

**RESULTADOS PRELIMINARES SOBRE TOXICIDAD CAUSADA POR
MANGANESO, HIERRO Y ALUMINIO EN UVILLA *Physalis peruviana* L.,
BAJO CONDICIONES HIDROPÓNICAS.***

**PRELIMINARY RESULTS ON CAUSED TOXICITY FOR MANGANESE,
IRON AND ALUMINUM IN UVILLA *Physalis peruviana* L., UNDER
HYDROPONIC CONDITIONS. ***

Deiby Alejandro Yela O. ¹

Yuri Andrés Paredes M. ¹

Alberto Unigarro S. ²

RESUMEN

La uvilla *Physalis peruviana* L., tiene importancia en Colombia por su potencial para la exportación como fruta fresca. El área de cultivo de uvilla en Nariño es de 32 hectáreas, con una producción total de 420 toneladas/año. La experiencia demuestra que existe el riesgo que se presenten deficiencias y/o toxicidades minerales en nuevas plantaciones. Esta investigación se desarrolló bajo condiciones controladas de invernadero, con el objetivo de identificar los posibles síntomas asociados con toxicidad de Mn, Fe y Al, en plántulas de uvilla, además de realizar evaluaciones comparativas de parámetros de crecimiento y sintomatología de las plantas afectadas por toxicidad de Mn, Fe y Al, bajo condiciones hidropónicas. Para este trabajo, se empleó un sistema hidropónico como medio para simular toxicidades minerales de Mn, Fe y Al en esta especie, aumentando la concentración del elemento a evaluar (toxicidad) al 10% de la solución nutritiva testigo. Este trabajo mostró que los síntomas asociados a toxicidad causada por Mn fueron pocas raíces de color grisáceo, crecimiento lento y escaso vigor. Para Fe pocas raíces y de color pardo ó anaranjado, bajo crecimiento y defoliación severa. Para Al escaso sistema radicular con poca presencia de pelos radiculares y raíces engrosadas,

* Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto-Colombia. 2010

¹ Estudiantes. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto-Colombia. E-mail: alejandroyelaobando@gmail.com y yurioso_25@hotmail.com

² Profesor Asistente I.A M.Sc. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto-Colombia. E-mail: unilab61@gmail.com

con relación al testigo. Se concluyó que los síntomas en la parte aérea de la planta son escasamente visibles a diferencia de los síntomas presentados en la parte radicular donde estos fueron notorios.

Palabras claves: Síntomas, raíces, parámetros de crecimiento.

ABSTRACT

The cape gooseberry *Physalis peruviana* L., is important in Colombia because of its potential for export as fresh fruit. The area under cultivation in Nariño, with a total production of 420 tones / year. The experience demonstrates that the risk that deficiencies and/or mineral toxicities are presented in new plantations exists. This research was conducted under controlled conditions in greenhouse. With the aim of identifying the symptoms associated with toxicity of Mn, Fe and Al, seedlings of Cape gooseberry, benchmarking addition of growth parameters and symptoms of the plants affected by toxicity of Mn, Fe and Al, under hydroponic conditions. In this work, we used a hydroponic system as a means to simulate mineral toxicities of Mn, Fe and Al in this species, increasing the concentration of element to evaluate (toxicity) to 10% of the nutrient solution control. This study showed that symptoms associated with toxicity caused by Mn were few gray roots, slow growth and poor vigor. This study showed symptoms associated with that caused by Mn toxicity few were gray roots, Slow Growth and little vigor. For Fe few roots and brown - orange, low growth and severe defoliation. For Al small root system with little presence of root hairs and thickened roots, with the control. It was concluded that the symptoms in the aerial part of the plant are barely visible as opposed to the symptoms presented at the root where they were outstanding.

Key Words: Symptoms, roots, parameters of growth.

INTRODUCCIÓN

La uvilla *Physalis peruviana* L., pertenece a la familia de las solanáceas, de crecimiento arbustivo, cuenta con una raíz fibrosa que se ha encontrado a más de 60 cm de profundidad en el suelo, posee un tallo algo quebradizo de color verde, con vellosidades

de textura muy suave al tacto. Las hojas son enteras, similares a un corazón, pubescentes y de disposición alterna. Las flores son hermafroditas de cinco sépalos y cinco pétalos, con una corola amarilla y de forma tubular. El fruto es una baya carnosa en forma de globo, con un diámetro entre 1,25 y 2,5 cm y con un peso entre 4 y 10 gramos (Almanza y Fischer, 1993). La variedad de uvilla que se siembra actualmente en Colombia es originaria de los Andes Suramericanos específicamente de Perú, perteneciente a la especie *Physalis peruviana* L. y se caracteriza por tener altos contenidos de vitamina A y C, hierro y fósforo. En Colombia se empezó a conocer como cultivo comercial desde la década de los ochenta cuando este producto comenzó a tener acogida en los mercados internacionales (CCI, 1999).

Según la CCI (2002), la uvilla ha adquirido gran importancia en Colombia por su potencial para la exportación como fruta fresca, siendo el principal destino Europa, destacándose Alemania y Holanda con más del 60% de la demanda, generando divisas por varios millones de dólares al año. Esta dinámica y el monto de exportación que ha alcanzado la uchuva, la convierte en una de las principales frutas de exportación en la categoría de promisorios y diferentes de las tradicionales como banano y plátano (MADR y CCI, 2006). Igualmente, su consumo interno se ha venido incrementando debido a que el consumidor nacional ha tenido oportunidad de conocer nuevos productos que le satisfacen sus gustos y por el aporte de vitaminas y minerales.

Colombia se ubica en el primer lugar de producción mundial de uchuva, seguido por Sudáfrica, según estadísticas del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; el cultivo de uvilla ha crecido aceleradamente en los últimos años. El área cosechada entre 1998 y 2003 creció a una tasa promedio anual del 38%, pasando de 58 hectáreas cosechadas en 1998 a 533.5 hectáreas en el año 2003. La mayor área cosechada de uchuva en Colombia se encuentra en el departamento de Cundinamarca, con 464 hectáreas, equivalentes al 87% del total de área cosechada en el país en 2003. En el año 2003 los registros de los cultivos de uvilla en los departamentos del Valle del Cauca y Boyacá, con áreas de 15 y 41 hectáreas, respectivamente, que equivalen al 10.5% del área cosechada en el país. Según la Secretaria de Agricultura de Nariño, (2006), el área dedicada al cultivo de la uvilla en el departamento fue de 32 hectáreas, distribuidas en

los municipios de Puerres y Yacuanquer, con 22 y 10 hectáreas, respectivamente, con una producción total de 420 toneladas anuales. Pero inevitablemente, los problemas de fertilidad en el suelo aparecerán en estas nuevas plantaciones, ya que la experiencia demuestra que, cuando se establecen plantaciones puras, surgen problemas de deficiencias y/o toxicidades minerales en ellas, (Chamorro, 2001), y al ser Colombia un país mayoritariamente húmedo, el exceso de precipitación lava o lixivía las bases que están en el suelo y cationes tales como calcio, magnesio, potasio. Cuando estos elementos son eliminados los suelos pasan a tener condiciones ácidas con un incremento concomitante de cationes metálicos (Al^{+3} , Fe^{+3} , Mn^{+4}) que pueden sufrir hidrólisis ácida. Esta hidrólisis produce en el suelo un pH ácido (Zapata, 2004), fenómenos que afectan de diferente manera a las plantas en etapa de establecimiento.

Existen diferentes métodos para diagnosticar las deficiencias y toxicidades de las plantas, entre las que se incluyen, análisis químicos de suelos y tejidos de las plantas, la experimentación en invernadero como en el campo y el reconocimiento de los síntomas visibles de las toxicidades minerales y la forma como lo afectan, que es la metodología desarrollada en esta investigación.

Por la importancia agronómica y económica para los agricultores del departamento de Nariño que representa el cultivo de uvilla y la poca investigación sobre el comportamiento como cultivo, desarrollo fisiológico, prácticas agronómicas y conocimiento de los requerimientos nutricionales, se planteó el presente trabajo de investigación con los siguientes objetivos: evaluar en el cultivo de uvilla, los efectos de la toxicidad causada por manganeso, hierro y aluminio, bajo condiciones controladas y realizar una descripción de la posible sintomatología de las plantas afectadas por dicha toxicidad.

METODOLOGÍA

La investigación se realizó en condiciones controladas bajo invernadero, en el municipio de Pasto, departamento de Nariño. Para la obtención de las semillas, inicialmente, se seleccionaron frutos en óptimas condiciones físicas y libres de ataque

de patógenos, seguidamente, se realizó un macerado suave de los frutos a los cuales se les elimino la pulpa para separar las semillas y se secaron al ambiente por 3 días. La siembra se realizó en cubos de espuma de poliuretano de 2.5 cm de espesor en caja de germinación plástica y rejilla de soporte, sembrando 2 semillas por cada cubo, con el fin de garantizar la obtención de por lo menos 1 plántula por cubo. Estas plántulas se sembraron un bolsas plásticas con turba inerte, donde permanecieron un mes.

Para la investigación, se emplearon plántulas de un mes de edad las cuales fueron llevadas a recipientes de plástico de 1 litro de capacidad, pintados exteriormente de negro, para protegerlos de la luz y evitar la formación de algas. La provisión de oxígeno a los recipientes se hizo por aireación permanente a través de mangueras y capilares que se conectaron a un compresor. El aire se depuro a través de una trampa de agua colocada en el centro del mesón donde se instalaron los recipientes.

El traslado de las plántulas a los recipientes definitivos se realizó lavando las raíces con abundante agua y posteriormente poniéndole espuma alrededor del cuello de la plántula e introduciéndolas en uno de los agujeros que se hicieron en las tapas de los recipientes.

En los 24 recipientes utilizados se colocó la solución nutritiva Hoagland Número 1 (Finck, 1988) como fase adaptativa, en la cual las plantas permanecieron durante 30 días. La solución nutritiva se realizó de la siguiente manera:

Tabla 1. Composición de la solución nutritiva Hoagland 1 de macronutrientes y nutrientes secundarios.

Producto	Concentración de la solución patrón	ml de solución patrón/l de H₂O	Concentración final de solución nutritiva (ppm)
KNO ₃	1 M	6	84-NO ₃ ; 234-K
Ca(NO ₃) ₂ · 4 H ₂ O	1M	2	56-NO ₃ ; 80-Ca
MgSO ₄ · 7 H ₂ O	1M	1	24-Mg ; 32-SO ₄
KH ₂ PO ₄	1M	0.5	19-K ; 15.5-PO ₄
NaCl	1M	0.5	-----

Producto	Solución patrón g/l H₂O	ml de solución patrón/l de H₂O	Concentración final del micronutriente (ppm)
H ₃ BO ₃	2.86	1	0.5 B
MnCl ₂ . 4 H ₂ O	1.81	1	0.5 Mn
ZnSO ₄ . 7 H ₂ O	0.22	1	0.05 Zn
CuSO ₄ . 5 H ₂ O	0.08	1	0.02 Cu
Na ₂ MoO ₄ . 2 H ₂ O	0.025	1	0.01 Mo

Para prevenir el desarrollo de hongos, se preparó una solución de Tymol al 1 % y se adicionó a cada recipiente 1 ml.

Una vez superada la fase adaptativa del trabajo se procedió a la inducción de toxicidad de manganeso (Mn) hierro (Fe) y aluminio (Al), aumentando la concentración del elemento a evaluar al 10% de la solución nutritiva completa; además se consideró un tratamiento testigo (solución nutritiva completa). La solución para inducir toxicidad se preparó de la siguiente manera: 5 g FeSO₄. 7 H₂O/litro (0.05%/v). Concentración de Fe 1000 ppm. Se agregó 5 ml de esta solución por litro de solución nutritiva dos veces por semana (10 ppm de Fe en la solución nutritiva/semana).

Tabla 2. Solución nutritiva para el desarrollo de toxicidad de manganeso y aluminio

Producto	Solución patrón g/l H₂O	ml de solución patrón/l de H₂O	Concentración final en solución nutritiva (ppm)
MnCl ₂ . 4H ₂ O	3.6	30	30 Mn
AlCl ₃	3.6	20	20 Al

Las soluciones se prepararon con reactivos químicamente puros para lograr la máxima solubilidad posible. La renovación de las soluciones en todos los tratamientos se realizó cada 15 días y el pH se controló cada 3 días para mantenerlo a un valor de 4.5 +/- 0.5 las correcciones se hicieron con una solución de 0.1 N de NaOH o HCl.

La evaluación de la toxicidad en plantas de uvilla se realizó utilizando un diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos y seis repeticiones:

T1: solución nutritiva completa (testigo)

T2: solución nutritiva completa + hierro (toxicidad por hierro)

T3: solución nutritiva completa + manganeso (toxicidad por manganeso)

T4: solución nutritiva completa + aluminio (toxicidad por aluminio)

La ubicación de los tratamientos se realizó al azar. Para minimizar el efecto de borde se sortearon cada semana nuevas posiciones de cada uno de los tratamientos.

Variables evaluadas.

Absorción de la solución nutritiva: La absorción de la solución nutritiva por los tratamientos se midió con base en la pérdida del volumen original de 1 litro de la solución nutritiva. Se utilizó agua desionizada para reponer dicho volumen. Las reposiciones se hicieron dos veces por semana.

Altura de plantas: Para determinar esta variable cada 15 días se realizó la medición a partir del cuello de la raíz hasta la parte apical del tallo.

Peso de la materia seca de la parte aérea y de las raíces: a los 116 días después de iniciada la investigación, se dio por terminada la misma, se sacaron de los recipientes las 24 plantas y en cada una se procedió a separar la parte aérea de las raíces (cortando las plantas en el cuello de la raíz) cada una de las partes se colocaron individualmente en bolsas de papel, previamente marcadas, en una estufa a 70°C durante 72 horas, procediendo luego a determinar el peso seco de las muestras de la materia seca.

Sintomatología de toxicidad: La descripción sintomatología se efectuó periódicamente mediante seguimiento fotográfico de la evolución de síntomas y descripción de los cambios en la anatomía de las plantas.

Análisis experimental: Las variables se sometieron a un Análisis de Varianza; Para aquellas variables que presentaron diferencias estadísticas significativas, se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el periodo de investigación, los síntomas asociados a toxicidad no fueron fácilmente identificables para los elementos involucrados en el estudio, desde el punto de vista de lo que se tiene referenciado para otros cultivos con estos mismos elementos, sin embargo estadísticamente se evidenciaron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) (tabla 3), en la manifestación de las siguientes características morfológicas: altura de planta, peso de materia seca de raíz, peso de materia seca parte aérea y absorción de la solución nutritiva que evidencian de cierta forma la existencia de variaciones dependiendo del tipo de solución nutritiva aplicada.

Consumo de solución nutritiva. En la (figura 1), se observa como los consumos en las primeras evaluaciones fueron bajos y se incrementan para la mayoría al transcurrir el tiempo; comportamiento similar encontró Chamorro (2001), al evaluar síntomas de carencia de microelementos y toxicidades en laurel de cera bajo condiciones hidropónicas y Unigarro *et al.*, (2000) al evaluar la deficiencia de macroelementos y elementos secundarios en laurel de cera, bajo condiciones hidropónicas.

En el tratamiento solución nutritiva completa + hierro (toxicidad por hierro) se presentó la excepción ya que el consumo de la solución disminuyó a partir de la evaluación 12. Chamorro, (2001) manifiesta que los síntomas de carencia o toxicidad de hierro bajo condiciones hidropónicas en laurel de cera, se manifiestan por un reducido consumo de solución nutritiva, lo que concuerda con los resultados obtenidos en la presente investigación ya que los consumos de la solución nutritiva + hierro (toxicidad por hierro) presentaron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) (tabla 3), ya que su consumo fue evidentemente menor en comparación con los demás tratamientos (tabla 4).

El tratamiento solución nutritiva completa (testigo) presento diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) (tabla 3), este tratamiento tuvo el mayor consumo de solución nutritiva (tabla 5), este comportamiento lo explica Unigarro *et al.*, (2000) donde afirma que el consumo de solución se ve influenciado por factores internos de la planta entre los que se mencionan el tamaño de las hojas y la morfología de la raíz, entre otros; al no verse afectadas las raíces del testigo con las altas concentraciones de manganeso, hierro o aluminio no se atrofiaron y por lo tanto sus funciones no se perturbaron y el consumo de la solución fue normal.

Las plántulas desarrolladas en solución nutritiva completa + manganeso (toxicidad por manganeso) y plántulas desarrolladas en solución nutritiva completa + aluminio (toxicidad por aluminio) presentan diferencias estadísticas con los dos tratamientos antes descritos (testigo y toxicidad por hierro) (tabla 3), pero no presentan diferencias estadísticas entre sí (tabla 4), resultados similares obtuvo Chamorro, (2001) donde indica que el consumo de solución nutritiva no se vio afectado significativamente por el exceso de aluminio y/o manganeso en laurel de cera bajo condiciones hidropónicas.

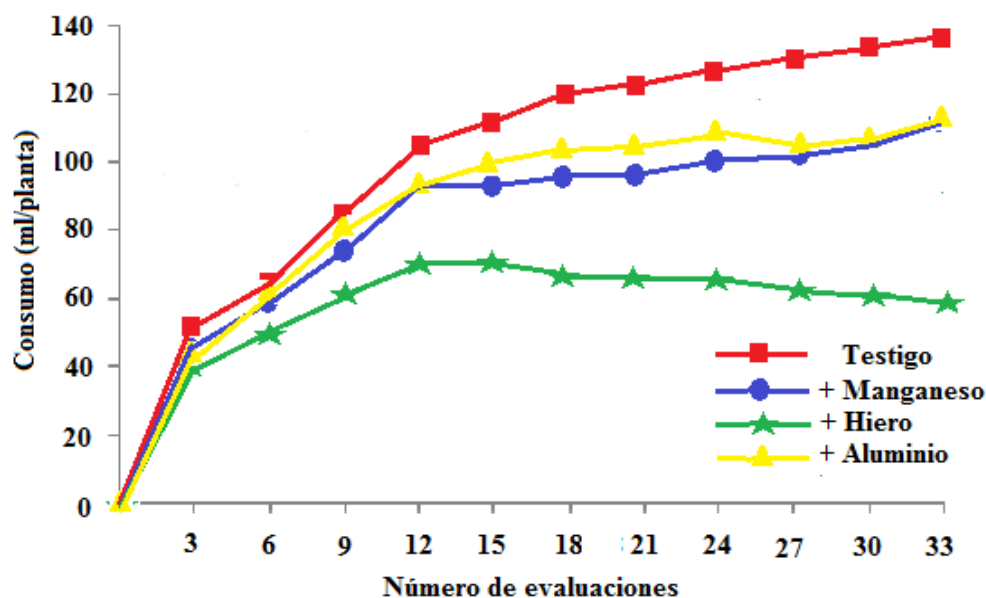


Figura 1. Consumo solución nutritiva obtenida al evaluar la toxicidad de manganeso, hierro y aluminio, bajo condiciones hidropónicas, en uvilla *Physalis peruviana* L.

Tabla 3. Análisis de varianza para el consumo de solución nutritiva, altura de plantas, materia seca de la parte aérea y materia seca de la raíz, obtenidos al evaluar la toxicidad de manganeso, hierro y aluminio, bajo condiciones hidropónicas, en uvilla *Physalis peruviana* L.

F. de V	gl	CUADRADOS MEDIOS				F Tab	
		Absorción solución nutritiva (ml)	Altura de planta (cm/planta)	materia seca parte aérea (g/planta)	materia seca raíz (g/planta)	5%	1%
Tratamiento	3	6103.82**	466.26**	15.51**	0.09**	3.10	4.94
Error	20	20.36	18.54	0.32	0.0033		
Total	23						
Coefficiente de variación		4.42	8.68	18.61	7.57		
Error experimental		1.8	3.55	7.65	3.07		

** Diferencias estadísticas altamente significativas

Tabla 4. Prueba de Tukey para el consumo de solución nutritiva, altura de plantas, materia seca de la parte aérea y materia seca de la raíz, obtenidos al evaluar la toxicidad de manganeso, hierro y aluminio, bajo condiciones hidropónicas en uvilla *Physalis peruviana* L.

TRATAMIENTOS	MEDIAS				TUKEY	
	Absorción solución nutritiva	Altura de planta	Materia seca raíz	Materia seca parte aérea	5%	1%
TESTIGO	132.5 C	59.67 C	0.93 C	5.34 C	3.96	5.02
+MANGANESO	110.33 B	51.67 B	0.72 AB	2.31 AB		
+HIERRO	57.17 A	38.33 A	0.63 A	1.67 A		
+ALUMINIO	108.5 B	48.83 B	0.77 B	2.84 B		

* Letras iguales no presentan diferencias estadísticas significativas.

Altura de plantas. En la (tabla 5) se observan los datos promedios por tratamiento. En general se observa un crecimiento continuo de las plantas a medida que transcurrieron las evaluaciones. En el tratamiento solución nutritiva completa + hierro (toxicidad por hierro) el crecimiento fue lento (tabla 4), lo que indica que la toxicidad causada por éste elemento, se manifiesta, entre otros síntomas, por inhibición del crecimiento de la parte aérea, éstos resultados son similares a los descritos por Devlin, (1970) y Chamorro, (2001) quienes atribuyen éste comportamiento a una retención en la síntesis de proteína y retraso en la división celular, lo que provoca una disminución en el tamaño de las células y especialmente en el ritmo de las divisiones.

El tratamiento solución nutritiva completa (testigo) presento diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) (tabla 3), este tratamiento tuvo la mayor altura de plantas (tabla 4), este comportamiento lo explica Kyrkby y Römheld, (2007) donde afirma que el crecimiento de las plantas es optimo cuando se encuentran todos los elementos esenciales para su desarrollo en la solución nutritiva, en un adecuado balance.

Las plántulas desarrolladas en solución nutritiva completa + manganeso (toxicidad por manganeso) y plántulas desarrolladas en solución nutritiva completa + aluminio (toxicidad por aluminio) presentan diferencias estadísticas con los dos tratamientos antes descritos (testigo y toxicidad por hierro) (tabla 3), pero no presentan diferencias estadísticas entre sí (tabla 4), lo que concuerda con lo dicho por Guerrero, (1998) donde la toxicidad causada por Al y Mn en frutales caducifolios limita el crecimiento radical y así mismo el crecimiento del árbol ya que la presencia de estos elementos en las raíces disminuye la extracción de otros elementos esenciales para el buen desarrollo de durazneros y manzanos. Gonzales, (1980) concluye que a altas concentraciones de manganeso en la solución nutritiva causa una disminución en el crecimiento de las plantas de frijol bajo condiciones experimentales.

Tabla 5. Datos promedios de seis repeticiones de la variable altura de planta.*

TRAT	VARIABLE	EVALUACIONES							
		1	2	3	4	5	6	7	8
TESTIGO	ALTURA	11.83	17.17	25.17	31.33	36.67	45.67	52.33	59.67
+ MANGANESO	(cm/planta)	12	16	21.16	25.83	30.67	37.83	44.5	51.67
+ HIERRO		11.33	15.67	18.83	22.50	25.33	30.17	34.17	38.33
+ ALUMINIO		11.67	16	20.33	24.33	28.33	35.17	41.83	48.83

* Datos obtenidos en 116 días de evaluación, realizando dos lecturas por semana.

Materia seca parte aérea y Materia seca de la raíz. En la (tabla 6), se observan los datos promedios obtenidos a los 116 días después de iniciada la investigación. Al realizar el análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Tukey (tabla 3) y (tabla 4), se encontró que el tratamiento toxicidad por hierro presento los más bajos niveles de biomasa para estas dos variables, estos resultados se asocian por la

defoliación y el crecimiento anormal de la parte aérea como de sus raíces de las plantas sometidas a esta toxicidad.

Los valores más altos del peso de la materia seca de la parte aérea y peso de materia seca de la raíz se encontraron en las plantas desarrolladas en la solución nutritiva completa; iguales resultados fueron encontrados por Chamorro, (2001) al evaluar síntomas de carencia de microelementos y toxicidades en laurel de cera bajo condiciones hidropónicas, resultados que se atribuyen al buen desarrollo de estas plantas en la solución nutritiva utilizada.

Para el tratamiento toxicidad por aluminio, se encontraron diferencias estadísticas significativas con los dos tratamientos anteriormente descritos (testigo y toxicidad por hierro) para las dos variables evaluadas. Estos resultados son explicables desde el punto de vista que las plantas evaluadas son más tolerantes a la toxicidad causada por aluminio que a la toxicidad causada por hierro, Salinas y Gourley, (1990) manifiestan que en varios estudios realizados tanto en condiciones de campo o utilizando soluciones nutritivas en el invernadero se han encontrado diferencias varietales en la respuesta del arroz a la toxicidad del aluminio.

En el caso de toxicidad causada por altas concentraciones de manganeso se encontró que no presenta diferencias estadísticas significativas con los tratamientos toxicidad por hierro y toxicidad por aluminio con respecto a las variables peso de la materia seca de la parte aérea y peso de materia seca de la raíz pero si en comparación con el testigo; esto se puede explicar con lo manifestado por Edwards y Asher, (1982) donde la toxicidad de Manganeso, a diferencia de la deficiencia no se restringe a un estrecho rango crítico de concentración, cita también valores de 200 ppm en maíz y 5300 ppm en girasol asociados a una reducción del 10% en el rendimiento en materia seca.

Tabla 6. Datos de la materia seca de la parte aérea y raíces obtenidos al final del periodo de evaluación, al estudiar la toxicidad de manganeso, hierro y aluminio, bajo condiciones hidropónicas en uvilla *Physalis peruviana* L.

TRATAMIENTO	VARIABLE	REPETICIONES					
		1	2	3	4	5	6
Testigo	MATERIA SECA	4,29	4,71	5,41	5,29	6,81	5,54
+Manganeso	DE LA PARTE	2,59	2,89	1,9	2,2	2,08	2,22
+Hierro	AEREA	1,58	1,91	1,47	1,69	1,35	2
+Aluminio	(g/ planta)	3,32	3,32	2,07	2,07	3,08	3,16
Testigo	MATERIA SECA	0,87	0,95	0,91	0,85	1,02	0,95
+Manganeso	DE LA RAIZ	0,71	0,75	0,71	0,72	0,63	0,78
+Hierro	(g/ planta)	0,65	0,72	0,56	0,61	0,62	0,59
+Aluminio		0,82	0,78	0,74	0,67	0,77	0,84

Datos obtenidos a los 116 días de evaluación.

Síntomas visuales de toxicidad de manganeso, hierro y aluminio. Las plantas desarrolladas en la solución nutritiva completa (testigo) presentaron el mejor comportamiento en las características morfológicas evaluadas: altura de planta, peso de materia seca de raíz, peso de materia seca parte aérea y absorción de la solución nutritiva lo que evidencia, de cierta forma, que la solución nutritiva empleada fue la adecuada.(figura 2) que según lo manifiestan Weston y Zandstra, (1989) el estado nutricional de la plántula es de gran importancia si se considera que esta característica tiene relación directa con la capacidad productiva de las plántulas.



Figura 2: Desarrollo de las plántulas de uvilla en solución nutritiva Hoagland Numero 1(testigo)

Síntomas de toxicidad por manganeso. Las plántulas desarrolladas en la solución nutritiva + manganeso (toxicidad por manganeso) presentaron un menor número y densidad de raíces, comparándolas con el testigo, además, presentaron un color grisáceo anormal (figura 3).



Figura 3: Diferencia entre raíces del testigo (solución nutritiva completa) (izquierda) y el tratamiento solución nutritiva + manganeso (toxicidad por manganeso) (derecha)

El crecimiento de la parte aérea de las plantas en este tratamiento fue más lento y con un menor vigor, comparado con las plantas del tratamiento solución nutritiva completa, (figura 4) lo cual coincide con los resultados obtenidos por Gonzales, (1980) quien encontró una disminución en el crecimiento de las plantas de frijol a una concentración alta de manganeso en la solución nutritiva. Según Mengel y Kirkby, (1987) los síntomas de toxicidad se caracterizan generalmente por manchas pardas de MnO_2 en las hojas maduras, rodeadas de zonas cloróticas. En manzano la toxicidad de manganeso se manifiesta con clorosis en las hojas, caída prematura de estas, reducción en la formación de yemas florales, reducción en el crecimiento, y una necrosis interna en la corteza (Guerrero, 1998). Según Domínguez, (1997) niveles excesivos de manganeso en la planta resultan tóxicos, produciendo síntomas tales como moteado marrón de las hojas más viejas y distribución desigual de la clorofila, con frecuencia se observa clorosis en los bordes de las hojas, también pueden aparecer puntos necróticos en los peciolo y los nervios de las hojas; de los síntomas anteriormente descritos solo se evidenció la

reducción del crecimiento, el resto de síntomas no corresponden a los encontrados en el presente estudio.



Figura 4: Plantas con menor crecimiento y vigor en el tratamiento solución nutritiva + manganeso (toxicidad por manganeso)

Síntomas de toxicidad por hierro. Las raíces de las plantas de uvilla afectadas por toxicidad de hierro, presentaron un color pardo ó anaranjado y menor cantidad de raíces funcionales (figura 5), síntomas similares describen Dobermann y Fairhurst, (2000) quienes afirman que la toxicidad causada por hierro, causa un sistema radicular grueso y escaso cubierto por una capa superficial de color pardo oscuro a negro.



Figura 5: las raíces presentan un color pardo rojizo

Para la evaluación final de síntomas para toxicidad por hierro o anaranjamiento en raíces de arroz el CIAT, (1983) propone la aplicación de la siguiente escala para evaluar el color de las raíces (tabla 7). Según esta escala las plantas evaluadas se ubicaron en el índice 3 raíces de color rojizo. Según Domínguez, (1997) los síntomas comienzan con la aparición de manchas marrones pequeñas en las hojas, que después se extienden a toda la hoja, estos síntomas no corresponden a los encontrados en el presente estudio

Tabla 7. Escala para evaluar el color de las raíces con toxicidad causada por hierro en arroz.

índice	síntoma
0	raíces blancas normales
1	raíces blancas casi normales
3	raíces de color rojizo
5	raíces de color rojo
7	raíces de color rojo, algunas de color negro en descomposición
9	la mayoría de raíces de color negro y en descomposición

Con relación a la altura de las plantas, se presentó un bajo crecimiento (enanismo) y menor vigor con relación a las plantas en la solución nutritiva completa (figura 6), coincidiendo con los síntomas descritos por Moreno, (2007) para los síntomas producidos por toxicidad generada por hierro en elementos nutritivos asimilación, funciones, toxicidad e indisponibilidad en los suelos; sin embargo, difieren de los síntomas en el follaje donde solo se presentó defoliación severa.



Figura 6: Diferencia de altura entre el tratamiento con solución nutritiva completa y el tratamiento con solución nutritiva completa + hierro (toxicidad por hierro)

Síntomas de toxicidad de aluminio. Las plántulas al crecer en presencia de solución nutritiva + exceso de aluminio (toxicidad por aluminio) presentaron un desarrollo escaso del sistema radicular con poca presencia de pelos radiculares y raíces engrosadas (figura 7), lo cual es similar a lo reportado por Jungjohann *et al.*, (1997) quienes encontraron que el efecto del aluminio se manifestó más claramente como un menor crecimiento y desarrollo del sistema radicular en plantas de trigo a diferencia del normal desarrollo de las raíces del tratamiento con la solución nutritiva completa. Según Espinosa (2001) el exceso de aluminio interfiere la división celular en las raíces de la planta y esta es la razón por la cual el sistema radicular de plantas creciendo en suelos ácidos es atrofiado y pobremente desarrollado. Rodríguez *et al.*, (1986), al evaluar la toxicidad del aluminio en soluciones nutritivas en cultivares de sorgo *Sorghum bicolor l. moench*, reporta que ésta toxicidad se refleja en un crecimiento reducido del follaje y especialmente de las raíces.



Figura 7: Obsérvese el escaso desarrollo radicular y raíces engrosadas.

El crecimiento de las plantas en este tratamiento fue más lento, con caída de las hojas bajas con relación a las plantas en la solución nutritiva completa, (figura 8) cuyo síntoma es similar a lo reportado por Salinas y Gourley, (1990) en sorgo para suelos ácidos donde la toxicidad causada por éste elemento se manifiesta, como plantas atrofiadas y muerte de hojas viejas, amarillamiento severo.



Figura 8: Nótese el crecimiento más lento y caída de hojas bajas en el tratamiento solución nutritiva + aluminio (toxicidad por aluminio) en comparación al testigo.

CONCLUSIONES

El tratamiento solución nutritiva completa (Testigo) fue el que mejor se comportó en todas las características morfológicas evaluadas: altura de planta, peso de materia seca de raíz, peso de materia seca parte aérea y absorción de la solución nutritiva lo que evidencian que la solución nutritiva aplicada fue la adecuada para este experimento.

Los síntomas de toxicidad causados por altas concentraciones de manganeso en uvilla se manifiestan por presentar raíces de un color grisáceo y menor cantidad de raíces funcionales, el crecimiento de las plantas en este tratamiento fué más lento y con un menor vigor.

Los síntomas de toxicidad causados por altas concentraciones de hierro en uvilla se manifiesta por presentar raíces de un color pardo ó anaranjado y menor cantidad de raíces funcionales además de una defoliación severa y menor vigor reflejado en un bajo crecimiento (enanismo).

Los síntomas de toxicidad causados por altas concentraciones de aluminio en uvilla se manifiestan por un escaso sistema radicular con poca presencia de pelos radiculares y raíces engrosadas y un menor vigor en el crecimiento, con caída de las hojas bajas.

Al presentarse la toxicidad por hierro, manganeso y aluminio se evidenciaron posibles antagonismos con otros elementos como calcio, magnesio, fósforo y potasio, los cuales fueron bloqueados impidiendo su correcta absorción.

BIBLIOGRAFÍA

Almanza, J. y G. Fischer. 1993. La uchuva (*Physalis peruviana* L.) una alternativa promisoriosa en zonas frías de Colombia. En: *agronomía tropical* No 1.

Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 1983. Sistema de evaluación estándar para arroz, 2a, ed. Manuel Rosero (traductor y adaptador). Cali, Colombia. 39 p.

Corporación Colombia Internacional (CCI). 1999. Dinamizar las exportaciones, la clave del crecimiento sectorial. En: *Exótica* No 12. Octubre ó Diciembre.

Corporación Colombia Internacional (CCI). 2002. Perfil del producto (uchuva). Boletín No. 13 Bogotá-Colombia. 12 p.

Chamorro, J. 2001. Síntomas de carencia de microelementos y toxicidades minerales en laurel de cera (*Myrica pubescens* H. & B. ex Willdenow) bajo condiciones hidropónicas. Tesis de grado Especialista en Ecología con énfasis en Gestión Ambiental, Universidad de Nariño, Vicerrectoría de Investigaciones, Postgrados y Relaciones Internacionales, Universidad de Nariño. Pasto. 116 p.

Devlin, R. 1970. *Fisiología Vegetal*. Trad. Por Xavier Limona. Barcelona, Omega, 614 p.

Dobermann, A. y T. Fairhurst. 2000. *Nutrient disorders & nutrient management*. Potash and phosphate institute and international rice research institute.

González, M. 1980. Respuesta de la planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L) a cantidades variables de manganeso en el substrato. *Agronomía costarricense*. 4(1): 83-88.

- Domínguez, A. 1997. Tratado de fertilización, tercera edición. Madrid-España. Mundi-prensa, 613 p.
- Edwards, D. y C. Asher. 1982. Tolerance of crop and pasture species to manganese toxicity. Proc of the 9th inter. Plant Nutrition Colloq. Commonwealth Agricultural Bureau 145-150.
- Espinosa, J. 2001. Fertilidad de suelos diagnostico y control. 2a, ed. Bogotá, D.C ó Colombia. Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo. 528 p.
- Finck, A. 1988. Fertilizantes y fertilización. Barcelona, España. Revertes, S.A. 425p.
- Guerrero, R. 1998. Fertilización de cultivos en clima frio. 2a, ed. Santafé de Bogotá-Colombia. Monómeros Colombo Venezolanos 425 p.
- Jungjohann, J. L; Longeri. y I, Vidal. 1997. Tolerancia diferencial de cultivares de trigo al aluminio. En: Agricultura Técnica. Volumen 57 número 3. Chile, Julio- Septiembre. 169-176.
- Kirkby, E. y V. Römheld. 2007. Micronutrients in plant physiology: functions, uptake and mobility. Proceedings 543, The International Fertilizer Society, P. O. Box, York, YO32 5YS, United Kingdom.
- Mengel, K. y E. Kirkby. 1987. Principios de Nutrición Vegetal, Cuarta Edición, Madrid-España, International potash institute, 692 p.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia y CCI. 2006. Sistema de inteligencia de mercados: información de monitoreo internacional. En: http://www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/2006427154348_uchuvamarzo.pdf
- Moreno, A. 2007. Elementos nutritivos asimilación, funciones, toxicidad e indisponibilidad en los suelos. Edición libros en red. 104 p.
- Rodríguez, H; R. Ramírez, y J. Williams. 1986. Respuesta de cultivares de sorgo (*sorghum bicolor l. Moench*) a la toxicidad del aluminio en soluciones nutritivas. En: Agronomía Tropical. Volumen 36 números 4-6. Maracay-Venezuela, Julio-Diciembre. 89-96.

Salinas, J. y L. Gourley. 1990. Sorgo para suelos ácidos. 358 p. En: Memorias de un taller sobre la evaluación del sorgo por su tolerancia a los suelos tropicales de América latina que contienen aluminio tóxico. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Cali-Colombia, mayo 28 a junio 2.

Secretaría de Agricultura de Nariño. 2006. Consolidado agropecuario 2006, Primera edición, Pasto, Editar, 165p.

Unigarro, A; J. Muñoz, J. Téllez, y L. Erazo. 2000. Síntomas de deficiencia de macronutrientes y nutrientes secundarios en aliso (*Alnus jorullensis HBK*) y laurel de cera (*Myrica pubescens Humb. & Bomp. Ex Will*). Universidad de Nariño, Vicerrectoría de Investigaciones, Postgrados y Relaciones Internacionales, Universidad de Nariño. Pasto. 166 p.

Weston, L. y B. Zandstra. 1989. Transplant age and N and nutrition effects on growth and yield of tomatoes. HortScience 24: 88-90.

Zapata. R. 2004. Química de la acidez del suelo, Primera edición, Medellín, Colombia. 207 p.