

- híbridos de *Phalaenopsis* (Orchidaceae) Rev. Colomb. Biotecnol. Vol. XV. N° 2. 97-105 p.
- Simmonds. N. 1973. Los Plátanos. Barcelona, España. Blume. 214-229 p.
- Steward. F. 1951. A tissue culture from potato tuber: The synergistic action of 2,4-D and coconut Milk. Science 113: 518-520 p.
- Thomas. D. 2008. The role of activated charcoal in plant tissue culture. Biotechnology advances. 26. 618 – 631 p.
- Yam. T., Arditti. J. 2009. History of orchid propagation: a mirror of the history of biotechnology. Plant Biotechnology Reports. 3 (1): 1-56 p.
- Yong. W., Ge. L., Ngand. F., Tan. N. 2009. The chemical composition and biological properties of coconut (*Cocos nucifera* L.) water. Natural Sciences Education Academic Group of Sciences, Nanyang Technological University Nanyang. Walk (Singapore). 5144 – 5164 p.

EFFECTO DE LA SALINIDAD Y APLICACIÓN DE FÓSFORO SOBRE LAS VARIABLES FISIOLÓGICAS EN EL CULTIVO DE BERENJENA (*Solanum melongena*)

EFFECT OF SALINITY AND APPLICATION OF PHOSPHORUS ON PHYSIOLOGICAL VARIABLES IN AN EGGPLANT CULTIVATION (*Solanum melongena*)

Carlos Miguel Durango B⁵ Vladimir Pérez⁶, Omar Nanclores², Ángel Balmes², John Restrepo².

Resumen

Se evaluó la respuesta de berenjena (*Solanum melongena*) a la aplicación de 2 niveles de Fósforo en el suelo bajo 7 niveles de salinidad. El experimento se llevó a cabo bajo condiciones de invernadero en las instalaciones del SENA en Apartadó (Ant) ubicada a 7° 53' 28" Norte, 76° 37' 52" Oeste. Se realizó bajo un diseño completo al azar, con arreglo factorial, 7 dosis de sal en el suelo (T1: 0 cmol/Kg, T2: 0.5 cmol/Kg, T3: 1.0 cmol/Kg, T4: 1.8 cmol/Kg, T5: 2.5 cmol/Kg, T6: 3.5 cmol/Kg, T7: 5 cmol/Kg x 2 dosis de Fósforo (30 Kg/ha y 60 Kg/ha). Las variables evaluadas fueron fluorescencia mínima (Fo), fluorescencia variable (Fv), Fluorescencia máxima (Fm), relación (Fv/Fm), área foliar (AF cm), altura de plantas (ALTP: cm), masa seca de raíz (MSR: g), masa seca de hojas (MSH: g), masa seca de tallo (MST: g), conductividad eléctrica (CE: ds.m-1) y pH. Se realizó el ANOVA, prueba comparación de medias de Tukey y descomposición de las interacciones. Todas las variables fueron afectadas por los niveles de P a excepción de MSR. Las dosis de NaCl solo presentaron diferencias significativas para masa seca de raíz, mientras que solo se presentó interacción Sal*P para las variables de fluorescencia Fm, Fv y Fv/Fm. De forma general se puede decir que las aplicaciones de Fósforo pueden jugar un papel relevante en la tolerancia cuando los contenidos de sal en el suelo son moderados.

Palabras claves: Suelo salino, Fósforo, especies tolerantes, espuestas.

Summary

The response of eggplant (*Solanum melongena*) to the application of 2 levels of phosphorus in the soil under 7 levels of salinity was evaluated. The experiment was carried out under greenhouse conditions at the SENA facilities in Apartadó (Ant) located at 7° 53' 28" North, 76° 37' 52" West. It was carried out under a randomized design, with factorial arrangement, 7 different doses of salt in the soil (T1: 0 cmol / Kg, T2: 0.5 cmol / Kg, T3: 1.0 cmol / Kg, T4: 1.8 cmol / Kg, T5 : 2.5 cmol / Kg, T6: 3.5 cmol / Kg, T7: 5 cmol / Kg x 2 phosphorus doses (30 Kg / ha and 60 Kg / ha) The variables evaluated were minimum fluorescence (OF), variable fluorescence (VF), Maximum fluorescence (MF), ratio (VF / MF), leaf area (FA in cm), plant height (PHeight in cm), dry root mass (DRM: g), dry leaf mass (DLM: g) , dry stem mass (DSM: g), electrical conductivity (EC: ds.m-1) and pH .The ANOVA was performed, test of comparison of Tukey averages and decomposition of interactions ,All variables were affected by levels of P except for DRM. NaCl doses only showed significant differences for dry root mass,

⁵ Ingeniero Agrónomo. .M.Sc en ciencias Agronómicas de la Universidad de Córdoba. Instructor Sennova Complejo Tecnológico Agroindustrial, Pecuario y Turístico. SENA Urabá

⁶ Ingenieros Agrónomos. .M.Sc en ciencias Agronómicas de la Universidad de Córdoba

while only NaCl * P interaction was presented for the fluorescence variables MF, VF and VF / MF. In general, it can be said that phosphorus applications can play a relevant role in tolerance when the salt (NaCl) content in the soil is moderate.

Keywords: Saline soil, phosphorus, tolerant species, responses.

Introducción

Millones de hectáreas en el mundo están afectadas por salinidad y todos los años se vuelven improductivas o menos productivas por el efecto de la acumulación de sales. Existe una amplia distribución de los suelos salinos y salinizados a nivel mundial; destacándose que los mismos ocupan entre un 40-50 % de toda el área del planeta (Mert *et al.*, 2008). Al respecto se ha planteado que su extensión crece a razón de 3 ha/min y que actualmente se contabilizan alrededor de 953 millones de ha en diferentes regiones del mundo. Los problemas de salinidad se encuentran usualmente en zonas áridas y semiáridas, donde las precipitaciones no son suficientes para transportar las sales fuera de la zona explorada por las raíces (Shahba *et al.*, 2010). En algunas áreas, la deposición de sales se debe a un inadecuado drenaje, que origina la presencia de una capa freática elevada, que saliniza continuamente el perfil del suelo, ya que el balance hídrico es regulado por transpiración y/o evaporación y no por drenaje. Todos los suelos contienen sales solubles, algunas de las cuales son esenciales para el crecimiento de las plantas. La salinidad puede ser definida simplemente como la presencia de excesiva concentración de sales solubles en el suelo, que limitan el crecimiento de las plantas. Esta limitación es mayor a medida que aumenta la concentración de sales hasta provocar la muerte de la planta (Nasim *et al.*, 2007).

La salinidad es un factor ambiental que puede afectar el crecimiento y contenido mineral de las plantas, la salinidad tiene efecto sobre el comportamiento de los estomas y la fotosíntesis, así como en el contenido de clorofila en las plantas (Ashraf & Bhatti, 2000). Bajo condiciones de estrés por salinidad, una deficiencia de fósforo puede influir en los procesos metabólicos, principalmente en el metabolismo de nitrógeno, lo que ocasiona un incremento en aminoácidos libres, especialmente de proteínas (Al-Karaki *et al.*, 1996; Kabir *et al.*, 2004). También bajo condiciones salinas, la solución del suelo tiene un potencial osmótico muy negativo, las plantas afectadas por estrés de salinidad mantienen un potencial osmótico intracelular más negativo con el propósito de evitar que el agua de las células se mueva hacia el suelo y cause lo que se denomina “sequía osmótica”. En casi todas las plantas el ajuste osmótico incluye la síntesis y acumulación de solutos orgánicos, lo cual reduce el potencial osmótico de las células hasta un nivel de alta turgencia para mantener el desarrollo. Los compuestos orgánicos de bajo peso molecular

sintetizados en el citoplasma de las células, en respuesta a un potencial hídrico del agua más negativo en la solución del suelo, son: azúcares solubles, ácidos orgánicos, aminoácidos y sus derivados metilados (Ashraf 1994).

La salinidad es un estrés ambiental que limita el crecimiento y desarrollo en plantas. La respuesta de las plantas al exceso de NaCl es complejo e implica cambios en su morfología, la fisiología y el metabolismo (Hilal *et al.*, 1998).

La translocación de sal en raíces y brotes es un resultado del flujo de transpiración necesaria para mantener el estado del agua de la transpiración de las plantas si esta condición no se regula puede causar niveles tóxicos de la acumulación de iones en el follaje (Yeo, 1998) y el suministro de iones minerales en las hojas del cultivo puede disminuir. Baja tasa de transpiración, junto con la reducción de la absorción de iones por las raíces, o la reducción de carga del xilema, produciendo un mal suministro a través del xilema. Por lo tanto, es posible que un suministro inadecuado de iones a la región de expansión puede restringir la división celular y/o expansión, esto por lo general ocurre cuando las plantas crecen a altos niveles de NaCl (Berstein *et al.*, 1995). La expansión de las hojas, la salinidad ha perturbado concentraciones de K (Jeschke y Wolf, 1985) y P (Martínez y Lauchli, 1991). Una respuesta inmediata a la salinidad es el cierre de los estomas. Sin embargo, debido a la diferencia de potencial de agua entre la atmósfera y células de la hoja, y la necesidad de la fijación de carbono, esto es una estrategia de tolerancia insostenible a largo plazo (Hasegawa y Bressan, 2000). Una forma de control de flujo de la sal a la sesión vasculares, es la entrada de iones en la corriente del xilema (Flores y Yeo, 1992). Estos se pueden encontrar en grandes cantidades en las hojas maduras (Munns, 1993). Caso contrario sucede en las hojas más viejas en donde se pueden restringir la deposición de iones en las células meristemáticas en crecimiento activo (Wyn Jones, 1981).

Se puede esperar que las respuestas de las plantas a la alta salinidad varían con las diferentes etapas de crecimiento. Esto ha sido demostrado por Chartzoulakis y Klapaki (2000) en el pimiento; Chartzoulakis y Loupassaki (1997) en la berenjena; Dumbroff y Cobre (1974) en el tomate. Las plántulas y plantas en la etapa de floración parecen ser más sensibles que las etapas maduras (Lutts *et al.*, 1995).

Uno de los principales factores que inducen senescencia de la hoja es la disminución del contenido de clorofila en condiciones salinas (Chen *et al.*, 1991). La senescencia de la hoja también se correlaciona con el aumento de permeabilidad de la membrana a alta concentración de sal (Dhindsa *et al.*, 1981). El exceso de NaCl en el medio de crecimiento induce a cambios estructurales en las raíces de soja, así como la fuga de iones correlacionados con alteraciones de las membranas celulares (Cachorro *et al.*, 1995).

La tolerancia a la sal de las plantas se puede agrupar en tres categorías: (1) exclusión de la sal, seguido por el transporte y la compartimentación de sal, (2) las características morfológicas y de distribución de la biomasa de los brotes de las plantas y raíces y eventos (3) fisiológicas y metabólicas que pueden contrarrestar la presencia de sal a nivel celular (Winicov, 1998). Una de las maneras más eficaces para superar los problemas de salinidad es la introducción de cultivos tolerantes a la sal. Sin embargo, el mejoramiento de la tolerancia a la salinidad en los cultivos por lo general ha sido limitado por la falta de rasgos confiables para la selección (Noble y Rogers, 1992 y Shannon, 1985). Las investigaciones sobre la tolerancia a ambientes salinos con frecuencia apuntan a la acumulación de iones restringidos y la síntesis de solutos orgánicos como adaptaciones importantes que conducen a resistencia a la sal en glícófitas (Greenway y Munns, 1980). Por otra parte, hay varios genes que parecen actuar de manera concertada para aumentar la tolerancia a la salinidad y ciertas proteínas implicadas en la protección del estrés por salinidad también han sido reconocidos (Bohnert y Jensen, 1996). Otros investigadores han relacionado el estrés de NaCl con deficiencias de macronutrientes, por ejemplo, altas concentraciones de NaCl inducen deficiencias de fósforo y potasio en tomate (Adams, 1988, 1991) y pepino (Sonneveld y Kreij, 1999). Debido a las diferentes respuestas que presentan cada tipo de cultivar frente a la salinidad y forma de asimilación de los nutrientes se hace necesario conocer el comportamiento de una variedad específica de berenjena (*Solanum melongena*) desarrollada en la Universidad de Córdoba, evaluando el efecto de dos concentraciones de fósforo bajo condiciones de salinidad inducida.

Materiales y métodos:

El experimento se llevó a cabo bajo condiciones de invernadero en las instalaciones del SENA- Apartado ubicado a 7° 53' 28" Norte, 76° 37' 52" Oeste, con una altitud de 23 m.s.n.m., temperatura promedio anual de 27 °C y humedad relativa promedio de 85%. Se realizó bajo un diseño completo al azar, con arreglo factorial con cuatro repeticiones., 7 dosis de sal en el suelo (T1: 0 cmol/Kg, T2:

0.5 cmol/Kg, T3: 1.0 cmol/Kg, T4: 1.8 cmol/Kg, T5: 2.5 cmol/Kg, T6: 3.5 cmol/Kg, T7: 5 cmol/Kg x 2 dosis de Fósforo (30 Kg/ha y 60 Kg/ha), para cada tratamiento se establecieron 4 repeticiones. La unidad experimental estaba representada por una materia con 5 Kg de suelo de textura franco. En cada materia fueron sembradas 6 plántulas de berenjena variedad C-015 como planta indicadora previa aplicación de los tratamientos correspondientes (Sal y P). A los 6 días después de trasplante (ddt) se cortaron las plantas menos vigorosas, dejando 4 plantas por materia. La fertilización de las plantas se realizó vía foliar, cada plántula trasplantada recibió una aplicación foliar una vez por semana, con una solución nutritiva en dosis de 2 cc/lt de agua, aplicada con un micro aspersor. La medición de variables se realizó a los 60 días después de trasplante. Las variables evaluadas fueron fluorescencia mínima (Fo), fluorescencia variable (Fv), Fluorescencia máxima (Fm), Relación (Fv/Fm), para las variables de fluorescencia se utilizó un clorofilómetro (OPTI-SIENCES0530 P), para la determinación del área foliar (AF) se utilizó el modelo matemático propuesto por Cardona, C. E., Araméndiz, H., & Barrera, C. J. (2009), altura de plantas (ALTP: cm), masa seca de raíz (MSR: g), masa seca de hojas (MSH: g), masa seca de tallo (MST: g). Además fueron tomadas muestras de suelo de 1 Kg de cada unidad experimental y fueron llevadas a laboratorio para medición de conductividad eléctrica (CE: ds.m-1) y pH con el fin de determinar el efecto de los tratamientos aplicados. Se realizó el ANOVA y prueba comparación de medias de Tukey para cada variable con el paquete estadístico SAS 9.1. Bajo el modelo planteado, para las variables que presentaron interacción Sal*P se realizó la descomposición de la interacción.

Resultados y Discusión

La conductividad eléctrica en cada tratamiento fue de 0,63, 0,95, 1,65, 2,33, 3,31, 4,48, 4,50 ds.m-1 para los tratamientos con Fósforo 30k/ha, y de 0,55, 0,89, 1,25, 2,11, 2,87, 3,55 y 4,80 ds.m-1 para los tratamientos con Fósforo 60 k/ha, iniciando con la combinación del nivel bajo para cada factor.

El análisis estadístico indicó diferencias significativas entre niveles de fósforo, para las variables de índice de área foliar, altura de planta, fluorescencia máxima (Fm), fluorescencia variable (Fv), masa seca en tallo, hojas y masa seca total. La concentración de NaCl indicó diferencia significativa para la variable masa seca de raíz. La interacción entre los dos factores presentó diferencia significativa para las variables Fv, Fm y Fv/Fm. La Tabla 1 muestra la separación de medias de las diferencias en concentraciones derivadas de los tratamientos.

Tratamiento P(Kg/Ha)	MSR(g)		MSH(g)		MST(g)		MSTotal(g)		Altura de Planta(cm)		AF		Fo		Fv		Fm		Fv/Fm	
30	0.77	a	10.04	a	2.58	a	13.39	a	46.03	a	784.00	a	187.86	a	769.25	b	957.1	b	0.806	
60	0.61	a	7.64	b	1.996	b	10.13	b	39.84	b	617.00	b	191	a	796.75	a	990.6	a	0.806	a
NaCl 0 cmol/ Kg	0.33	b	7.18	b	1.81	b	8.84	b	41.44	b	646.00	c	181.75	a	774.25	c	956	c	0.809	c
NaCl 0.5 cmol/Kg	0.55	b	7.99	b	2.046	b	11.01	b	41.88	b	688.88	b	188.25	a	788.12	ba	976.37	a	0.806	c
NaCl 1.0 cmol/Kg	0.77	b	8.95	b	2.313	b	12.06	b	42.78	b	670.13	b	191.5	a	787.87	c	979.37	c	0.813	ab
NaCl 1.8 cmol/Kg	1.11	b	9.85	b	2.254	b	12.99	b	43.00	b	742.38	c	207.12	a	803.5	c	1020.62	a	0.795	c
NaCl 2.5 cmol/Kg	1.26	b	8.77	b	2.241	b	11.86	b	44.25	b	701.25	c	187.75	a	785.5	c	973.25	c	0.806	c
NaCl 3.5 cmol/Kg	1.54	b	7.66	b	2.421	b	10.57	b	43.38	b	627.63	c	189	a	766.87	c	955.87	c	0.801	b
NaCl 5.0 cmol/Kg	2.43	a	9.66	b	2.93	b	15.02	b	43.81	b	827.38	a	180.66	a	774.87	a	955.5	ba	0.809	c

Tabla 1. Separación de medias para las variables evaluadas

La Figura 1. indica que no hubo diferencia significativa entre los tratamientos de sal, ni para los dos niveles de Fósforo (P) para la variable CE. La prueba de comparación de medias indica que el tratamiento con mayor CE fue el T7 con una media de 4.65 ds.m-1. Al aplicar mayor cantidad de NaCl la conductividad eléctrica aumenta debido a que este compuesto es altamente soluble. De acuerdo a Otero *et al.*, (2007) un suelo salino debe tener una CE ≥ 4 , pH $\geq 8,5$ y PSI $\geq 15\%$ y estas condiciones de CE solo se presentaron en T6 (4.02 ds.m-1), T7 (4,65ds.m-1), y el pH de todos los tratamientos estuvo por debajo de 8.5 . La conductividad eléctrica, puede afectar el transporte de K⁺ y Na⁺ a la planta, debido a que existen canales transportadores dependientes del voltaje en las células del parénquima de la raíz (Zepeda 2006), en un medio altamente salino se genera un cambio en los potenciales eléctricos presentándose una conductividad iónica máxima y el gradiente electroquímico de Na⁺ es elevado (Leidi y Pardo 2002).

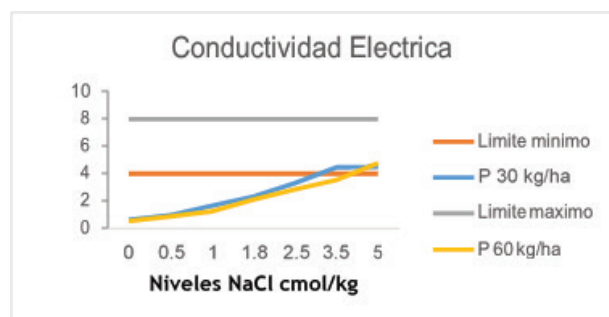


Figura 1 Evaluación de la conductividad eléctrica con respecto a nivel de NaCl

Respuesta a la aplicación de fósforo y NaCl

Con la dosis baja de fósforo (30 Kg/ha) se presentó la mayor acumulación de materia seca en raíz, tallo, hojas y mejor respuesta a las variables índice de área foliar con altura de planta; las variables Fo, Fv y Fm presentaron mejores resultados con la dosis de Fósforo correspondiente a 60 Kg/ha.

En las plantas tratadas con la dosis más alta de NaCl se presentó una diferencia significativa en la acumulación de materia seca en raíces en comparación con los otros tratamientos, mientras que las variables de materia seca en hoja, tallo, masa seca total, altura de planta e índice de área foliar no presentaron diferencias significativas en ninguno de los tratamientos. En la tabla 1 se aprecia una mejor respuesta en Fo, Fv y Fm en el tratamiento con NaCl al 2,5 cmol/Kg seguido por el tratamiento con NaCl 1,8 cmol/Kg y el tratamiento con NaCl al 1.0 cmol/Kg. No obstante, se observa que el resultado de la Fv/Fm es menor en el tratamiento con NaCl al 2,5 cmol/Kg en comparación con los demás tratamientos los cuales presentaron valores por encima de 0,8.

Materia Seca Raíz

El análisis de varianza muestra diferencia significativa a una probabilidad de 0,05 para los niveles NaCl, no se presentó diferencia significativa entre los niveles de P y tampoco para la interacción P*Sal, como se ilustra en la figura 2. Presentando el nivel de 5 cmol/Kg la mayor acumulación de materia seca en gramos, comparada con los otros niveles de

sal. Los valores estuvieron entre 0,33 gr para el nivel 0 cmol/Kg y 2,77 gr para el nivel más alto con base a materia seca de raíz, lo que representa una diferencia de 88 % en incremento de masa seca de raíz.

La notable suculencia o ms en raíz y acorde a al ANOVA, estuvo influenciada por la salinidad presente. Este comportamiento ha sido descrito como halosuculencia (Poljakoff-Mayber, 1975) y se interpreta como una respuesta al efecto osmótico de las sales, que a su vez permite una mayor capacidad de dilución del contenido iónico de las células, ayudando a contrarrestar el efecto tóxico de estas. En forma similar a lo aquí observado, en otros estudios se ha encontrado respuesta al grado de suculencia o ms en raíz en respuesta a condiciones de estrés salino en rábano (Cavosoglu. *Et al.*, 2011) y en caña de azúcar (García *et al.*, 2008)

De acuerdo a otros investigadores (Garzón, 2011), otro cambio que su pudo haber dado por el efecto de la salinidad es la reducción del tejido vascular de la estela especialmente en el número y diámetro de los elementos del metaxilema, acompañado de un aumento en la relación GC/DE (GC: Grosor corteza, DE: Diámetro estela). El incremento en la relación GC/DE se ha interpretado como consecuencia del efecto adverso del estrés salino sobre el transporte de asimilados hacia la estela (Karimi *et al.*, 2009). La presencia de vasos más estrechos en el metaxilema, aun cuando reduce la conductividad axial del agua, provee un incremento en la capilaridad de los elementos conductores y una mejor protección contra el efecto de la embolia que podría producirse bajo la condición de suplencia hídrica restringida impuesta por la salinidad.

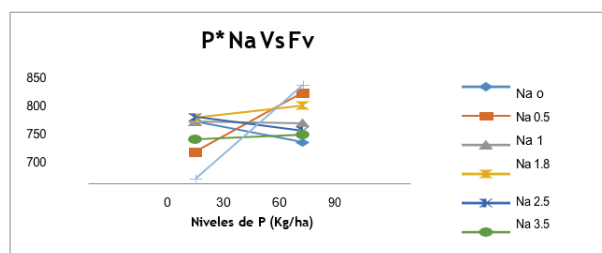


Figura 2. Comportamiento de la variable masa seca de raíz, con las dosis de P 30 y P 60 Kg/ha

Materia Seca Tallo

El análisis de varianza muestra diferencia significativa a una probabilidad de 0,05 para los niveles de Fósforo, no se presentó diferencia significativa en los niveles de sal, y tampoco en la interacción P* Sal como se ilustra en la figura 3. En promedio los tratamientos con Fósforo a dosis de 30 k/ha presentaron un valor de 2,58 gr ms, mientras que

los tratamientos a dosis de 60 k/ha presentaron un valor promedio de 1,2 gr ms; lo anterior representa una diferencia de 53% en disminución de masa seca en tallo.

Dosis de P Vs MST

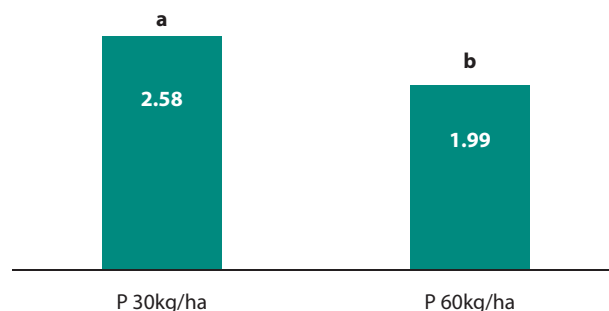


Figura 3. Comparación de medias para los dos niveles de P

Materia Seca Hojas

El análisis de varianza muestra diferencia significativa a una probabilidad de 0,05 para los niveles de Fósforo, no se presentó diferencia significativa en los niveles de sal, y tampoco en la interacción P* Sal como se ilustra en la figura 4. En promedio los tratamientos con Fósforo a dosis de 30 k/ha presentaron un valor de 10.04 gr, mientras que los tratamientos a dosis de 60 k/ha presentaron un valor promedio de 7.64 gr.

Dosis de P Vs MSH

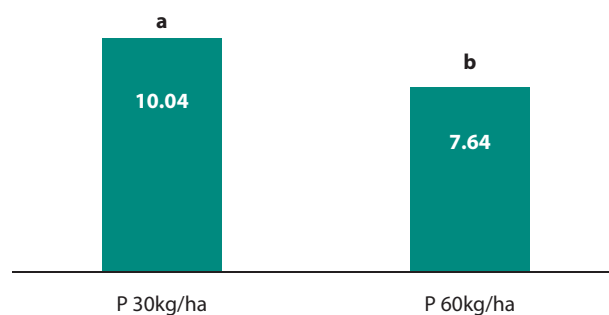


Figura 4. Comparación de media para la variable Masa seca de hoja (MSH) Materia Seca Total

El análisis de varianza muestra diferencia significativa a una probabilidad de 0,05 para los niveles de Fósforo, no se presentó diferencia significativa en los niveles de sal, y tampoco en la interacción P* Sal como se ilustra en la figura 5. En promedio los tratamientos con Fósforo a dosis de 30 k/ha presentaron un valor de 13.39 gr, mientras que los tratamientos a dosis de 60 k/ha presentaron un valor promedio de 10.13 gr.

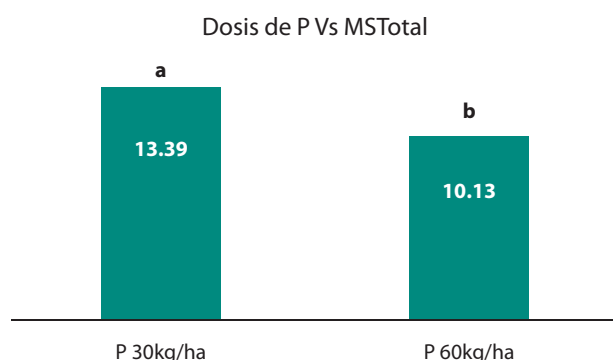


Figura 5. Comparación de media para la variable Masa seca Total (MSTotal)

Los resultados de acumulación de biomasa seca total y por órganos en plantas berenjena de 60 días después del trasplante, en condiciones de 30 y 60 Kg/ha de P, demostraron que la menor acumulación de biomasa seca total ocurrió en las plantas cultivadas con niveles de Fósforo a 30 Kg/ha, lo que indica que las plantas demostraron mayor capacidad para metabolizar el fosfato, reflejado en una mayor ganancia de biomasa.

Lopez *et al.* (2013) en plantas de berenjena en condiciones de deficiencia (-P) de fósforo, evidenciaron mayor acumulación de biomasa en niveles de suficiencia, la cual podría ser debida a una aparente modificación de la arquitectura radical que originó raíces más delgadas; sin embargo para berenjena la respuesta fue definida por la interacción entre fuente y nivel de fósforo lo que demuestra que fosfato fue una fuente superior de fósforo en comparación a fosfito; los resultados de biomasa seca encontrados en este estudio podrían explicarse parcialmente por la reducción de la biomasa seca de raíces encontrada en P 60 Kg/ha, coincidiendo esto con lo reportado por Barrett *et al.* (2002) quienes demostraron que el crecimiento de raíces de plantas disminuyó con la aplicación de fosfito. Así mismo, Sukarno *et al.* (1993) demostraron la inhibición del crecimiento de raíces de *Allium cepa* después de ser tratadas con etil-fosfito de aluminio, sugiriendo que el fosfito puede interferir con el metabolismo de algunas plantas. Igualmente, Carswell *et al.* (1996) encontraron que el crecimiento de raíces en *Brassica nigra* fue fuertemente inhibido por fosfito; el mismo señalamiento fue hecho por Varadarajan *et al.* (2002) en tomate (*Solanum lycopersicon*); de igual manera, Thao *et al.* (2008) encontraron que el crecimiento de raíces de espinaca (*Spinacea oleracea* L.) fertilizadas con fosfito fue inhibido, independientemente de que se aplicara al suelo o en cultivo hidropónico. Por otra parte los resultados obtenidos en la biomasa de tallo contribuyeron a la ganancia de biomasa total. Estos resultados difieren a los obtenidos por Fernández (1990) quien encontró reducciones significativas en la biomasa seca de plantas de frijol (*Vigna unguiculata*) en condiciones de deficiencia de P luego de 28 días de edad. Asimismo, Halsted

y Lynch (1996) encontraron una disminución de la biomasa seca del vástago en especies C3 y C4 debido a la deficiencia de fósforo y por Belami, (2009) quien indicó que la baja suplencia de P redujo la biomasa seca de tallo en genotipos de papa (*Solanum tuberosum*). Por su parte, Santana (2010) encontró importantes reducciones en el vástago de *Crotalaria juncea* a distintas edades, creciendo en soluciones nutritivas en condiciones de deficiencia de fósforo. En este sentido Narang *et al.* (2000) indicaron que una fuente adecuada de fosfato inorgánico aumentó perceptiblemente la formación de la materia seca del tallo de las plantas.

Por otra parte, la biomasa foliar también fue mayor en dosis de P 30 Kg/ha; al respecto Förster *et al.* (1998) y Varadarajan *et al.* (2002) encontraron que plantas de tomate y pimentón cultivados hidropónicamente tratadas con fosfito técnico (Preparado del ácido Fósforoso y neutralizado con KOH) y fosfito comercial, mostraron una significativa reducción del crecimiento en comparación con plantas fertilizadas con fosfato. En cuanto a los efectos de un adecuado suplemento de Fósforo sobre la biomasa seca encontrados en este estudio, los resultados no corresponden con lo reportado por Pleniscar *et al.* (1994) quienes encontraron reducciones de la biomasa seca de *Helianthus annuus* por deficiencia de fósforo. Igualmente, Rodríguez *et al.* (1998) encontraron una significativa reducción en la biomasa seca de trigo (*Triticum aestivum* L.) por las deficiencias de fósforo. De la misma manera, Ascencio y Lazo (1997) señalaron que las deficiencias de fósforo afectaron la biomasa seca de *Ruellia tuberosa* y *Euphorbia heterophylla*.

Área Foliar

El análisis de varianza muestra diferencia significativa a una probabilidad de 0,05 para los niveles de Fósforo, como se ilustra en la figura 6. AF disminuyó con el aumento de Fósforo, presentando menores valores en masa seca en los tratamientos con dosis bajas de NaCl. En promedio los tratamientos con Fósforo a dosis de 30 k/ha presentaron un valor de 784 cm², mientras que los tratamientos a dosis de 60 k/ha presentaron un valor promedio de 617 cm² lo anterior representa una diferencia de 21,30% en disminución del área foliar de la planta, los resultados encontrados en las condiciones de este estudio difieren con lo reportado por Chaudhary y Fujita (1988) quienes observaron una severa reducción del área foliar en tres especies de leguminosas sometidas a la deficiencia de fósforo. Resultados similares fueron reportados por Dietz y Heilos (1990) quienes encontraron una reducción en el área foliar de plantas de espinaca (*Spinacea oleracea*); Fernández (1990) en caraota y frijol; igualmente Lynch *et al.* (1991) en *Phaseolus vulgaris*; Jacob y Lawlor (1991) en *Helianthus annuus*, *Zea mays* y

Triticum aestivus; Arnuaude (1994) en *Phaseolus vulgaris*, *Vigna unguiculata*, *Solanum lycopersicon*, *Euphorbia heterophylla* y *Amaranthus dubius*, Pleniscar *et al.* (1994) pero en *Helianthus annuus*. Ascencio (1996) y Ascencio y Lazo (1997) en especies silvestres y cultivadas, De igual manera, Briceño (2001) en tomate; Blanco y Ascencio (2001) en *Amaranthus dubius* Mart. Asimismo, Cordero *et al.* (2005) en plantas de *Crotalaria spectabilis* creciendo en +P y -P, indicando que la deficiencia de fósforo estuvo asociada a una marcada reducción del área foliar. Resultados similares fueron reportados por Santana (2010), pero en *Crotalaria juncea*.

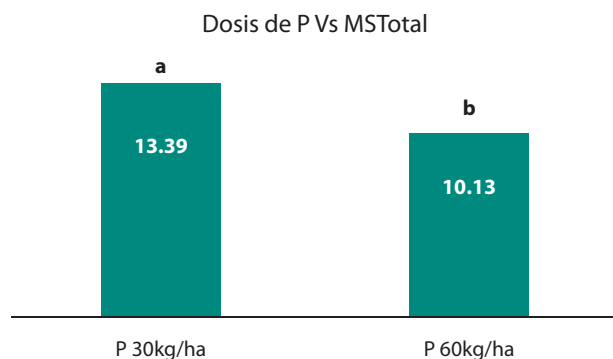


Figura 6. Comparación de media para la variable Área Foliar (AF)

Fluorescencia

En los datos se observaron interacciones en las variables Fv, Fm y Fv/Fm, lo cual muestra diferencia significativa entre cada variable influenciado por el efecto tanto de la sal como el Fósforo, la Fluorescencia base o inicial (Fo) no presentaron diferencia significativa para los niveles de sal, Fósforo y su interacción.

Fluorescencia Variable

De acuerdo al análisis de varianza se encontró diferencia significativa entre los niveles de Fósforo y diferencia significativa en la interacción de los dos factores; Los tratamientos que presentaron interacción son P30 Kg/ha con NaCl 0.5 cmol/Kg, P60 Kg/ha con NaCl 0.5 cmol/Kg, y P30 Kg/ha con NaCl 3.5 cmol/Kg, P30 Kg/ha con NaCl 3.5 cmol/Kg. Se encuentra diferencia marcada en los niveles de Fósforo, observándose un aumento de la variable en los tratamientos con Fósforo a 60 k/ha. Al comparar los niveles de Fósforo en cada nivel de sal se encuentra, que el efecto simple del Fósforo influye en el aumento de la Fv, es decir, cada vez que se incrementa a 30 k/ha los niveles de Fósforo, el valor de la Fv sube 27,5. Como se ilustra en la figura 7.

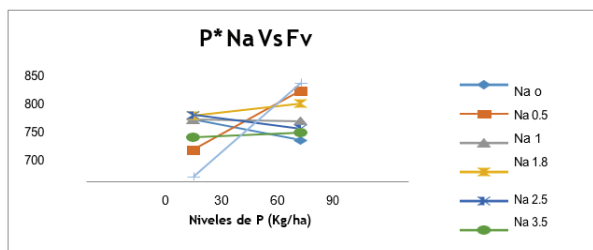


Figura 7 Interacción entre los niveles de P 30 y 60 Kg/ha, en cada nivel NaCl

Fluorescencia Máxima

De acuerdo al análisis de varianza se encontró diferencia significativa entre los niveles de Fósforo y diferencia significativa en la interacción de los dos factores; Los tratamientos que presentaron interacción son P30 Kg/ha con NaCl 3.5 cmol/Kg contra P60 Kg/ha con NaCl 0.5 cmol/Kg, P60 Kg/ha con NaCl 1.8 cmol/Kg y P60 Kg/ha con NaCl 3.5 cmol/Kg. Al comparar los niveles de Fósforo en cada nivel de sal se encuentra, que el efecto simple del Fósforo influye en el aumento de la Fm, es decir, cada vez que se incrementa a 30 k/ha los niveles de Fósforo, el valor de la Fm sube 33,5. Como se ilustra en la figura 8.

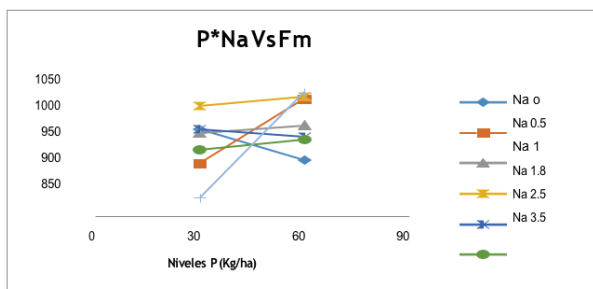


Figura 8. Interacción entre los niveles de P 30 y 60 Kg/ha, en cada nivel NaCl

Relación Fv/Fm

De acuerdo con el análisis de varianza, los efectos de los factores NaCl y Fósforo no resultaron significativos pero la interacción si, por lo cual deben estudiarse los efectos simples, o sea, el efecto del NaCl en ausencia y en presencia del Fósforo. De acuerdo al análisis de varianza se encontró diferencia significativa solo en la interacción de los dos factores; Los tratamientos que presentaron interacción son P 30 Kg/ha con NaCl 1 cmol/Kg comparado con P 60 Kg/ha con NaCl 2.5 cmol/Kg y P 60 Kg/ha con NaCl 1 cmol/Kg. Se observa una disminución en la Fv/FM a medida que se aumenta la dosis de Fósforo en 30 K/ha, específicamente en el nivel de sodio (1 cmol/ Kg NaCl). Como se ilustra en la figura 9.

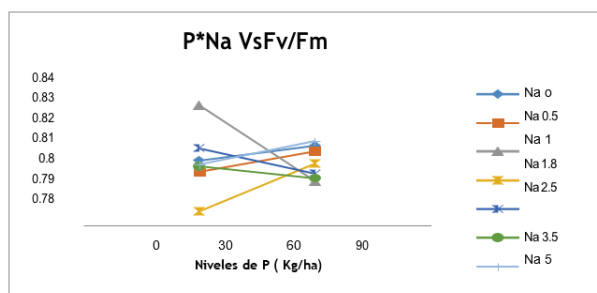


Figura 9. Interacción entre los niveles de P 30 y 60 Kg/ha, en cada nivel NaCl

Una de las causas de la disminución de la eficiencia de PSII es la existencia del déficit hídrico (Cornic, 1994). En este trabajo se induce niveles de estrés en la plantas de berenjena, trabajando varios niveles de sal lo cual genera suelos salinos tendientes a afectar el normal desarrollo del cultivo; La deficiencia en el desarrollo del cultivo se ve limitado por el cambio del potencial osmótico con lo cual se genera indirectamente un déficit hídrico o estrés hídrico en la planta, con lo cual se ve disminuido la fotosíntesis en la planta.

En lo que concierne al análisis de la fluorescencia, la variable de Fv y Fm conforman una variable la cual indica la condición de estrés en las plantas. La razón Fv/Fm es proporcional a la máxima eficiencia fotoquímica primaria en las hojas (Demming, Adams y Adams, 1992), y es una de las variables más estudiadas por numerosos autores (Bjorkman y Demming, 1987), que han encontrado buenas correlaciones entre este parámetro y el estrés.

En este trabajo hasta 5 cmol/Kg de NaCl, el valor de la relación Fv/Fm alcanzo los valores máximos, 0,806 promedio para todos los tratamientos. Estos valores fueron inferiores a 0,83, un valor considerado como óptimo para un gran número de especies (Bjorkman y Demming, 1987). Lo anterior refleja que las plantas de este ensayo presentaron estres por salinidad.

La falta de agua en hojas puede provocar fenómenos de foto inhibición (Bjorkman y Powles, 1984), ya que los procesos fotosintéticos pueden verse limitados por causas no estomáticas debido al déficit hídrico y la falta de radiación (Cornic, 1994). A medida que el potencial hídrico decrece se produce cierre estomático y la tasa fotosintética disminuye, y a valores de 60k/ha de Fósforo con 1,8-2,5 cmol/Kg NaCl se obtiene una Fv/Fm de 0,786, mostrando una evidente reducción de la eficiencia fotoquímica del PSII acorde a lo determinado en el análisis de varianza; indicando que hasta ese valor de estrés la reducción de la fotosíntesis puede ser debida principalmente a una limitación estomática en la difusión del dióxido de carbono (Abril y Henao, 1998).

Conclusión

Probablemente estos resultados indican que los efectos deletéreos de la salinidad sobre la permeabilidad de la membrana se pueden mitigar en gran parte por fertilización con Fósforo. Este finding está de acuerdo con Kaya *et al.* (20001a y 2001b), que mostró efectos similares en pepino, pimiento y tomate.

Las aplicaciones de Fósforo probablemente indica que puede restaurar las relaciones de agua normal de células vegetales, anulando los efectos de la salinidad.

Aplicación de Fósforo alivia los efectos adversos de alta salinidad sobre las plantas y la mejora de todos los parámetros mencionados anteriormente.

La variedad Berenjena C-015, por los resultados obtenidos mostro tolerancia a condiciones de salinidad en el suelo.

Bibliografía.

- Ashraf MY (1994) Breeding for salinity tolerance in plants. Critical Reviews in Plant Sciences 13: 17-42.
- Ashraf MY, Bhatti AS (2000) Effect of salinity on growth and chlorophyll content in rice. Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research. 43: 130-131.
- Aristizábal, M. (2003). Crecimiento y desarrollo de las plantas. En: Fisiología Vegetal. Universidad de Caldas, Colombia. Artes Gráficas Tizán Ltda., Manizales. pp 9 –21.
- Al-Karaki GN, Clark RB, Sullivan CY (1996) Phosphorus nutrition and stress effects on proline accumulation in sorghum and bean. Plant Physiology 148: 745-751.
- Beadle, C.E. (1998). Analisis de crecimiento vegetal. En: Coombs, J.; Hall D. O.; Long, S. P. y Scurlock. J.M. (eds). Técnicas en fotosíntesis y bioproduktividad. Segunda edición. Editorial Futura S.A. México D.F. pp 17- 21.
- Cavusoglu, K., S. Kilic y K. Kabar. 2008. Effects of some plant growth regulators on leaf anatomy of radish seedlings grown under saline conditions. Journal of applied biological sciences 2: 47- 50.
- Cardona, C. E., Araméndiz, H., & Barrera, C. J. (2009). Modelo para Estimación de Área Foliar en Berenjena (*Solanum melongena* L) Basado en Muestreo no Destructivo. Temas Agrarios, 14(2).
- Chacón SMI, Pickersgill B, Debouck DG. 2005. Domestication patterns in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and the origin of the Mesoamerican and Andean cultivated races. Theoretical and Applied Genetics 110(3):432-444.
- Demming-Adams, B & Adams, W; 1992. Photoprotection and other responses of plants to high light stress, Ann. Rev. Plant Phisiology. Plant Mol. Biol. 43: 599-626.

- Garcia, M y P. Garzon. (2009). Efecto del estrés salino sobre la anatomía de los protofilos en 2 genotipos de frijol (*Vigna unguiculata*) en fase plantular. Memorias del XVII congreso venezolano de botánica (en formato digital). Universidad Centrooccidental “Lisandro Alvarado”. Barquisimeto. Venezuela.
- FAO. (2000). Global network on integrated soil management for sustainable use of salt-affected soils. Rome, Italy: FAO Land and Plant Nutrition Management.
- Karimi, E., A. Abdolzadeh y H. Zadehghipour. 2009. Increasing salt tolerance in olive *Olea europaea* L. plants by supplemental potassium nutrition involves changes in ion accumulation and anatomical attributes. *International journal of plant production* 3: 49-60.
- MUNNS, RANA; GOYAL, SHAM S.; PASSIOURA, JOHN. 2005. Salinity stress and its mitigation. University of California, Davis. 19 p.
- TANWAR, B. S. 2003. Saline water management for irrigation. International Commission on irrigation and drainage. New Delhi, India. 140 p.
- Volkmar KM, Hu Y, Steppuhn H (1998) Physiological responses of plants to salinity: a review. *Can. J. Plant Sci.* 78: 19-27.

REVISIÓN CADMIO EN CACAO (*Theobroma cacao*)

Lizeth Lorena Muñoz Villareal⁷, Diego Alejandro Londoño Puerta⁸, Álvaro Alean Vásquez⁹

Resumen

El cultivo de cacao ha tenido gran acogida en mercados internacionales y Colombia, dentro de los países latinoamericanos, tiene un gran potencial para la producción y exportación del grano fino de sabor y aroma. Antioquia en los últimos años ha crecido, tanto en área sembrada como en producción, ubicándose como el segundo departamento más productor, después de Santander. Una de las grandes limitantes que se tienen a nivel mundial en las zonas productoras de cacao, es el Cadmio (Cd), este metal pesado que se encuentra naturalmente en el suelo es absorbido por las plantas de cacao y acumulado en raíces, tallos, hojas y frutos, este último el producto de interés económico para los productores de cacao. El consumo del cadmio puede producir daños para la salud humana, para reducir la exposición, la Unión Europea (UE) en 2014 anunció los niveles máximos permitidos para el cadmio en los productos de cacao y chocolate que se venden en la UE. Esto se ha aplicado a partir del 1 de enero de 2019. Para conocer y entender el contexto mundial, nacional y regional de la producción de cacao, además de conocer la naturaleza, disponibilidad y absorción del cadmio en agroecosistemas cacaoteros, además de su legislación para la exportación del grano de cacao, se planteó la presente revisión bibliográfica, enmarcada en la fase 1 del proyecto “Identificación de los niveles de cadmio en agroecosistemas cacaoteros en la subregión de Urabá”.

Abstract

The crop of cocoa has had great reception in international markets, and Colombia within Latin American countries, has great potential for the production and export of fine grain flavor and aroma. Antioquia in recent years has grown, both in planted area and in production, ranking as the second most producing department, after Santander. One of the major limitations that have worldwide in cocoa producing areas, is cadmium (Cd), this heavy metal that is naturally found in the soil is absorbed by cocoa plants and accumulated in roots, stems, leaves and fruits, the latter the product of economic interest for cocoa producers. Cadmium consumption can cause damage to human health, to reduce exposure, the European Union (EU) in 2014 announced the maximum levels allowed for cadmium in cocoa and chocolate products sold in the EU. This has been applied as of January 1, 2019. To know and understand the global, national and regional context of cocoa production, in addition to knowing the nature, availability and absorption of cadmium in cocoa agroecosystems, in addition to its legislation for The export of cocoa beans, this bibliographic review was considered, framed in phase 1 of the project “Identification of cadmium levels in cocoa agroecosystems in the Urabá subregion”.

Breve historia del cacao.

El origen de esta especie es probablemente la región amazónica (cuenca alta del río Amazonas) y comprende países como Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Brasil. En esta región es donde se presenta la mayor variación de la especie. Se extendió de Sudamérica hasta México, pero no se sabe si su dispersión ocurrió naturalmente o con la ayuda del hombre. Sigue siendo un misterio el cómo llegó a Centro América, donde se ha cultivado por lo menos durante 3,000 años. El cacao se llevó de

⁷ Químico, M.Sc. (e), Gestora de Laboratorio SENNOVA Complejo Tecnológico Agroindustrial, Pecuario y Turístico, Apartadó, Antioquia. llmunozv@sena.edu.co

⁸ Ingeniero Agropecuario M.Sc., Líder SENNOVA Complejo Tecnológico Agroindustrial, Pecuario y Turístico, Apartadó, Antioquia. dalondonop@sena.edu.co

⁹ Químico, Técnico de Laboratorio SENNOVA Complejo Tecnológico Agroindustrial, Pecuario y Turístico, Apartadó, Antioquia. alvaroalean@hotmail.com