

Comportamiento del cultivo de caña de azúcar bajo estrés por anegamiento

Sugarcane crop behavior under waterlogging stress

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18509445>

AUTORES: María Fernanda Alcívar Llivicura^{1*}
Karla Elizabeth Atauchi Rodríguez²

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: malcivar@uagraria.edu.ec

Fecha de recepción: 15 / 07 / 2025

Fecha de aceptación: 20 / 09 / 2025

RESUMEN

El estrés por exceso de agua o anegamiento en el cultivo de caña de azúcar, ocurre cuando el suelo se satura, desplazando el oxígeno necesario para las raíces con la consecuente pérdida en la producción agrícola. El objetivo planteado fue evaluar la reducción del rendimiento agrícola de la caña de azúcar variedad CC85-92 en suelos anegados durante el primer trimestre de desarrollo del cultivo. Los tratamientos impuestos contemplaron la permanecía de suelo anegado por periodos de tiempo de 0, 12, 24, 36, 48, 60 horas. Se realizó evaluaciones fenológicas, de biomasa radicular y estimación del rendimiento agrícola del cultivo sometido a este tipo de estrés. El desarrollo fenológico del cultivo fué afectado significativamente entre un 22 al 30%, causando disminución en la emisión de tallos, altura y diámetro de planta en los tratamientos de mayor tiempo de inundación T5 y T6. En los tratamientos del T2 al T6, los rendimientos en TCH decrecieron entre 9 y el 20% al comparar con T1, lo que representó una pérdida en ingreso de 69 a 153 dólares /ha, atribuido a periodos crecientes de permanencia del cultivo en un suelo anegado. El rendimiento agrícola de la caña de azúcar en TCH decrece proporcional y

^{1*} Ing. Agrónoma, Ms. C., Universidad Agraria del Ecuador. El Triunfo, Guayas, Ecuador.

² Ing. Agrónoma, Ms. C., Universidad Agraria del Ecuador. El Triunfo, Guayas, Ecuador.

significativamente a medida que los periodos de anegación se prolongan, con una afectación estadísticamente significativa a partir de las 12 horas de anegamiento.

Palabras clave: Agua, biomasa, fenología, raíces, rendimiento.

ABSTRACT

Water stress or flooding in sugarcane cultivation occurs when the soil becomes saturated, displacing the oxygen needed by the roots, resulting in a loss of agricultural production. The objective was to evaluate the reduction the reduction in crop yield of sugarcane variety CC85-92 in flooded soils during the first quarter of crop development. The treatments imposed included flooded soil for periods of 0, 12, 24, 36, 48, and 60 hours. Phenological and root biomass evaluations were carried out, as well as an estimation of crop yield under this type of stress. Crop phenological development was significantly affected by 22% to 30%, causing a decrease in stem eruption, plant height, and diameter in the longer flooded treatments T5 and T6. In treatments T2 to T6, TCH yields decreased by 9% to 20% compared to T1, representing a loss in income of US\$69 to US\$153/ha, attributed to increasing periods of crop growth in flooded soil. Sugarcane agricultural yields in TCH decrease proportionally and significantly as flooding periods become longer, with a statistically significant impact after 12 hours of flooding.

Keywords: Biomass, phenology, roots, water yield.

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es una planta perenne de la familia Poaceae perteneciente al género *Saccharum*, utilizada para la producción de azúcar (Arias-Muñoz et al., 2025). Es uno de los principales productos cultivados en América Latina, mientras que en Ecuador es de importancia porque genera ingresos económicos a grandes y pequeños productores. Los datos del Banco Central de Ecuador durante el año 2018 dan a conocer que la cosecha de la caña de azúcar contribuye con el 1,4% al PIB nacional y genera más de 30.000 empleos directos y 80.000 indirectos, sobre todo en la época seca de su cosecha

(Prado-Pérez de Corcho et al., 2018). Según datos estadísticos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC, 2023) en el Ecuador existen sembradas un total de 157.986 ha, de las cuales 142.010 ha de caña son destinadas a la producción de azúcar y 15.976 ha destinadas para otros usos. En tanto que, 63.000 ha (76,66%) son manejadas directamente por los tres ingenios azucareros más grandes del país: Agro azúcar (La Troncal) con 26.000 ha, San Carlos con 20.000 ha y Valdés con 17.000 ha. Estos valores corresponden tanto a cultivos propios como aquellos de asesoramiento directo a cañicultores.

El cultivo de la caña de azúcar presenta altas demandas hídricas. Para la producción de un solo gramo de materia seca en su tallo, se requieren aproximadamente 0,5 litros de agua. Por lo tanto, es evidente que este cultivo precisa un suministro hídrico considerable, calculado entre 1.500 y 2.500 mm anuales, especialmente durante las fases de macollaje y crecimiento. Estas cifras ilustran la importancia crítica del agua en el desarrollo óptimo de la caña de azúcar y subrayan la necesidad de gestionar cuidadosamente los recursos hídricos en el entorno de cultivo (Romero y Digonzelli, 2021).

Debido a su posición geográfica y a la diversidad de alturas impuesta por la cordillera de los Andes, el Ecuador presenta una gran variedad de climas y cambios considerables a cortas distancias. Las precipitaciones en la época lluviosa en Ecuador, se distribuyen entre los meses de enero a mayo con valores de precipitación media entre 1.100 a 1.300 mm, mientras que el periodo seco los valores de precipitación descienden entre los 200 a 300 mm comprendiendo el periodo entre julio a diciembre (Madrid León, 2023).

Entre algunas de las respuestas fisiológicas del cultivo de caña de azúcar sometido a suelos húmedos o anegados, podemos citar que el crecimiento vegetal es afectado de forma negativa por la pérdida de nutrientes en el suelo, la baja absorción de macronutrientes y la falta de oxígeno en las raíces. El déficit de oxígeno ocasiona en las plantas un estrés fisiológico denominado hipoxia, que reduce su desarrollo y producción (Unigarro Muñoz y Victoria Kafure, 2013; Pérez-Domínguez et al., 2021).

En Ecuador, durante la época lluviosa muchos campos de caña de azúcar se encuentran en el periodo de gran crecimiento, donde el anegamiento genera graves pérdidas de producción, sobre todo en suelos con alto contenido de arcilla propensos a encharcarse

durante las lluvias intensas. Esto se debe a que los poros del suelo están saturados de agua y liberan poco oxígeno, por lo que se limita a la respiración de las raíces (Sandoval, 2018).

En la actualidad existe escasa información cuantitativa relacionada al impacto del anegamiento sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo de caña de azúcar (Vásquez-Martínez et al., 2021). En el cantón El Triunfo, muchos de los agricultores no eliminan el exceso de agua de forma oportuna y eficaz, esta situación se debe a la falta de tecnologías de drenaje, y desconocimiento de las pérdidas agrícolas potenciales atribuidas al sobre humedecimiento de suelos cañeros. Con este precedente surge la necesidad de evaluar el impacto sobre el rendimiento agrícola de la caña de azúcar en suelos anegados durante el primer trimestre de desarrollo del cultivo.

METODOLOGIA

Localización

El experimento se realizó en una plantación establecida de caña de azúcar variedad CC85-92, ciclo Caña soca de 1 corte y de rendimiento de 90 TM/ha. En este sitio se delimitaron los respectivos tratamientos con sus respectivas repeticiones, y letreros de identificación.

La ubicación del lote corresponde a la Cooperativa La Unión- Cantón El Triunfo. Provincia del Guayas-Ecuador en las coordenadas 2°19'23,5"S y 79°23'37,9"W, a una altura de 17 msnm. Temperatura promedio 24,6°C., mínima 20,9°C y máxima 29,2°C. Precipitación anual de 1.811mm. La probabilidad de lluvia es del 15%, la humedad relativa es del 65%, la velocidad del viento es de unos 10 km/h. El nivel de lluvias en abril de 2.023 fue de 558 milímetros, superando los índices históricos de 207,2 mm aproximadamente.

Características del suelo.

Para conocer las propiedades físicas y químicas del terreno donde se ejecutó el ensayo se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 0,20 m. Se analizó el tipo de suelo según la clasificación Soil Taxonomy, de tal forma que el suelo corresponde al orden Inceptisol, Typic ustropepts, con textura franco arcillosa pesada, presenta CIC 27 cmol kg⁻¹; MO 1,9%; pH 7,2; valores de Fósforo- Bray II de 29,5 ppm; Potasio disponible 0,48 cmol kg⁻¹.

Procedimiento experimental

Para el establecimiento del ensayo se seleccionó un lote del terreno, donde cada parcela estuvo conformada por 6 surcos con longitud de 10 metros y un distanciamiento de siembra de 1,5 m. Total 90 m² por parcela (unidad experimental).

El periodo de tiempo que permaneció anegado el suelo fue de 0, 12, 24, 36, 48, 60 horas acorde el tratamiento establecido, en una sola ocasión a los tres meses de edad del cultivo.

Una vez delimitadas las parcelas con los tratamientos respectivos se procedió a inundar el terreno, manteniendo una lámina de agua y cuidando el tiempo designado para cada tratamiento de cada unidad experimental.

Se inundó a razón de lámina de 2 mm de agua, equivalente a 20 m³ de agua por ha, para garantizar este volumen se realizó cálculo de caudal.

$$\text{Caudal (l/s)} = \text{Volumen del balde (litros)} / \text{Tiempo que demora en llenarse (seg.)}$$

$$\text{caudal (l/s)} = 20 \text{ l} / 4 \text{ seg} = 5 \text{ l/s} \times 3600 \text{ seg} = 18000 \text{ l/h.}$$

Una vez alcanzada la lámina de riego de 2mm de agua, se mantuvo inundadas las parcelas durante el tiempo indicado acorde a cada tratamiento.

Tratamientos estudiados

Los tratamientos a continuación:

T1= 0 horas de anegamiento

T2= 12 horas de anegamiento

T3= 24 horas de anegamiento

T4= 36 horas de anegamiento

T5= 48 horas de anegamiento

T5= 60 horas de anegamiento

Variables evaluadas.

Los características de interés agronómico evaluadas fueron: (1) altura de planta en cm

(ALT) medida en 10 tallos de diferentes plantas desde la base hasta el punto natural de quiebre; (2) diámetro de tallo en mm (DIA) medido a la altura de la mitad del tallo, se tomaron datos en 10 tallos; (3) población de tallos por metro (POB) contando la cantidad de tallos de los 4 surcos centrales de la parcela en 10 m expresado como tallos/m; (4) toneladas de caña por hectárea (TCH) mediante el peso de la totalidad de los tallos /área de cada parcela, expresado en equivalente por ha; y (5) peso y longitud de las raíces ejecutando muestreo destructivo, donde se extrajo una cepa por cada unidad experimental para posterior lavado y secado de raíces. Se evaluó el peso en gramos utilizando una balanza de precisión. Las evaluaciones se realizaron 28 días después del anegamiento.

Análisis estadísticos

Se empleó un diseño de bloques completamente al azar DBCA conformado por 5 tratamientos y 4 repeticiones. Los resultados fueron sometidos a la prueba de normalidad (Shapiro – Wilks), previo al análisis de varianza ANDEVA, cuyos efectos significativos ($P < 0,05$) fueron evaluados a través de la comparación de medias en prueba de Duncan ($P < 0,05$), con paquete estadístico Infostat V2016e.

RESULTADOS

Tabla 1. Variables fenológicas evaluadas durante el experimento de anegamiento en caña de azúcar

Tratamiento	Diámetro de tallo en cm.	Tallos/ m lineal	Altura en cm	Número de entrenudos
T1: 0 Horas de anegamiento				
anegamiento	1,14 a	16,0 a	0,8 a	5,2 ab
T2: 12 Horas de anegamiento				
anegamiento	1,1ab	15,8 a	0,7 b	5,4 a
T3: 24 Horas de anegamiento				
anegamiento	0,98 b	13,8 c	0,7 b	4,8 b
T4: 36 Horas de anegamiento				
anegamiento	1 ab	14,6 b	0,6 c	5,0 ab

anegamiento				
T5: 48 Horas de				
anegamiento	0,8 c	12,4 d	0,6 c	4,3 c
T6: 60 Horas de				
anegamiento	0,8 c	12,5 d	0,6 c	3,9 d
CV	10,99	3,15	4,78	5,65
Valor P	0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Valores son medias de cuatro réplicas. Valores seguidos por la misma letra en la columna indican que no existen diferencias significativas ($p < 0,05$) para el test Duncan.

En la tabla 1, se aprecian algunas variables fenológicas del cultivo de caña de azúcar sometido a estrés por anegamiento. Tales como diámetro de tallo, tallo/ metro lineal, número de entrenudos y altura de plantas.

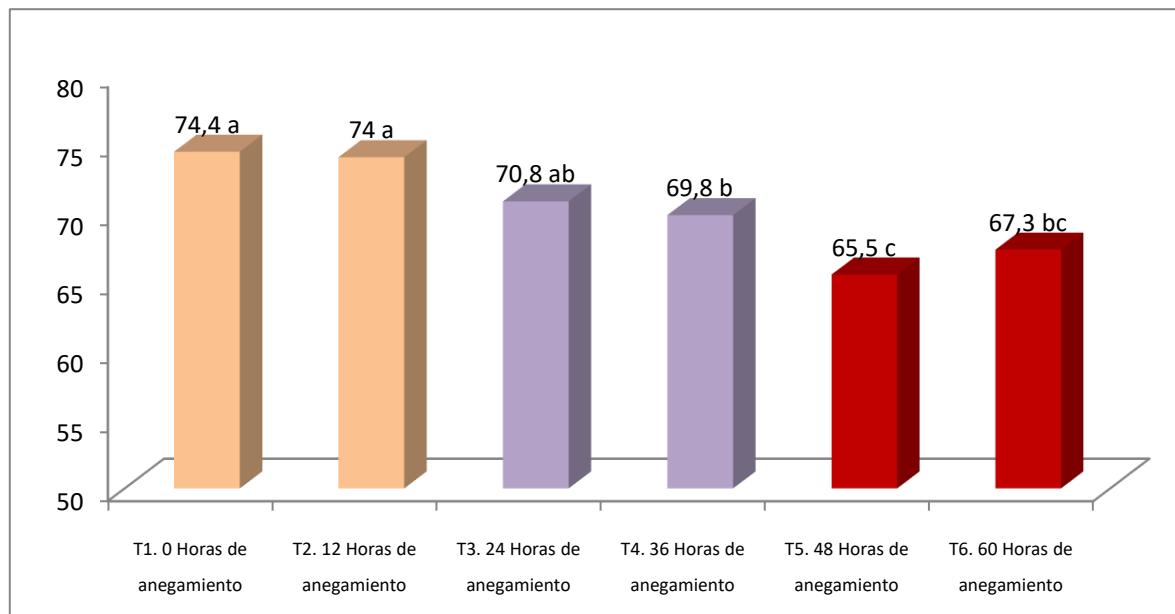
En la variable de diámetro de tallo en cm, se observó que los periodos de estrés por anegamiento en los tratamientos T3, T5 y T6 afectaron significativamente su crecimiento, obteniéndose diámetro de 0,98 a 0,8 cm, respectivamente e inferiores al T1 donde se obtuvo 1,14 cm de diámetro de tallo.

En tanto que, los tallos /m lineal evaluados demostraron un decrecimiento estadísticamente significativo para los T2 al T6 e inferior al T1, donde se obtuvo 16 t/m.

Acorde la altura de tallos evaluada, los tratamientos del T2 al T6, presentaron una marcada disminución estadísticamente significativa, donde las plantas midieron entre 0,7 a 0,6 cm altura, inferior al T1 0,8 m de altura.

La variable de número de entrenudos mostró una diferencia significativa para los tratamientos T5 y T6, mismos que fueron menores a T1, con valores de 4,3 y 3,9 entrenudos por planta.

Figura 1. Biomasa radicular en (g.) del cultivo de caña de azúcar sometido periodos de anegamiento



En la figura 1, podemos observar el comportamiento de la variable biomasa radicular del cultivo de la caña de azúcar en respuesta a los períodos de inundación impuestos en el estudio. Los tratamientos T4, T5 y T6 fueron los más afectados, ya que su peso de raíces decreció significativamente en comparación al T1, esta reducción representó valores de 4,6; 8,9; 7,1 en g por planta, respectivamente.

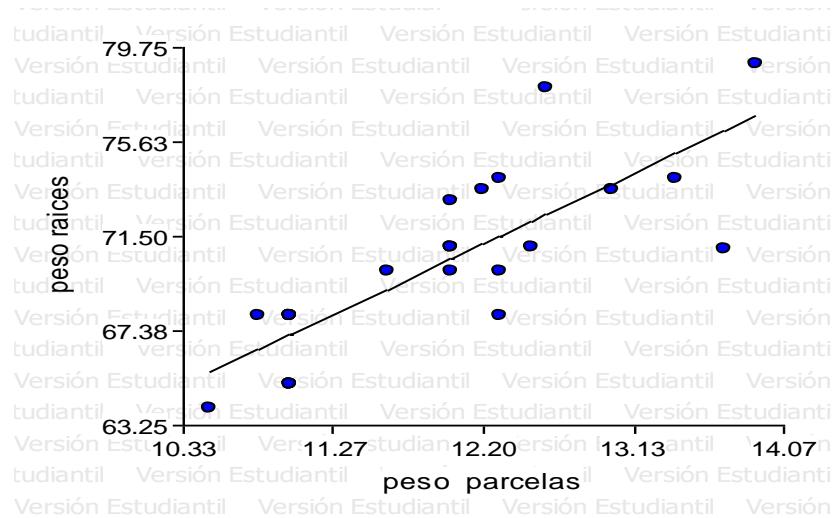
Tabla 2. Análisis de Correlación (r) entre las variables fenológicas y de la producción de caña de azúcar

Variable 1	Variable 2	Coeficiente de correlación (r)
Tallos /m lineal	Rendimiento TCH	0,86
Tallos/m lineal	Diámetro de tallo	0,85
Biomasa radicular (g)	Peso parcelas (Kg)	0,81
Tallos /m lineal	Biomasa radicular (g)	0,79

Valores son medias de cuatro réplicas.

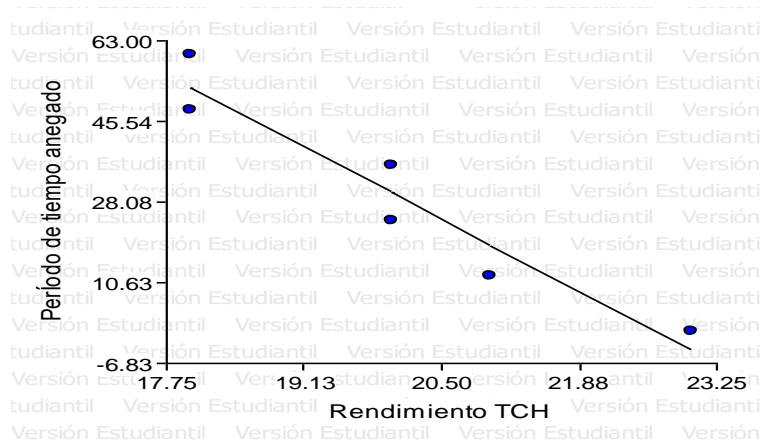
En la Tabla 2, se presenta el análisis de correlación entre las variables evaluadas, destacándose la alta asociación entre las variables de Tallos/ m lineal y Rendimiento en TCH con valor $r= 0,86$ a continuación se ubicaron las de Tallos/m lineal y Diámetro de tallo Número con valor $r = 0,85$. Las variables de Biomasa radicular (g) y Peso parcelas (Kg) también mostraron una alta correlación $r = 0,81$

Figura 2. Regresión lineal entre peso de las raíces en g y peso de las parcelas en Kg



Acorde a la Figura 2, los parámetros de peso de raíces y peso de las parcelas fueron los que expresaron mayor coeficiente en la relación lineal valor $R^2= 0,65$

Figura 3. Regresión lineal entre periodo de tiempo anegado y rendimiento en TCH



En la Figura 3, se exponen los parámetros de periodo de anegamiento en días y rendimiento TCH, estas variables expresaron mayor coeficiente en la relación lineal valor $R^2= 0,92$

Tabla 3. Análisis económico en función del Rendimiento Agrícola TCH en caña de azúcar sometido a estrés por anegamiento

Tratamiento	Rendimiento TCH	Reducción de ganancias en	
		Ingreso USD/ha	USD/ha
T1: 0 Horas de anegamiento	22,5 a	788,6 a	
T2: 12 Horas de anegamiento	20,5 b	720 b	68,6
T3: 24 Horas de anegamiento	19,5 c	684,9 c	103,7
T4: 36 Horas de anegamiento	20,3 bc	709,8 bc	78,9
T5: 48 Horas de anegamiento	18,1 d	635,3 d	153,3
T6: 60 Horas de anegamiento	18,2 d	639,7 d	149,0
CV	2,76	2.8	
Valor P	<0.0001	<0.0001	

Valores son medias de cuatro réplicas. Valores seguidos por la misma letra en la columna indican que no existen diferencias significativas ($p < 0,05$) para el test Duncan.

En la tabla 3, se expone el análisis económico del cultivo de caña de azúcar en respuesta al estrés por anegamiento en diferentes periodos, vemos que el rendimiento agrícola expresado mediante TCH, se mostró significativamente afectado, por lo que los tratamientos T2 al T6, redujeron su productividad agrícola obteniendo rangos de 20,5 a 18,1 TCH, valores inferiores al T1, donde se obtuvo 22,5 TCH.

También se calculó el ingreso en dólares obtenido por rendimiento agrícola TCH de los tratamientos. En el T1 se obtuvo ingreso de 788,6 dólares/ha, mientras que la reducción de las ganancias en los T2 al T6 se ubicó entre 68,6 y 153,3 dólares/ha, los tratamientos T3,

T5 y T6 fueron los periodos de anegamiento que ocasionaron pérdidas mayores en el cultivo de caña de azúcar.

DISCUSIÓN

En la presente investigación se planteó evaluar la respuesta fenológica y de producción agrícola del cultivo de caña de azúcar variedad CC85-92 bajo un estrés por anegamiento programado en periodos de 12, 24, 36, 48 y 60 horas, con la información obtenida se hacen visibles estadísticamente las pérdidas en rendimiento agrícola ocasionados por la falta de drenaje del suelo en periodos de tiempo conocidos. A continuación, se analizan y discuten las variables evaluadas en el experimento:

La tabla 1, expone las variables fenológicas del cultivo de caña de azúcar sometido a estrés por anegamiento. Tales como diámetro de tallo, tallo/ metro lineal, número de entrenudos y altura de plantas.

Los tallos /m lineal y la altura de tallos evaluados evidenciaron un retraso en su desarrollo normal estadísticamente significativo, atribuido a los tratamientos con anegamiento correspondientes a T2, T3, T4, T5 y T6. Para el caso de tallos /m lineal el decremento máximo de población representó un 22,5% en el T5 al comparar con T1. Mientras que en la variable de altura de planta se observó entre 10 a 20 cm de disminución de crecimiento de los tallos al compararse al T1. Así mismo, en las variables de diámetro de tallo en cm y número de entrenudos se observó que los tratamientos T5 y T6 afectaron significativamente su desarrollo. Las más altas reducciones en el desarrollo de diámetro de tallo representaron 29,8%. Así mismo, también se evidenció 25% de reducción en el número de entrenudos por planta al comparar al T1. Los resultados demuestran que el exceso de agua en el suelo ocasiona un retraso significativo en el crecimiento de las plantas, lo que concuerda con Caicedo *et al.*, (2019), quienes reportaron que el anegamiento en el cultivo de maíz causa retraso en el crecimiento de las plantas, debido a la falta de oxígeno y la reducción en la disponibilidad de nutrientes esenciales en el suelo anegado. Cabe mencionar, que en el caso de caña de azúcar, aunque puede sobrevivir varias semanas la producción ya no sería la misma porque va perdiendo la capacidad de obtener azúcar en el tallo.

En la figura 1, se expone el comportamiento de la variable biomasa radicular (peso de las raíces en g) del cultivo de la caña de azúcar en respuesta a los períodos de inundación impuestos en el estudio. Los tratamientos al ser comparados con T1 mostraron diferencia significativa produciendo menor biomasa radicular en el siguiente orden T4 (6,2%); T5 (12%) y T6 (9,6%), resultando ser los tratamientos más afectados en esta variable. Estos resultados son concordantes con Moreno *et al.*, (2020), quienes reportaron que en respuesta al anegamiento la planta de caña de azúcar empieza a generar raíces adventicias para sobrevivir, este tipo de raíces son más pequeñas y de menor peso. Según Bailey y Voesenek (2008) la hipoxia se presenta cuando la concentración de oxígeno disuelto en agua está entre 0,1 y 20,9%, a una temperatura de 20 °C. No obstante, algunas plantas pueden tolerar la hipoxia mediante mecanismos que implican el transporte y suministro de oxígeno a los órganos sumergidos en el agua.

En el presente estudio las plantas sometidas a periodos más largos de anegamiento 60 horas, aunque afectaron negativamente su desarrollo radicular, sobrevivieron a este tipo de estrés, la explicación a esta respuesta de la planta puede atribuirse a que según Jackson, (2008), la baja concentración de oxígeno en la rizósfera estimula la producción de etileno en las raíces, el cual debido a su lenta difusión en el agua se acumula e induce en las células del córtex radical un proceso de muerte celular programado que forma un tejido especializado llamado aerénquima, el cual está compuesto por canales longitudinales llenos de aire por donde se transporta el oxígeno de la atmósfera a las raíces.

En la Tabla 2, referente al análisis de correlación Pearson se encontró altas correlaciones positivas entre Tallos/ m lineal y Rendimiento en TCH con valor $r= 0,86$; Tallos/m lineal y Diámetro de tallo con valor $r = 0,85$. Biomasa radicular (g) y Peso parcelas (Kg) también mostraron una alta correlación $r = 0,81$. Esta información se traduce en que una adecuada población de tallos y biomasa radicular garantiza el óptimo rendimiento agrícola de caña de azúcar, estos datos son consistentes con la información graficada en la Figura 2, análisis de regresión lineal establecido entre las variables de peso de raíces y peso de las parcelas con un valor $R^2= 0,65$. Nuestros resultados coinciden con los reportes de Zérega *et al.*, (2002) quienes evaluaron las raíces de las variedades C323-68 y B75-403 encontrando una correlación positiva entre el número de raíces y la productividad del cultivo. En este

sentido, un adecuado sistema radicular es una característica deseable para los cultivares de caña de azúcar plantados en regiones que sufren estrés hídrico, debido a que aseguraría su habilidad para tolerar estas condiciones. Por lo tanto, la expresión del potencial de productividad agrícola de un genotipo de caña de azúcar en determinado ambiente de producción depende del complejo vivo que se desarrolla debajo de la superficie, es decir sus raíces (Landell et al., 2005).

En la Figura 3, Regresión lineal entre periodo de tiempo anegado y rendimiento en TCH se explica claramente la asociación negativa entre ambas variables con un coeficiente en la relación lineal valor $R^2= 0,92$, indicando que los rendimientos TCH decrecen proporcional y significativamente a medida que los periodos de anegación se prolongan, viéndose la afectación a partir de las 12 horas de anegamiento. Al cotejar estos resultados con el análisis económico mostrado en la tabla 3, vemos que el rendimiento agrícola expresado mediante TCH, se mostró significativamente afectado al exponer el cultivo a periodos de anegamiento en los tratamientos del T2 al T6. Los rendimientos TCH decrecieron entre 9 y el 20% al comparar con T1. Finalmente, al extrapolar las pérdidas agrícolas a económicas a causa del mencionado tipo de estrés, encontramos que las pérdidas obedecen al siguiente orden T5>T6>T3>T4>T2, originando reducción en rendimiento agrícola en TCH, que traducido a dólares estadounidenses representó 153>149>104>79>69 valores de pérdidas en dólares/ha atribuidos a mantener el cultivo bajo anegamiento. Resultados similares fueron reportados por Cun *et al.*, (2022), quienes realizaron anegamiento en soya, encontrando pérdidas de rendimiento del 30% a partir de las 24 horas de inundación. Estos resultados se alinean a los mencionados por Alcívar *et al.*, (2018), quienes hallaron que tipos de estrés osmótico en el complejo de suelo afectaron significativamente reduciendo la biomasa radicular en quínoa, lo que se tradujo en disminución de la producción. Varios procesos fisiológicos y metabólicos tales como la capacidad de absorción de nutrientes, aprovechamiento de oxígeno y agua en las plantas de caña de azúcar se ven alterados ante el exceso de agua en el complejo del suelo, lo que origina una disminución del rendimiento de la cosecha.

CONCLUSIONES

En Ecuador, la caña de azúcar es un cultivo de importancia económica, por lo que es necesario optimizar su manejo agrícola a fin de obtener su máximo potencial en rendimiento. El estrés por anegamiento en los suelos donde se cultiva caña de azúcar afecta negativamente su desarrollo y productividad, en el presente trabajo de investigación se logró cuantificar las pérdidas agrícolas de la variedad CC85-92 asociadas con los períodos de anegamiento de 12, 24, 36, 48 y 60 horas

El desarrollo fenológico del cultivo fue afectado negativamente en los tratamientos con mayor horas de inundación T5 y T6, evidenciándose en el desmedro de desarrollo de la planta al comparar con el testigo, esta disminución de tallos por metro, altura de planta y diámetro representó entre el 22 al 30 %. La biomasa radicular (peso de las raíces en g) del cultivo de la caña de azúcar también respondió a los períodos de inundación impuestos en el estudio, produciendo menor biomasa radicular que el testigo, siendo los tratamientos del 4 al 6 los más afectados, ya que disminuyeron su peso de raíces entre el 6 el 12 %.

Al exponer el cultivo a períodos de anegamiento en los tratamientos del T2 al T6, los rendimientos en TCH decrecieron entre 9 y el 20% al comparar con T1, lo que representó una pérdida en ingreso de 69 a 153 dólares /ha, atribuido a períodos crecientes de permanencia del cultivo en un suelo anegado, de esta forma comprobamos cuantitativamente que, los rendimientos TCH decrecen proporcional y significativamente a medida que los períodos de anegación se prolongan, viéndose la afectación a partir de las 12 horas de anegamiento. Suelos bajo estrés por anegamiento, retienen poco oxígeno, involucrando bajo desarrollo de raíces, lo que conlleva a disminución en los procesos de nutrición y fisiológicos de desarrollo de la planta, cabe recalcar que, aunque la caña de azúcar sobrevivió a los tratamientos impuestos, este anegamiento se tradujo en significativas pérdidas agrícolas y económicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcívar, M., Zurita-Silva, A., Sandoval, M., Muñoz, C. y Schoebitz, M. (2018). Recuperación de suelos salino-sódicos con enmiendas combinadas: impacto en el rendimiento de la quinua y la calidad biológica del suelo. *Sustainability*, 10 (9), 3083. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10093083>
- Amador Sacoto, C. A. (2023). Alternativas para mejorar la sustentabilidad de fincas productoras de caña de azúcar en el cantón Milagro, Guayas, Ecuador.
- Arias-Muñoz, P., Chamorro-Benavides, E. L., Patiño-Yar, S. A., Jácome-Aguirre, G., & Rosales, O. (2025). Efectos del cambio de uso de suelo y cambio climático en la distribución potencial de la caña de azúcar en el Valle del Chota, Ecuador. *La Granja*, 42(2), 90-103. DOI: <https://doi.org/10.17163/lgr.n42.2025.06>
- Bailey-Serres, J. y Voesenek, L. A. (2008). Flooding stress: Acclimations and genetic diversity. *Ann. Rev. Plant Biol.* 59:313 - 339. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092752>
- Caicedo, O., Cadena, D., Galarza, E., y Solorzano, D. (2019). Permisibilidad del maíz (*Zea mays* L.) sometido a diferentes condiciones de inundación. *Revista Científica y Tecnología (UPSE)*, 6(2), 67-75. DOI: <https://doi.org/10.26423/rctu.v6i2.472>
- Cun, R., Herrer, J., Duarte, C., Gonzales, F., Balsinde, R., y Sarmiento, O. (2022). Determinación del tiempo de resistencia a la inundación de la soya. *Revista Ingeniería Agrícola* ISSN-2306-1545, 12(2), 3-8. DOI: <https://cu-id.com/2284/v12n2e04>
- Digonzelli, P., & Romero, E. R. (2017). La caña de azúcar y la disponibilidad hídrica. Tucumán, EEAOC.
- Garello, F. J., Taboada, M. A., Melani, E. M., & Ploschuk, E. L. (2023). Agricultura en campos bajos: Impacto sobre los suelos y dinámica de la absorción de agua por los cultivos (Doctoral dissertation, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. Escuela para Graduados).
- Ilbay-Yupa, M., Zubieta Barragán, R., & Lavado-Casimiro, W. (2019). Regionalización de la precipitación, su agresividad y concentración en la cuenca del río Guayas,

- Ecuador. LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida, 30(2), 57-76. DOI: <https://doi.org/10.17163/lgr.n30.2019.06>
- INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). 2023. Principales resultados: encuesta nacional de ingresos y gastos ENIGHUR 2011- 2012. INEC.
- Jackson, M. B. 2008. Ethylene and responses of plants to soil waterlogging and submergence. Annual Review Plant Physiol. 36:145 - 174.
- Landell, M.G.A., Campana, M.P., Figueiredo, P., Vasconcelos, A.C.M., Xavier, M.A., Bidoia, M.A., Prado, H., Silva, M.A., Dinardo-Miranda, L.L., Santos A.S. Perecin D., Rossetto, R., Martin, A.L., Gallo, P.B. y Souza, S.C. (2005). Variedades de cana-de azúcar para o centro-sur do Brasil. 15A Liberação do programa cana IAC (1995-2005). Campinas: Instituto Agronómico. 17p (Boletín Técnico; 197).
- Madrid León, C. R. (2023). Evaluación de una colección activa de germoplasma de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) para contenido de azúcar en el primer tercio de la zafra en Ecuador (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).
- Montero, F. (2020). Análisis y graficación de los resultados sobre la respuesta sobre las respuestas fisiológicas de tres variedades de caña de azúcar sometidas a estrés por suelo anegado (Tesis de pregrado). Universidad de Costa Rica. Alajuela, Costa Rica.
- Pérez-Domínguez, G., Peñuelas-Rubio, O., Núñez-Vázquez, M., Martínez-González, L., López-Padrón, I., Reyes-Guerrero, Y., & Argentel-Martínez, L. (2021). El estrés salino en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L). Papel de los Oligogalacturónidos como protectores de las plantas. Revista fitotecnia mexicana, 44(3), 283-291. DOI: <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.3.283>
- Prado-Pérez de Corcho, R., Herrera-Suárez, M., Ramírez-Moreira, K. R., Lucas-Grzelczyk, M. M., Jarre-Cedeño, C., & Pérez de Corcho-Fuentes, J. S. (2018). Factores limitantes para la mecanización de la caña de azúcar en la provincia Manabí, Ecuador. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 27(4).

Sandoval Balladares, J. D. C. (2018). Evaluación y selección de líneas avanzadas de arroz (*Oryza Sativa L.*) en base a características agronómicas y de rendimiento 2014-2016 (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria).

Unigarro Muñoz, C. A., & Victoria Kafure, J. I. (2013). Evaluación del área de aerénquima radical en caña de azúcar (*Saccharum spp.*) como característica de tolerancia a hipoxia. *Acta Agronómica*, 62(3), 223-231.

Vásquez-Martínez, M., Reyes-Medina, A. J., Báez-Acevedo, J. A., Lizarazo-Peña, P., & Miranda, D. (2021). Tolerancia al anegamiento de plantas de agraz (*Vaccinium meridionale*) y arándano (*Vaccinium corymbosum*) en etapa de vivero Tolerance to waterlogging in young Andean blueberry (*Vaccinium meridionale*). *Avances de la horticultura*, 189.. Doi: <https://doi.org/10.17584/VIIIHorticultura>

Zerega, L.; Rojas M.; Hernández T. (2002). Caracterización y sugerencias de manejo de los recursos agroecológicos para la producción de caña de azúcar en la Unión de Prestatarios “La Esperanza”, estado Yaracuy. INIA-Yaracuy. Instituto Universitario Tecnológico del Yarac.