 99,23; 98,07 y 97,37 cm respectivamente, excepto el tratamiento de 72 horas que dió el promedio más bajo con 95,67 cm.

Cuadro 6. Altura de inserción de mazorca con sus tiempos de inundación.

| Tratamientos | | |
|------------------------------|----------------|-------------|
| Número | Tiempo (horas) | Altura (cm) |
| 1 | 12 | 101,37 b |
| 2 | 24 | 101,27 b |
| 3 | 36 | 99,13 bc |
| 4 | 48 | 98,07 c |
| 5 | 60 | 97,37 cd |
| 6 | 72 | 95,67 d |
| 7 | 0 | 105,33 a |
| Promedio | | 99,74 |
| Significancia estadística | | ** |
| Coeficiente de variación (%) | | 0,82 |

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

**= altamente significativo.

4.5. Altura de plantas

El análisis de varianza mostró alta significancia estadística para los tratamientos, con un coeficiente de variación de 0,4 %. Los valores obtenidos se presentan en el Cuadro 7.

Realizada la prueba de Tukey, se determinó que el tratamiento testigo, presentó la mayor altura con una media de 203,03 cm, siendo estadísticamente superior a los demás tratamientos, seguido por el tratamiento: 12 horas de inundación, con 199,57 cm; que a su vez es igual estadísticamente al tratamiento: 24 horas con 198,03 cm; mientras que el tratamiento: 72 horas con 193,57 cm, mostró la menor altura.

Cuadro 7. Altura de planta con sus tiempos de inundación.

| Tratamientos | | |
|------------------------------|----------------|-------------|
| Número | Tiempo (horas) | Altura (cm) |
| 1 | 12 | 199,57 b |
| 2 | 24 | 198,03 bc |
| 3 | 36 | 197,03 cd |
| 4 | 48 | 195,27 de |
| 5 | 60 | 195,67 de |
| 6 | 72 | 193,57 e |
| 7 | 0 | 203,03 a |
| Promedio | | 197,545 |
| Significancia estadística | | ** |
| Coeficiente de variación (%) | | 0,4 |

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

**= altamente significativo.

4.6. Diámetro y longitud de mazorca

En el Cuadro 8 se muestran las medias de diámetro de mazorca, las que, según análisis de varianza, no presentaron significancia estadística para los tratamientos, teniendo su coeficiente de variación 3,59 %.

Según la prueba de Tukey, los tratamientos no difirieron significativamente; los promedios fluctuaron de 5,09 a 5,2 cm pertenecientes a los tiempos: cero y 48 horas de anegamiento, siendo éstos los más bajos; mientras que los tratamiento de tiempo: 12; 24 y 60 horas de inundación, presentaron los valores más altos con: 5,26; 5,32 y 5,31 cm respectivamente.

Según el análisis de varianza, para la longitud de mazorca se evidenció alta significancia estadística para los tratamientos; las medias se observan en el Cuadro 8. El coeficiente de variación fue de 3,81 %.

El tratamiento testigo fue superior e igual estadísticamente al tratamiento 12 horas de inundación, con 17,09 y 16,35 cm respectivamente; mientras que los tratamientos de tiempo: 24, 36, 48, 60 y 72 horas, con medias de 14,75; 14,76; 14,91; 14,66 y 14,01 cm en su orden, fueron iguales estadísticamente, e inferiores a los demás tratamientos; sin embargo el tratamiento: 72 horas, mostró en menor promedio.

Cuadro 8. Diámetro y longitud de mazorca con sus tiempos de inundación.

| Tratamientos | | | |
|------------------------------|----------------|---------------|---------------|
| Número | Tiempo (horas) | Diámetro (cm) | Longitud (cm) |
| 1 | 12 | 5,26 | 16,35 ab |
| 2 | 24 | 5,32 | 14,75 bc |
| 3 | 36 | 5,26 | 14,76 bc |
| 4 | 48 | 5,20 | 14,91 bc |
| 5 | 60 | 5,31 | 14,66 c |
| 6 | 72 | 5,15 | 14,01 c |
| 7 | 0 | 5,09 | 17,09 a |
| Promedio | | 5,22 | 15,21 |
| Significancia estadística | | ns | ** |
| Coeficiente de variación (%) | | 3,59 | 3,81 |

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

ns= no significativo

**= altamente significativo

4.7. Porcentaje de mazorcas con pudrición

Los valores promediados de porcentaje de mazorcas con pudrición que se apuntan en el Cuadro 9, no mostraron significancia estadística, de acuerdo al análisis de varianza, tanto para tratamientos como para repeticiones, siendo el coeficiente de variación 37,27 %.

Al ser aplicada la prueba de Tukey, no se distinguieron significancias estadísticas, con medias que oscilaron de 13,33 a 16,67 %, para los tratamientos: cero y 36 horas de inundación, mientras que los tratamientos con tiempos de: 24 y 72 horas de anegamiento, presentaron promedios más altos con 30 y 23,33 % respectivamente.

Cuadro 9. Porcentaje de mazorcas con pudrición, con sus tiempos de inundación.

| Tratamientos | | |
|------------------------------|----------------|----------------|
| Número | Tiempo (horas) | Porcentaje (%) |
| 1 | 12 | 16,67 |
| 2 | 24 | 30,00 |
| 3 | 36 | 16,67 |
| 4 | 48 | 20,00 |
| 5 | 60 | 20,00 |
| 6 | 72 | 23,33 |
| 7 | 0 | 13,33 |
| Promedio | | 20 |
| Significancia estadística | | ns |
| Coeficiente de variación (%) | | 37,27 |

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

4.8. Número de mazorcas por tratamiento

Los valores promedio de número de mazorcas por tratamiento se apuntan en el Cuadro 10; el análisis de varianza indica alta significancia estadística entre tratamientos, con un coeficiente de variación de 0,91 %.

El tratamiento con cero horas de inundación mostró 149 plantas y mazorcas cosechadas, siendo superior estadísticamente al resto de tratamientos, seguido por el tratamiento de 12 horas de anegamiento con un valor de 141, y siendo el tratamiento más bajo el de 72 horas con lámina de agua, que presentó un promedio de 131 plantas.

Los porcentajes de pérdidas que se muestran en este Cuadro, evidencian que el mejor tratamiento es el testigo que no mantuvo lámina de agua, dando como resultado una pérdida de plantas y mazorcas de 0,97 %; en comparación con el tratamiento de 72 horas de anegamiento que tuvo 12,6 % de pérdidas.

Cuadro 10. Número de mazorcas por tratamiento con sus tiempos de inundación.

| Tratamientos | | | |
|------------------------------|----------------|--------------------|--------------------------|
| Número | Tiempo (horas) | Número de mazorcas | Perdidas de mazorcas (%) |
| 1 | 12 | 141,00 b | 6,00 |
| 2 | 24 | 138,00 bc | 8,00 |
| 3 | 36 | 136,00 cd | 9,30 |
| 4 | 48 | 134,00 de | 10,60 |
| 5 | 60 | 132,67 de | 11,50 |
| 6 | 72 | 131,00 e | 12,60 |
| 7 | 0 | 149,00 a | 0,97 |
| Promedio | | 137,38 | 8,4 |
| Significancia estadística | | ** | |
| Coeficiente de variación (%) | | 0,91 | |

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

**= altamente significativo.

4.9. Porcentaje de acame de planta

No se presentaron plantas acamadas; por esta razón, no se muestra cuadro de resultados para este descriptor.

4.10. Rendimiento de grano

En el Cuadro 11 se muestran los resultados del rendimiento de grano de acuerdo a cada tiempo de inundación; el análisis estadístico indica alta significancia para los tratamientos, siendo el coeficiente de variación 1,09 %.

Los tratamientos: testigo y 12 horas de inundación fueron iguales estadísticamente entre sí y superiores a los demás tratamientos, con 8,80 y 8,50 t/ha respectivamente, mientras que el tratamiento de 24 horas tuvo 7,37 t/ha, seguido por el de 36 horas con 6,87 t/ha, luego el de 48 horas de anegamiento con 6,63 t/ha; 6,4 t/ha obtuvo el de 60 horas y, finalmente, con 6,03 t/ha el tratamiento de 72 horas, siendo el mismo el de más bajo rendimiento.

Cuadro 11. Rendimiento de grano con sus tiempos de inundación.

| Tratamientos | | |
|------------------------------|----------------|---------|
| Número | Tiempo (horas) | t/ha |
| 1 | 12 | 8,50 ab |
| 2 | 24 | 7,37 c |
| 3 | 36 | 6,87 d |
| 4 | 48 | 6,63 e |
| 5 | 60 | 6,40 f |
| 6 | 72 | 6,03 g |
| 7 | 0 | 8,80 a |
| Promedio | | 7,23 |
| Significancia estadística | | ** |
| Coeficiente de variación (%) | | 1,09 |

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

**= altamente significativo

4.11. Porcentaje de plantas asfixiadas

El análisis de varianza para esta variable indica que hay alta significancia estadística entre tratamientos; el coeficiente de variación es de 15,13 %. Los valores se aprecian en el Cuadro 12.

Aplicada la prueba de Tukey, se muestra que el menor porcentaje de plantas asfixiadas es de 6,67 %; correspondiente al testigo; seguido del tratamiento 12 horas de anegamiento con 23,33 %; los tratamientos 24, 36, 48 y 60 horas son similares estadísticamente, con 35, 35, 43,33 y 41,67 % respectivamente; siendo el más bajo el tratamiento de 72 horas con 50 % de plantas asfixiadas.

Cuadro 12. Porcentaje de plantas asfixiadas con sus tiempos de inundación.

| Tratamientos | | |
|------------------------------|----------------|----------------|
| Número | Tiempo (horas) | Porcentaje (%) |
| 1 | 12 | 23,33 b |
| 2 | 24 | 35,00 bc |
| 3 | 36 | 35,00 bc |
| 4 | 48 | 43,33 cd |
| 5 | 60 | 41,67 cd |
| 6 | 72 | 50,00 d |
| 7 | 0 | 6,67 a |
| Promedio | | 33,57 |
| Significancia estadística | | ** |
| Coeficiente de variación (%) | | 15,13 |

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

**= altamente significativo

V. DISCUSION

En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, se aprecia que al aplicar una lámina de agua por determinado tiempo ésta influye directamente sobre el rendimiento de grano del cultivo de maíz.

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 cita PIONEER (2012), 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 vió 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 Republica 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 vió 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 dió 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 puede 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

En cuanto a las variables 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 vió 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.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo de investigación se concluye lo siguiente:

1. El rendimiento de grano del híbrido de maíz S – 810 se vió 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.
2. Las aplicaciones de láminas de agua de 12, 24, 36, 48 y 60 horas también ejercerán influencia sobre el comportamiento agronómico del cultivo de maíz.
3. Las variables tales como volumen de raíz, plantas asfixiadas, longitud de mazorca, también fueron afectadas por el anegamiento prolongado.
4. 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).
5. La menor longitud de mazorca fue para el tratamiento de 72 horas con 14,01 cm, en comparación con el testigo de 17,09 cm, debido a que hubo un lavado de nutrientes en el suelo y a la ligera disminución de volumen de la raíz.
6. El mayor número de afectación de mazorcas cosechadas fue de 12,6 % de pérdida, correspondiente al tratamiento: 72 horas de inundación.

En base a las conclusiones se recomienda lo siguiente:

1. Procurar que el maíz no permanezca por más de 12 horas con lámina de agua, ya que esto afecta al rendimiento de grano del cultivo.
2. No sembrar este híbrido en suelos que no tengan buena capacidad de drenaje.
3. Continuar con la investigación utilizando otros materiales genéticos y con lámina de agua en movimiento (escorrentía).

VII. RESUMEN.

Esta investigación, se realizó en los terrenos de la Granja “San Pablo” de la Universidad Técnica de Babahoyo, ubicada en el Km 7,5 de la vía Babahoyo – Montalvo Provincia de Los Ríos, el objetivo fue evaluar la tolerancia del cultivo de maíz a diferentes condiciones de inundación en su fase de crecimiento, para la determinación del tiempo de drenaje.

Para la investigación se utilizó el Híbrido de maíz S – 810; las variables evaluadas fueron: volumen de raíces asfixiadas, días a la floración masculina, días a la floración femenina, 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 de campo fue: Bloques Completos al Azar, constituido por siete tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos fueron los días de inundación por medio de los cuales se estableció el tiempo de tolerancia; para la evaluación de las medias se utilizó la prueba de Tukey al 95 % de confianza.

Los resultados mostraron que el rendimiento de grano del híbrido de maíz S – 810 se vio afectado por la aplicación de una lámina de agua durante el tiempo de 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 también ejercieron influencia sobre el comportamiento agronómico del cultivo de maíz.

VIII. SUMMARY.

This research was held in the grounds of the farm "San Pablo" of the Technical University of Babahoyo, located at Km 7.5 of the road Babahoyo - Montalvo Los Rios Province, the objective was to evaluate the tolerance of maize to different flood conditions in their growth phase for determining the drainage time.

Hybrid corn was used for research S - 810; The variables evaluated were: volume asphyxiated roots, days to male flowering, days to silking, shelf height cob, plant height, diameter and ear length, ear percentage with rot, number of plants and cobs, percentage of lodging, grain yield and percentage of asphyxiated plants.

The experimental design was field: randomized complete blocks, consisting of seven treatments and three repetitions. The treatments were the days of flooding by which time tolerance is established; for evaluation of mean Tukey 95% confidence was used.

The results showed that the grain yield of hybrid corn S - 810 was affected by the application of a sheet of water during the time of 72 hours to obtain 6.03 t/ha compared with the control, which produced 8.8 t/ha.

Applications water sheets: 12, 24, 36, 48 and 60 hours also exerted influence on the agronomic performance of the maize crop.

IX. LITERATURA CITADA.

- Borsani, O. «Respuestas a estrés abiótico en plantas.» *fagro.edu.uy*. 26 de 11 de 2008.
<http://www.fagro.edu.uy/~fisveg/docencia/curso%20fisioveg/Materiales%20teoricos/EstresAbioticoFisio.pdf> (último acceso: 03 de 11 de 2014).
- Cuadra D., Perla E., Rubio F. «TESIS "Evaluación del Valor Nutritivo del Ensilaje con Híbridos de Maíz (Zea mays)".» *univo.edu*. 19 de 03 de 2010.
http://www.univo.edu.sv:8081/tesis/019176/019176_Cap6.pdf (último acceso: 16 de 11 de 2014).
- Ferreira, R., Selles, G., Maldonado, P., Celedon, J., Barrera, C., Gill, P. «La asfixia radicular y el manejo de riego en Palto.» *inia.cl*. 2006.
<http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR34586.pdf> (último acceso: 03 de 11 de 2014).
- Food and Agriculture Organization. . «Estrés abióticos que afectan al maíz.» *fao.org*. 2001. <http://www.fao.org/docrep/003/X7650S/x7650s12.htm#TopOfPage> (último acceso: 03 de 11 de 2014).
- Gómez, M. «Evaluación del Forraje Verde Hidropónico de Maíz y Cebada.» *epoch.edu.ec*. 12 de 02 de 2007.
<http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/1813/1/17T0725.pdf> (último acceso: 03 de 11 de 2014).
- Hidalgo, M. «EVALUACIÓN DEL FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE MAÍZ Y CEBADA.» *epoch.edu.ec*. 12 de 02 de 2007.
<http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/1813/1/17T0725.pdf> (último acceso: 03 de 11 de 2014).
- Imaz, J. «Tolerancia a la Inundación de Especies Gramíneas Forrajeras Megatérmicas: Bases Ecofisiológicas Relacionadas con su Instalación y Producción.» *http://ri.agro.uba.ar*. 2009.
<http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/maestria/2013imazjoseaugusto.pdf> (último acceso: 14 de 12 de 2014).
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias. «Cap. 2. La asfixia radicular y el manejo de riego en palto.» *inia.cl*. 2006.
<http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR34586.pdf> (último acceso: 04 de 11 de 2014).
- Jackson, M. «El impacto de las inundaciones estrés en plantas y cultivos.» *plantstress.com*. 20 de 05 de 2014.
http://www.plantstress.com/articles/waterlogging_i/waterlog_i.htm (último acceso: 14 de 12 de 2014).

- Jiménez, J., Moreno L., Magnitskiy, S. «Respuesta de las plantas a estrés por inundación.» *soccolhort.com*. 18 de 01 de 2013.
<http://www.soccolhort.com/revista/pdf/magazin/Vol6/Vol.6%20No.1/Vol.6%20No.1.%20Art.9.pdf> (último acceso: 03 de 11 de 2014).
- Kamaruzaman, J. «Efectos de anegamiento en Crecimiento.» *ccsenet.org*. 07 de 2009.
<http://www.ccsenet.org/journal/index.php/ijb/article/download/2944/2717>
(último acceso: 2 de 12 de 2014).
- Ortas, L. «EL CULTIVO DEL MAÍZ: FISIOLOGÍA Y ASPECTOS.» *nolaboreo.es*. 30 de 04 de 2008. <http://nolaboreo.es/publicaciones/articulos/pdf/maiz.pdf> (último acceso: 03 de 11 de 2014).
- Paliwal, R.L. «Morfología del maíz tropical.» *fao.org*. 2013.
<http://www.fao.org/docrep/003/X7650S/x7650s04.htm> (último acceso: 03 de 11 de 2014).
- Pardos. «Respuestas de las plantas al anegamiento del suelo.» *inia.es*. 28 de 10 de 2004.
http://www.inia.es/gcontrec/pub/101-107-%2805%29-Respuestas_1162210193281.pdf (último acceso: 17 de 11 de 2014).
- PIONEER. «Conocimientos Agrícolas, Daños por anegamiento en Maíz.» *pioneer.com*. 31 de 10 de 2012.
http://www.pioneer.com/CMRoot/International/Argentina_Intl/AGRONOMIA/boletines/Conocimientos_Agricolas_Danio_por_Anegamiento.pdf (último acceso: 03 de 11 de 2014).
- Rojas, P. «Estudio del efecto del anegamiento prolongado en las *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst, *Nothofagus* (Phil.) Krasser y *Nothofagus betuloides* (Mirb) Blume.» *cybertesis.uach.cl*. 2007.
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/fifr741e/sources/fifr741e.pdf> (último acceso: 14 de 12 de 2014).
- Scherer, C. «Effect of flooded and water-logged soils on corn growth and yield.» *agprofessional.com*. 03 de 06 de 2011. <http://www.agprofessional.com/resource-centers/corn/disease/news/Effect-of-flooded-and-water-logged-soils-on-corn-growth-and-yield-123116603.html> (último acceso: 14 de 12 de 2014).
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. «Drenaje Superficialen Terrenos Agrícolas.» *sagarpa.gob.mx*. 13 de 04 de 2010.
<http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Drenaje%20superficial%20en%20terrenos%20agricolas.pdf> (último acceso: 03 de 11 de 2014).

- Unicersidad de Sevilla. «Estrés hídrico por exceso de agua (encharcamiento).»
http://rodas.us.es. 2010. http://rodas.us.es/file/1b1a7276-7624-51e3-d3eb-77dead9a6978/1/texto_estres_hidrico_2_SCORM.zip/pagina_03.htm (último acceso: 14 de 12 de 2014).
- Universidad de la Republica de Uruguay, Facultad de Agronomía. «Drenaje.»
fagro.edu.uy. 23 de 09 de 2008.
<http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Drenaje.pdf> (último acceso: 03 de 11 de 2014).
- University, North Dakota State. «Impacts Of Flooding/Waterlogging On Crop Development.» *ag.ndsu.edu*. 07 de 03 de 2013.
<http://www.ag.ndsu.edu/cpr/plant-science/impacts-of-flooding-waterlogging-on-crop-development-07-03-13> (último acceso: 14 de 12 de 2014).
- Universidad Estatal de Dakota del Norte. «Las inundaciones y anegamiento afectará el desarrollo de cultivos.» <http://cornandsoybeandigest.com>. 31 de 04 de 2011.
<http://cornandsoybeandigest.com/seed/flooding-and-waterlogging-will-affect-crop-development> (último acceso: 14 de 12 de 2014).
- Vignolio, O., Maceira, N., Fernandez, O. «Efectos del anegamiento en invierno y verano sobre el crecimiento y la supervivencia de *Lotus tenuis* y *Lotus corniculatus*.» *ecologiaaustral.com.ar*. 22 de 12 de 2003.
<http://www.ecologiaaustral.com.ar/files/4-1-2.pdf> (último acceso: 14 de 12 de 2014).

ANEXOS

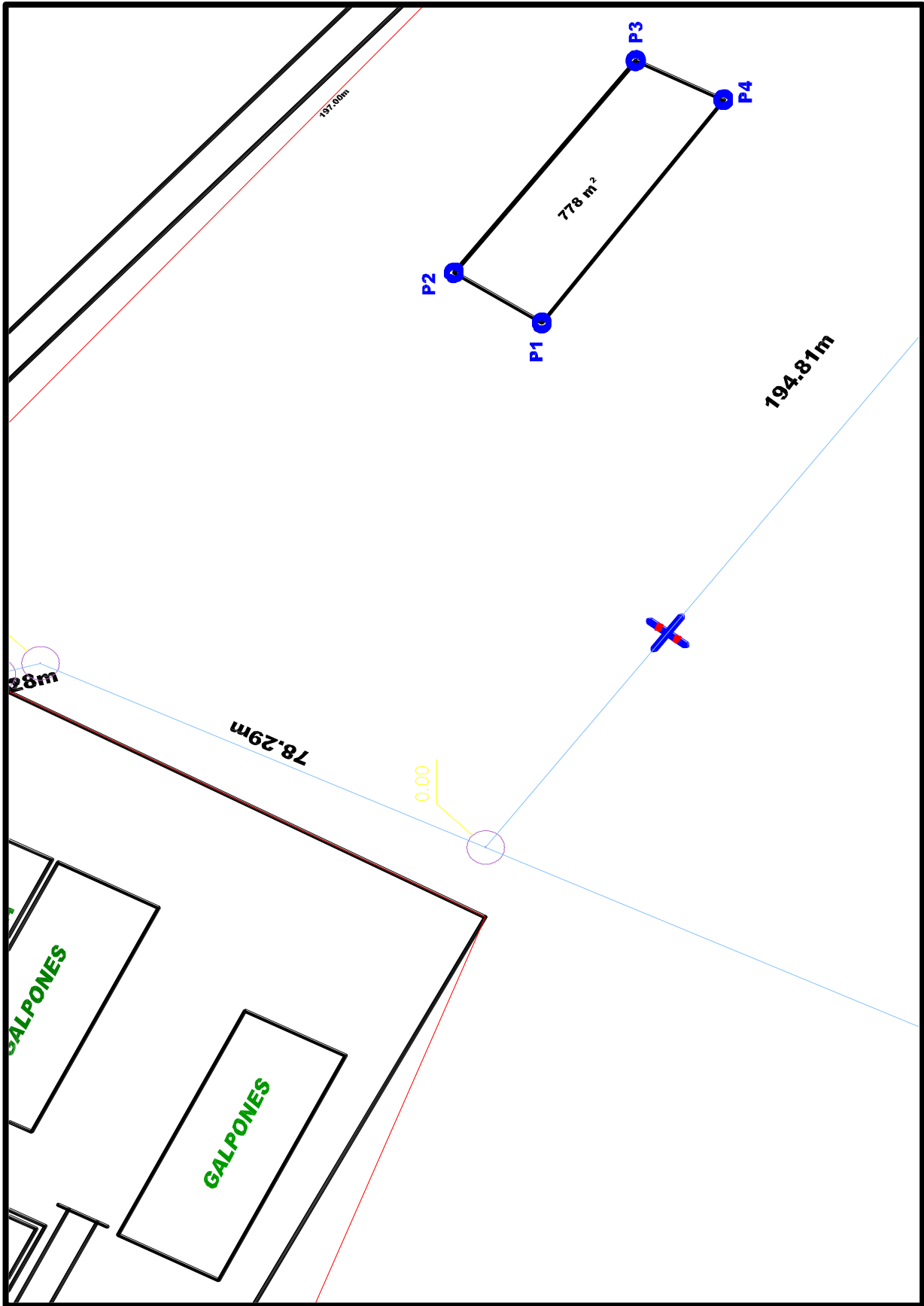


Figura 1. Ubicación del área experimental.



Figura 2. Preparación del terreno.



Figura 3. Distribución de tratamientos en el campo



Figura 4. Elaboración de las piscinas y canales.



Figura 5. Siembra del cultivo de maíz



Figura 6. Aplicación de tratamientos.



Figura 7. Supervisión del ensayo por el tutor del trabajo de titulación.



Figura 9. Evaluación del volumen de raíz.



Figura 10. Cosecha del área experimental.