

Efecto del uso de agua residual tratada y soluciones nutritivas sobre el contenido de nutrientes en frijol *Vigna unguiculata* (L.) Walp cultivado en hidroponía

Graciela Quintero¹, Atilio Higuera^{2*}, Daisy Isea³, Luis Vargas³, Edith Blanco³
y José Delgado³

¹Ingeniera Química egresada de la Facultad de Ingeniería. LUZ.

²Departamento de Agronomía. Facultad de Agronomía. LUZ.

³Centro de Investigación del Agua (CIA). Facultad de Ingeniería. LUZ. Maracaibo, Venezuela.

Recibido: 09-09-04 Aceptado: 05-05-05

Resumen

Para evaluar el efecto del agua residual tratada (ART) proveniente de lagunas de estabilización sobre el contenido de nutrientes en raíces, parte aérea y semillas de frijol, se realizó un ensayo con ocho tratamientos: agua residual tratada, agua potable, solución nutritiva N° 2 de Hoagland y Arnon y solución nutritiva de Shive modificada por Evans a concentraciones de 33, 66 y 100%. El diseño estadístico empleado fue un completamente aleatorizado con cinco repeticiones por cada tratamiento. Los datos fueron analizados mediante el paquete S.A.S. El análisis estadístico reveló diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre los tratamientos para las variables estudiadas. Las plantas tratadas con ART presentaron deficiencias de Ca, Fe, K, Mg, Mn y N; así como también exceso de Cu, Na, P y Zn desarrollándose mejor que las plantas cultivadas con agua potable. Las soluciones nutritivas en sus diferentes concentraciones permitieron el desarrollo normal de la planta de frijol. Cuando se cultiva frijol de manera hidropónica, la tendencia de los elementos móviles es de concentrarse en la parte aérea de la planta y los inmóviles en la raíz. Es posible el uso del ART previamente caracterizada como fuente de nutrientes para el cultivo de frijol, ya que incrementa los valores de contenido de nutrientes en las semillas, igualando a los obtenidos con las soluciones nutritivas.

Palabras clave: Agua residual tratada; solución nutritiva; *Vigna unguiculata*.

Effect of treated wastewater and nutritive solutions on cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) nutrients cultivated by hydroponic system

Abstract

The effect of treated wastewater (T.W.) and nutritive solutions on nutrient content of roots, leaves, stems and cowpea seeds were measured. A trial was designed to test eight treatments: treated waste water, potable water, Hoagland and Arnon nutritional solution N° 2 and Shive nutritional solution modified by Evans to 33, 66 y 100%. A complete randomized design was used with five replications per treatment. Data was analyzed by S.A.S. Statistic analysis

* Autor para la correspondencia. E-mail: atiliohiguera@hotmail.com.

showed significant differences ($P \leq 0.05$) among treatments for all variables measured. Plants growing on treated waste water showed Ca, Fe, K, Mg, Mn y N deficiencies. Also, an excess of Cu, Na, P and Zn was detected, with a better growth than plants cultivated on potable water. Different nutritive solution concentrations showed a normal development of cowpea plants. Mobile elements were located at leaves and stems. No mobile elements were concentrated on roots. Treated waste water and nutritive solutions increased elements concentration on seeds in a similar way.

Key words: Nutritive solution; treated wastewater; *Vigna unguiculata*.

Introducción

El agua es un recurso fundamental para el desarrollo de la sociedad y de la vida. Para muchos países las políticas sobre el aprovechamiento de las aguas urbanas ha venido cambiando. Durante la época de la industrialización el hombre trató al recurso agua como un recurso natural renovable ilimitado y lo manejó con un sentido utilitario, desarrollándose grandes obras para captación, conducción y distribución (1).

La polución o contaminación ocasionada en el medio ambiente por los desechos del hombre en su proceso de industrialización, constituye en la actualidad una de las mas grandes amenazas para nuestros ecosistemas y civilizaciones (2).

Hoy día se observa con inquietud una serie de problemas relacionados con la disposición de los despojos líquidos provenientes del uso doméstico, comercial e industrial de las aguas de abastecimiento, de tal manera que puedan ser reutilizadas para la explotación pesquera, fines de recreación pública, ferti-irrigación, fuerza motriz o navegación (3, 4).

Las aguas residuales urbanas reciben alto contenido de metales pesados, cuya toxicidad es un factor a tener en cuenta en el proceso de maduración de procesos biológicos de estabilización (oxidación biológica en las lagunas de aireación y digestión anaeróbica, las cuales dependiendo de su procedencia, poseen características fisico-químicas y bacteriológicas que las hacen prove-

chables para ser utilizadas en la agricultura (5, 6).

Es de gran importancia vigilar el destino de los desechos industriales creando e instalando sistemas de tratamientos de aguas residuales que procesen los efluentes y para descontaminarlos y así darle un destino final (4).

Los tratamientos de aguas residuales son procesos físicos, químicos y biológicos mediante los cuales se realiza la remoción de parásitos, bacterias y virus patógenos, además de la remoción de materia orgánica y de nutrientes, lo cual se puede alcanzar en un sistema de lagunas de estabilización (7).

Para utilizar aguas con fines de riego es necesario determinar el contenido de sólidos totales y el porcentaje de iones de sodio en relación a las cantidades de calcio y magnesio; al igual que la presencia de elementos tóxicos (7, 8).

En 1998, el Centro de Investigación del Agua, (9) conjuntamente con el Instituto de Investigaciones Petroleras, adscritos a la Universidad del Zulia determinaron la factibilidad del uso de las aguas residuales provenientes de plantas de tratamiento para el riego de césped y jardines, teniendo en cuenta que los valores de salinidad se encuentran en el rango medio, por lo que se debe garantizar una fracción de lavado basada en las características del suelo y de la planta, ya que el sodio puede causar fitotoxicidad en el follaje de algunos cultivos por su absorción foliar.

En países como Egipto, Australia y Estados Unidos de América se han desarrollado grandes proyectos para la utilización de aguas residuales tratadas con fines agrícolas, tanto en legumbres como en cereales. En los últimos 10 años se ha aplicado entre 68.130 y 94.625 m³ por día de aguas residuales tratadas, a 1700 acres (7).

El Centro de Investigación del Agua, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad del Zulia posee lagunas de estabilización de aguas residuales en las que se realizan diferentes estudios para su posible aprovechamiento con fines agrícolas, dada la problemática existente con el recurso agua, en la ciudad de Maracaibo, ya que muchos productores de la zona utilizan el agua potable para regar cultivos (9). De esta manera, se evitaría que las descargas de aguas residuales crudas continúen ocasionando problemas de contaminación ambiental en el lago de Maracaibo al ser utilizadas como alternativa de riego de cultivos.

Bello (7) determinó en el año 2000 que los suelos sometidos a riego con aguas residuales tratadas ofrecen una adecuada movilidad de los metales, lixiviando los elementos que podrían ser nocivos para las plantas o el ser humano, además de acumular los nutrientes tanto en solución como en formas asimilables para las plantas. Las características físico químicas de las aguas residuales del sistema de lagunas de estabilización del Centro de Investigación del Agua cumplen con los requerimientos para utilizarse como aguas destinadas al riego.

Según Cabrera y Bravo en 1999, citado por Sánchez (10), la hidroponía es la forma de cultivar plantas sin usar suelo, pero con el uso o no de medio inerte y de una solución que contenga todos los elementos esenciales necesarios para el desarrollo de una planta que asegure una producción de óptima de calidad en un espacio mínimo e independiente de las condiciones climáticas. Estos autores también señalan que la carencia de las cantidades necesarias de elementos

esenciales para el crecimiento de las plantas, tales como vitaminas, proteínas y minerales es factor obligante para buscar alternativas de alimentación asequible y justificable a la realidad socioeconómica sentida por los diferentes pobladores de muchos países del mundo.

Sánchez en 1991 (10) estudió la factibilidad, rentabilidad de la utilización de aguas residuales cultivando tomate en hidroponía. Los frutos de tomate se desarrollaron normalmente y de acuerdo con los análisis biológicos, químicos y físicos se determinó que los frutos eran aptos para el consumo humano con alto contenido nutricional. Del análisis beneficio costo para este cultivo, dicho autor concluye que la hidroponía con aguas residuales representa un beneficio mayor que la hidroponía tradicional, en el orden de un 10 %, por lo que la hidroponía con aguas residuales representa una solución viable y económica al compararse con los altos costos generados por el uso de fertilizantes inorgánicos.

La utilización de la hidroponía en el caso del presente estudio se realizó para obtener suficientemente información sobre los elementos nutritivos que forman parte de la planta de frijol *Vigna unguiculata* (L.) Walp., a nivel de raíces, parte aérea (tallos, hojas y flores) y fruto o semillas (11).

Desde el punto de vista nutricional, la solución nutritiva representa el componente más importante en un sistema hidropónico, puesto que suplirá no solamente todos los nutrientes que la planta requiere para su normal desarrollo, sino también toda el agua requerida durante todo el ciclo de vida del cultivo (12-13).

Numerosas formulaciones de soluciones nutritivas se han diseñado a partir de estudios sobre la composición de las plantas y de otros estudios en la que se administraron diversas concentraciones de elementos a plantas en crecimiento, tales como las soluciones de Hoagland y Arnon (1950) y la de

Shive modificada por Evans (1953), citadas por Salisbury (14) en el año 1994.

En Venezuela, el frijol se ha considerado tradicionalmente como un cultivo de subsistencia para la población campesina quienes lo siembran en pequeñas extensiones, bien sea solo o en asociación con otros cultivos, como maíz, yuca o frutales. La mayoría de los pequeños productores siembran este rubro para el autoconsumo, con la semilla seleccionada de la cosecha del año anterior, con un bajo nivel de aplicación de tecnología (5).

El uso de riego para producir frijol es una práctica que apenas comienza a ser establecida y se aplica generalmente en los campos de producción de semilla certificada (5). Muchos productores durante la época de sequía producen semilla utilizando agua de riego, proveniente de pozos perforados o de la tubería que surte de agua potable a la ciudad de Maracaibo, compitiendo de esta manera con el consumo urbano (8). El riego con aguas residuales podría ser una alternativa para realizar este tipo de actividad, ya que el frijol posee un ciclo de vida de aproximadamente de 70 días, lo que facilita la observación de respuestas en el rendimiento de dicho cultivo al utilizar aguas residuales ricas en nutrientes.

Con este trabajo se pretende evaluar la potencialidad del agua residual tratada como fuente de nutrientes en frijol cultivado en hidroponía y estudiar su efecto sobre el desarrollo, crecimiento y producción de dicho cultivo, a objeto de ofrecer a los agricultores fuentes alternativas de riego y fertilización para la producción de semilla.

Materiales y Métodos

Preparación de las unidades experimentales

Las plantas de frijol utilizadas se obtuvieron sembrando semillas de color crema e hilum negro, de la variedad Catatumbo de la Facultad de Agronomía, de la Universidad

del Zulia. Las semillas se sembraron en dos bandejas plásticas de 150 cm de largo por 50 cm de ancho y 15 cm de alto, en hileras separadas lateralmente 6 cm una de otra. Para la siembra, las bandejas se rellenaron con arena proveniente del suelo de las parcelas del Centro de Investigación del Agua (C.I.A.), adscrito a la Facultad de Ingeniería, de la Universidad del Zulia, las cuales se regaron durante 15 días con agua potable cubriendo las fases de germinación, emergencia, aparición de hojas cotiledonares y primera hoja trifoliada. Transcurrido ese tiempo las plantas de frijol se transplantaron al sistema hidropónico, el cual se realizó en medio líquido o sistema de raíz flotante, disponiendo de 40 unidades productivas (envases plásticos con tapa), de 800 mL de capacidad para colocar las plantas, utilizando compresores para airear cada uno de los tratamientos. Dichas unidades se ubicaron en la azotea del CIA, en donde la temperatura media anual fue de 28°C y la humedad relativa fue de 75%, después que se retiraron las lluvias, a mediados de Noviembre.

Descripción de los tratamientos. Se procedió al llenado de cada unidad productiva utilizando 5 repeticiones (envases de vidrio color ambar) por cada tratamiento. Los tratamientos evaluados fueron: agua residual tratada (ART), agua potable (AP), tres niveles de concentración de solución nutritiva de Hoagland y Arnon, al 33, 66 y 100%, identificadas como A₃₃, A₆₆ y A₁₀₀, respectivamente. Los tres tratamientos restantes fueron los tres niveles de solución nutritiva de Shive modificada por Evans al 33, 66 y 100%, identificados como B₃₃, B₆₆ y B₁₀₀, respectivamente.

VARIABLES A MEDIR. Diariamente durante todo el ciclo del cultivo se completó el volumen de solución consumido, cuyos valores se registraron durante todo el ensayo por cada tratamiento. Durante 63 días aproximadamente se hizo seguimiento en cuanto a incidencia de enfermedades, ataques de insectos, coloración y marchitez de las hojas como parte de la evaluación cualitativa has-

ta la finalización del ciclo. Finalizada la cosecha, se tomó cada planta, separando la parte aérea (hojas, tallos y flores), las vainas con semillas y la parte radical, para colocarlas en una estufa marca Memmert, modelo B-30, a una temperatura de 65°C por tres días para su deshidratación. Posteriormente las diversas partes de las plantas fueron pesadas mediante una balanza analítica Mettler, modelo AE-240. El nitrógeno total presente se determinó en la parte aérea, en la parte radical y a nivel de la semilla producida por cada planta, utilizando el método Kjeldahl, año 1992. Para la digestión de las muestras se utilizó una campana de flujo laminar, marca Mobilacca, un digestor y un destilador. Para la determinación del fósforo total se utilizó mediante el método molibdato-vanadato (4500 PC), empleando un espectrofotómetro con luz visible, marca Hach, modelo DR/2000, Para la determinación analítica de los metales se utilizó el espectrofotómetro de Absorción Atómica marca Perkin Elmer, modelo 3030B. En el caso del Cu, Fe, Mg y Mn se utilizó como fuente de radiación lámparas de cátodo hueco, marca Perkin Elmer. Para Ca y Zn, las lámparas de cátodo hueco utilizadas fueron marca Varian-Techtron. Para la determinación de sodio y potasio se utilizó la técnica de emisión atómica por no disponer en el laboratorio de lámpara de cátodo hueco. Simultáneamente se caracterizó el agua residual tratada (ART) proveniente de las lagunas de estabilización del Centro de Investigación del Agua (CIA) de la Universidad del Zulia y el agua potable (AP) del sistema de distribución proveniente de la planta de tratamiento Alonso de Ojeda (Planta C) (Tabla 1).

La preparación de 10 L de solución nutritiva de Hogland y Arnon (A) se pesaron 6 g de nitrato de potasio; 6,28 g de nitrato de calcio; 1,15 g de $(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{PO}_4$; 4,92 g de $\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,025 g de $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (en forma de quelato); 0,018 g de $\text{MnCl}_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 0,028 g de ácido bórico; 0,0023 g de $\text{ZnSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,0008 g de $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 0,0002 g de $\text{H}_2\text{MoO}_4\cdot \text{H}_2\text{O}$. Para la prepara-

ción de 10 L de la solución nutritiva de Shive modificada por Evans (B) se procedió a pesar 9,1 g de nitrato de calcio; 4,4 g de sulfato de potasio; 0,7 g de KH_2PO_4 ; 4,9 g de $\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,03 g de $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,19 g de KCl; 0,0031 g de $\text{MnSO}_4\cdot \text{H}_2\text{O}$; 0,014 g de ácido bórico; 0,012 g de $\text{ZnSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,008 g de $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 0,002 g de Na_2MoO_4 . Ambas soluciones se prepararon también al 33 y 66%.

Durante el desarrollo y crecimiento de las plantas hasta culminar su ciclo de vida, se midió cada cuatro días la longitud de tallo. Después de iniciada la fase reproductiva se hicieron observaciones sobre número de vainas y número de hojas por planta hasta el momento de la cosecha. Una vez alcanzada la cosecha se midió el número de semillas por planta, porcentaje de materia seca, número de vainas por planta y el peso de las semillas por planta.

Diseño experimental. Como diseño estadístico se utilizó un completamente aleatorizado con 5 repeticiones. Los datos obtenidos se analizaron mediante el uso del paquete estadístico SAS (15). Las pruebas de medias para las variables que resultaron significativas según el análisis de varianza, se realizaron utilizando la prueba de Tukey (5%), a excepción de las variables longitud del tallo y número de hojas que fueron analizadas mediante la prueba de Duncan (5%).

Resultados y Discusión

Concentración de elementos en el agua residual tratada, agua potable y soluciones nutritivas como suplemento nutricional del cultivo de frijol

La Tabla 1 ilustra los resultados obtenidos de la concentración de elementos esenciales en el ART y AP para suministro de las plantas de frijol en el sistema hidropónico implementado. Igualmente se presentan los valores obtenidos para cada uno de los dos niveles de las soluciones nutritivas evaluadas. De acuerdo con los resultados, se

Tabla 1
Concentración de elementos (mg/L) presentes en el agua residual tratada, agua potable y soluciones nutritivas A y B.

	ART	AP	Solución Nutritiva A			Solución Nutritiva B		
			A ₁₀₀	A ₆₆	A ₃₃	B ₁₀₀	B ₆₆	B ₃₃
Mg	8,900	5,100	49,000	32	16,000	49,0	32,3	16,2
K	10,520	2,370	235,00	155	77,000	195,0	128,7	64,3
Zn	0,033	0,011	0,050	0,033	0,017	0,250	0,165	0,083
Na	56,730	12,430	SI	SI	SI	0,005	0,003	0,002
Ca	25,300	24,100	160,00	105	52,500	200,0	132	66,0
Fe	1,880	0,120	0,500	0,330	0,170	0,500	0,330	0,165
Cu	0,002	0,008	0,020	0,013	0,007	0,020	0,132	0,006
Mo	SI	SI	0,010	0,006	0,003	0,020	0,013	0,006
Mn	0,017	0,006	0,500	0,330	0,165	0,250	0,165	0,083
N _{total}	30,520	1,360	281,0	185	92,700	140	92,4	46,2
P _{total}	4,200	0,380	31,0	20	10,300	16	10,7	5,3

ART: Agua residual tratada. AP: Agua potable. A₁₀₀, A₆₆, A₃₃: Solución # 2 de Hoagland y Arnon al 100, 66 y 33%. B₁₀₀, B₆₆, B₃₃: Solución de Shive modificada por Evans al 100, 66% y 33%. SI: Sin Información.

puede deducir que las soluciones nutritivas A y B independientemente de su dilución, presentaron mayores valores promedio de concentración de los elementos esenciales que los observados en el ART y el AP. Al comparar los promedios obtenidos para ART y AP, se aprecia mayores valores en el ART que en el AP. Esto posiblemente se deba a una mayor disponibilidad de nutrientes en el agua residual tratada proveniente de las lagunas de estabilización. Los valores de ART superan en varias veces el contenido de nitrógeno y fósforo detectados en el AP (Tabla 1), manteniendo promedios de concentración considerados bajos en aguas destinadas para uso agrícola, según Gaceta Oficial 5021, de la República de Venezuela (16).

En el año 2001, Bracho y Rios (8) al evaluar las aguas residuales de las lagunas de estabilización del Centro de Investigación del Agua, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad del Zulia, señalan que las concentraciones de K y Mg se mantuvieron mas o menos estables durante 10 semanas con

valores promedios alrededor de 11,30 y 6,70 mg/L, respectivamente (Tabla 2). Dichos valores son similares a los obtenidos en el presente estudio, los cuales correspondieron a 10,52 mg/L en el caso del potasio y 8,9 mg/L para el magnesio (Tabla 1).

Al comparar los valores obtenidos de nitrógeno y fósforo en el ART presentados en la Tabla 1, con los reportados por Shainberg y Rodríguez (17) en las aguas residuales del municipio Maracaibo (Tabla 3) durante el año 1998, se aprecia que las concentraciones de nitrógeno total obtenida se pueden considerar de mediana a baja (30,52 mg/L), mientras que las de fósforo se catalogan como de baja concentración (4,2 mg/L). Ambos elementos proporcionan condiciones al ART para ser utilizada con fines agrícolas en comparación a los aportados por el AP, en donde las concentraciones observadas fueron significativamente menores, 1,386 mg/L de nitrógeno total y 0,38 mg/L para el caso del fósforo.

Tabla 2
Concentración de K y Mg en mg/L presentes en el agua residual tratada durante 10 muestreos semanales de aguas residuales tratadas (8).

Metal	Semanas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K	11,40	11,05	13,85	12,40	11,24	10,25	10,15	10,50	11,45	10,75
Mg	6,13	4,30	10,85	7,83	6,13	4,95	6,20	8,30	6,13	6,18

Fuente: Bracho, A. y Rios, A. (8).

Tabla 3
Concentraciones típicas promedio de las aguas residuales urbanas del municipio Maracaibo.

Constituyentes	Concentración (mg/L)		
	Alto	Medio	Bajo
Sólidos Totales	1300	700	200
Sólidos Disueltos	1000	500	200
Sólidos Suspendidos	350	220	100
Demanda Biológica de Oxígeno	350	200	100
Demanda Química de Oxígeno	1000	500	250
Carbono Orgánico Total	290	160	80
Nitrógeno Total	85	40	20
Nitrógeno Amonio	50	25	10
Nitrógeno Orgánico	35	15	5
Nitratos	1,5	0,2	0
Fósforo	36	10	4
Cloruros	650	150	10
Calcio + Magnesio	150	80	25
Sodio	460	120	10
Potasio	25	10	5
Alcalinidad (como CaCO ₃)	400	200	50
Grasas	150	100	35
pH	8,0	7,2	7,0

Fuente: Shainberg I. y O. Rodríguez (17).

Los valores obtenidos de Fe, Cu, Zn y Mg fueron 1,88; 0,002; 0,033 y 0,017 mg/L, respectivamente (Tabla 1). Los valores máximos permisibles referidos (16), corresponden a 1,0 para el caso del Fe, 0,2 para Cu,

5,0 para Zn y 0,5 para Mn. De tal manera que los valores de Cu, Zn y Mn obtenidos en el presente estudio se encuentran por debajo de los límites permisibles y los de Fe ligeramente por encima.

En las soluciones nutritivas A y B, la concentración de los elementos en dichas soluciones es elevada pudiendo sustituir las condiciones nutritivas del suelo para el normal crecimiento y desarrollo de un cultivo en hidroponía.

Isea y colaboradores (6) determinaron en el año 2004 que las características fisicoquímicas del agua residual tratada proveniente de las lagunas de oxidación del C.I.A. (Universidad del Zulia), se encuentran dentro de los valores límites permisibles aceptados para las aguas usadas en el riego con fines agropecuarios, recomendando su uso como un medio útil para la utilización de dichas aguas. Así mismo, dichos autores concluyen que los suelos sometidos a riego con las aguas residuales tratadas, ofrecen una adecuada movilidad durante la percolación, acumulando nutrientes tanto en solución, como en forma asimilable por las plantas.

Concentración de nutrientes en raíces, parte aérea y semillas de nitrógeno, fósforo, cationes y metales

Nitrógeno

Según indica Malavolta en 1989 (Tabla 4), los valores de nitrógeno ideales para

el cultivo en la parte aérea oscilan entre 18000 y 22000 ppm. De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 5, la concentración de nitrógeno en las raíces fue de 19895 ppm y en las semillas de 33151 ppm en las plantas cultivadas con ART. En el follaje o parte aérea de la planta la concentración de nitrógeno estuvo ligeramente por debajo del nivel inferior. En el caso de las plantas cultivadas con AP, los valores promedios fueron significativamente inferiores con respecto a los obtenidos para ART, observándose mayor concentración de nitrógeno en las semillas en comparación con las raíces y la parte aérea. Es importante señalar que estadísticamente los promedios observados para ART son similares a los alcanzados con algunos de los niveles de solución nutritiva, lo cual permite considerar que el ART podría ser una buena fuente orgánica de nitrógeno para el cultivo de frijol.

Fósforo

En la Tabla 6 se observa que los niveles más bajos de fósforo se encuentran en el AP. Tomando en cuanto los valores reportados en la literatura (11) como adecuados para el cultivo (1200 a 1500 ppm.), el contenido de fósforo obtenido en ART fue significativa-

Tabla 4
Concentraciones adecuadas de nutrientes en el follaje del cultivo de frijol según Malavolta (11).

Macronutrientes	%	ppm
N	1,8-2,2	18.000-22.000
P	0,12-0,15	1.200-1.500
K	3,0-3,5	30.000-35.000
Ca	5,0-5,5	50.000-55.000
Mg	0,5-0,8	5.000-8.000
S	0,15-0,20	1.500-2.000
Micronutrientes		
B	0,0150-0,02	150-200
Cu	0,0005-0,0007	5,0-7,0
Fe	0,07-0,09	700-900
Mn	0,04-0,425	400-425
Mo	0,0002-0,0003	0,2-0,3
Zn	0,004-0,005	40-50

Tabla 5
Concentración de Nitrógeno en raíces, parte aérea y semillas en el cultivo de frijol.

Raíces		Parte aérea		Semillas	
A ₁₀₀	21488 ^a	A ₁₀₀	28486 ^a	A ₁₀₀	38703 ^a
ART	19895 ^{ab}	A ₃₃	18625 ^b	B ₁₀₀	33151 ^a
B ₃₃	17994 ^{abc}	B ₁₀₀	17065 ^{bc}	B ₃₃	21806 ^b
A ₃₃	15543 ^{abc}	ART	14027 ^{bcd}	ART	20001 ^{bc}
B ₁₀₀	13067 ^{bc}	A ₆₆	11798 ^{cde}	B ₆₆	18594 ^{bc}
A ₆₆	12779 ^{bc}	B ₃₃	10948 ^{ed}	AP	13430 ^c
B ₆₆	12235 ^{bc}	AP	7883 ^c	A ₆₆	3932 ^d
AP	11624 ^c	B ₆₆	7600 ^c	A ₃₃	3263 ^d

(a,b,c,d): Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

Tabla 6
Concentración de Fósforo en raíces, parte aérea y semillas en el cultivo de frijol.

Raíces		Parte aérea		Semillas	
A ₆₆	14927 ^a	A ₁₀₀	7786 ^a	B ₃₃	7355,7 ^a
A ₁₀₀	11504 ^{ab}	A ₆₆	5609 ^{ab}	A ₃₃	7175,7 ^{ab}
ART	7654 ^{abc}	B ₁₀₀	5133 ^{abc}	B ₁₀₀	5962,0 ^{abc}
A ₃₃	5688 ^{bc}	A ₃₃	4972 ^{abc}	B ₆₆	4701,3 ^{bcd}
B ₆₆	4994 ^{bc}	ART	4804 ^{abc}	A ₁₀₀	4456,7 ^{cd}
B ₁₀₀	4920 ^{bc}	B ₆₆	4064 ^{abc}	A ₆₆	3170,0 ^d
B ₃₃	3432 ^{bc}	B ₃₃	2200 ^{bc}	ART	2133,3 ^d
AP	2258 ^c	AP	1512 ^c	AP	Sin determinar

(a,b,c,d): Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

mente superior, observándose valores de 7.654, 4.804 y 2.133 ppm. para raíces, parte aérea y semillas, respectivamente. También se deduce al observar dicha Tabla que los niveles de fósforo son significativamente menores en las semillas cuando se comparan con los observados en las soluciones nutritivas. Según Malavolta (11) los valores obtenidos para follaje se consideran adecuados. Así mismo, los valores promedios de fósforo para ART estuvieron en niveles intermedios al compararlos con los determinados en las soluciones nutritivas. En el caso de las semi-

llas, para el tratamiento AP no fue posible obtener fructificación, lo cual pudiese estar influenciado por el escaso contenido de fósforo detectado en dicho medio, el cual pudo ocasionar deficiencias en el proceso reproductivo de la planta, tal como indica Bravo (12) en su trabajo de 1995. Este autor también señala que una baja nutrición conduce a un pobre desarrollo de los vasos conductores, los cuales posteriormente se lignifican imponiendo restricciones al transporte de agua y nutrientes hacia la parte alta de la planta.

Calcio

Según los valores observados en la Tabla 7, los niveles de Calcio en el ART son estadísticamente superiores al resto de los tratamientos en el caso de las semillas y estadísticamente iguales a los obtenidos con soluciones nutritivas en el caso de la parte aérea y en la parte radical. Malavolta (11) indica que el rango óptimo para este elemento en la parte foliar es de 50.000-55.000 ppm., por lo que se deduce una deficiencia de calcio tanto en las soluciones nutritivas como en el AP y el ART.

Cobre

La concentración de cobre se encuentra ligeramente por encima del rango citado en la literatura (11) para la parte aérea, 5 y 7 ppm, de acuerdo con los valores promedios presentados en la Tabla 8. Según Bravo, es común encontrar exceso de cobre en cultivos hidropónicos. El cobre al igual que el hierro es un elemento poco móvil dentro de la planta.

Hierro

De acuerdo con los resultados indicados en la Tabla 9, los valores promedios de hierro para el ART y el AP fueron de 752,7 y 891,0 respectivamente en el caso de las raíces. En la parte aérea y en las semillas los

promedios determinados resultaron deficientes para el cultivo de frijol. Los valores óptimos según la Tabla 4 a nivel del follaje deben oscilar entre 700 y 900 ppm. Dichos resultados pueden ser atribuidos a que la aireación contribuye a disminuir la disponibilidad del hierro en la planta, debido a que este proceso convierte la forma ferrosa en una forma férrica menos disponible para la planta, ya que precipita junto con otros micronutrientes (11). Así mismo, el hierro por ser un elemento poco móvil se concentró con mayor facilidad en las raíces de la plantas observando precipitación y color rojizo en ellas (12).

Potasio

Para este elemento la concentración en la parte aérea de la planta de frijol (Tabla 4) se considera adecuada, observándose valores entre 30000 y 35000 ppm. (11). La concentración de este elemento tanto en ART como en AP es deficiente a nivel de las raíces y de la parte aérea (Tabla 10). Por el contrario, a nivel de las semillas la mayor concentración de potasio se observó en el ART. Esto posiblemente se deba a que las semillas tienen capacidad de extraer nutrimentos móviles como el potasio, a través del floema y diferentes órganos incluyendo las raíces (14).

Tabla 7
Concentración de calcio en raíces, parte aérea y semillas en el cultivo de frijol.

Raíces		Parte aérea		Semillas	
A ₁₀₀	36346 ^a	A ₁₀₀	12394 ^a	ART	360,3 ^a
B ₆₆	35891 ^a	ART	6945 ^a	B ₃₃	307,7 ^{ab}
B ₁₀₀	31946 ^a	B ₃₃	6326 ^a	B ₆₆	290,0 ^{ab}
A ₆₆	28144 ^a	B ₆₆	5787 ^a	A ₃₃	229,3 ^{ab}
A ₃₃	18049 ^a	A ₆₆	4496 ^a	A ₁₀₀	168,7 ^{bc}
B ₃₃	7993 ^a	A ₃₃	3450 ^a	A ₆₆	165,0 ^{bc}
AP	7505 ^a	B ₁₀₀	3113 ^a	B ₁₀₀	82,3 ^c
ART	5317 ^a	AP	2420 ^a	AP	Sin determinar

(a,b,c): Letras distintas indican diferencias significativas (P< 0,05).

Tabla 8
Concentración de Cobre en raíces, parte aérea y semillas en el cultivo de frijol.

Raíces		Parte aérea		Semillas	
A ₁₀₀	140,32 ^a	A ₁₀₀	21,6 ^a	ART	22,89 ^a
A ₆₆	96,85 ^{ab}	AP	16,0 ^a	A ₆₆	11,57 ^b
B ₁₀₀	79,60 ^{ab}	A ₆₆	12,0 ^a	A ₁₀₀	11,35 ^b
A ₃₃	72,98 ^b	B ₃₃	9,6 ^a	A ₃₃	10,54 ^b
B ₆₆	72,43 ^b	ART	9,2 ^a	B ₁₀₀	9,21 ^b
AP	39,86 ^b	B ₁₀₀	8,0 ^a	B ₆₆	8,91 ^b
B ₃₃	35,31 ^b	B ₆₆	7,8 ^a	B ₃₃	8,33 ^b
ART	33,08 ^b	A ₃₃	6,0 ^a	AP	Sin determinar

(a,b): Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

Tabla 9
Concentración de Hierro en raíces, parte aérea y semillas en el cultivo de frijol.

Raíces		Parte aérea		Semillas	
A ₁₀₀	1372,5 ^a	AP	349,8 ^a	ART	187,95 ^a
B ₁₀₀	1287,9 ^a	A ₁₀₀	168,4 ^b	B ₆₆	67,76 ^b
B ₆₆	1222,2 ^a	ART	151,8 ^b	B ₃₃	56,81 ^b
AP	891,0 ^a	B ₆₆	110,3 ^b	A ₃₃	45,64 ^b
ART	752,7 ^a	A ₆₆	79,3 ^b	B ₁₀₀	35,49 ^b
A ₃₃	752,6 ^a	B ₃₃	71,6 ^b	A ₆₆	33,95 ^b
B ₃₃	713,3 ^a	A ₃₃	64,2 ^b	A ₁₀₀	23,29 ^b
A ₆₆	621,6 ^a	B ₁₀₀	49,8 ^b	AP	Sin determinar

(a,b): Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

Sodio

La información en la literatura acerca de este elemento es escasa. Sin embargo, de acuerdo con los valores presentados por Shainberg y Rodríguez (17) en las aguas residuales urbanas del municipio Maracaibo, los niveles de sodio observados en el ART se consideran altos, ya que superan los 460 mg/L., sobre todo en la parte aérea (Tabla 11). Dichos valores determinados en el ART pueden deberse a un alto contenido de sales minerales presentes en este tipo de agua, especialmente cloruro de sodio como subproducto de los desechos domésticos.

Por otro lado, vale destacar que para los tratamientos con las soluciones nutritivas y el agua potable las concentraciones de sodio fueron bajas. Esto es posible, porque el sodio en el agua destilada utilizada para la preparación de las mismas, se presenta en pequeñas trazas o en impurezas contenidas en los diferentes reactivos utilizados en la preparación de dichas soluciones (9).

Magnesio

La concentración de magnesio presente en la parte aérea de frijol se considera adecuado en un rango de 5000 a 8000 ppm. (11). De acuerdo con los resultados presen-

Tabla 10
Concentración de Potasio en raíces, parte aérea y semillas en el cultivo de frijol.

Raíces		Parte aérea		Semillas	
A ₃₃	15636 ^a	B ₁₀₀	41436 ^a	ART	16839 ^a
B ₃₃	14172 ^a	B ₆₆	40811 ^a	A ₃₃	15655 ^a
A ₁₀₀	14123 ^a	A ₆₆	34668 ^a	B ₃₃	11096 ^b
AP	8811 ^a	B ₃₃	30948 ^a	B ₁₀₀	11092 ^b
B ₁₀₀	7882 ^a	A ₁₀₀	30089 ^{ab}	A ₆₆	10879 ^b
B ₆₆	7330 ^a	A ₃₃	21923 ^{abc}	A ₁₀₀	10064 ^b
A ₆₆	4529 ^a	ART	5947 ^{bc}	B ₆₆	8428 ^b
ART	1290 ^a	AP	5733 ^c	AP	Sin determinar

(a,b): Letras distintas indican diferencias significativas (P< 0,05).

Tabla 11
Concentración de Sodio en raíces, parte aérea y semillas en el cultivo de frijol.

Raíces		Parte aérea		Semillas	
AP	6071 ^a	ART	18627 ^a	ART	2436,0 ^a
ART	2952 ^b	AP	5711 ^b	A ₃₃	637,7 ^b
B ₃₃	1372 ^b	B ₁₀₀	3317 ^{bc}	B ₃₃	573,3 ^b
A ₃₃	928 ^b	A ₆₆	2358 ^{bc}	A ₆₆	505,5 ^b
B ₁₀₀	885 ^b	B ₆₆	2221 ^{bc}	B ₆₆	332,5 ^b
A ₆₆	873 ^b	B ₃₃	1625 ^c	B ₁₀₀	311,0 ^b
B ₆₆	656 ^b	A ₃₃	1405 ^c	A ₁₀₀	265,3 ^b
A ₁₀₀	360 ^b	A ₁₀₀	1390 ^c	AP	Sin determinar

(a,b,c): Letras distintas indican diferencias significativas (P< 0,05).

tados en la Tabla 12 los valores de magnesio en la semilla fueron estadísticamente similares para todos los tratamientos, a excepción del tratamiento AP, no determinado por inexistencia de semilla. En las raíces de las plantas de frijol cultivadas con AP se observó un ligero exceso de magnesio; mientras que en las plantas desarrolladas en ART dicho elemento estuvo deficiente. Esto podría explicarse porque el magnesio es un elemento móvil que se puede transportar desde las raíces hasta las semillas mediante los haces conductores y así ser aprovechado por la parte reproductiva de la planta (14).

Las concentraciones de magnesio determinadas en las soluciones nutritivas A₆₆, A₁₀₀, B₃₃, B₆₆ y B₁₀₀ alcanzaron valores promedios altos en la parte aérea.

Manganeso

El contenido de manganeso detectado para la gran mayoría de los tratamientos se encontró por debajo del rango para este cultivo (400-425 ppm) sugerido por Malavolta (11) a nivel del follaje. El manganeso por ser un elemento poco móvil tiende a concentrarse en la raíz de la planta, lo cual se deduce al comparar los promedios obtenidos a nivel de

Tabla 12
Concentración de Magnesio en raíces, parte aérea y semillas en el cultivo de frijol.

Raíces		Parte aérea		Semillas	
AP	8769 ^a	A ₆₆	12714 ^a	B ₆₆	4301 ^a
B ₆₆	7939 ^a	A ₁₀₀	8175 ^b	ART	3711 ^a
B ₁₀₀	6480 ^{ab}	B ₁₀₀	6540 ^{bc}	A ₆₆	3012 ^a
A ₁₀₀	6286 ^{ab}	B ₃₃	5277 ^{bc}	B ₁₀₀	2875 ^a
A ₆₆	5458 ^{ab}	B ₆₆	5233 ^{bc}	A ₃₃	2792 ^a
A ₃₃	3961 ^{ab}	A ₃₃	4667 ^{bc}	A ₁₀₀	2632 ^a
B ₃₃	3490 ^{ab}	ART	4496 ^{bc}	B ₃₃	2384 ^a
ART	1403 ^b	AP	3373 ^c	AP	Sin determinar

(a,b,c): Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

Tabla 13
Concentración de Manganeso en raíces, parte aérea y semillas en el cultivo de frijol.

Raíces		Parte aérea		Semillas	
A ₆₆	423,3 ^a	A ₆₆	26,0 ^a	A ₆₆	16,67 ^a
A ₁₀₀	354,2 ^{ab}	B ₁₀₀	24,6 ^a	A ₃₃	15,12 ^{ab}
A ₃₃	258,2 ^{ab}	A ₃₃	23,6 ^a	A ₁₀₀	14,00 ^{abc}
B ₆₆	212,2 ^{ab}	B ₃₃	23,4 ^a	B ₃₃	10,10 ^{abc}
B ₃₃	54,9 ^{ab}	AP	17,2 ^a	B ₆₆	9,89 ^{abc}
B ₁₀₀	53,8 ^{ab}	B ₆₆	16,5 ^a	B ₁₀₀	9,32 ^{bc}
ART	36,5 ^b	A ₁₀₀	12,6 ^a	ART	7,70 ^c
AP	18,8 ^b	ART	9,0 ^a	AP	Sin determinar

(a,b,c): Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

las raíces con los determinados para la parte aérea y las semillas (Tabla 13).

Zinc

El zinc es un elemento poco móvil y actúa como factor catalítico, aunque no se conoce su función contribuye al proceso de fijación de nitrógeno (18). El contenido adecuado para la parte aérea del cultivo de frijol es de aproximadamente 40 a 50 ppm. (11). Los valores para el tratamiento ART y AP se encuentran por encima del rango antes

mencionado, lo que significa que dichos tratamientos aportan niveles adecuados de este elemento (Tabla 14) a nivel de las hojas.

Los resultados indicaron que la solución AT aportó mayor contenido de nutrientes a nivel de macro y micro nutrientes en la planta por ser una solución completa. Sin embargo, es posible destacar la potencialidad del agua residual tratada al comparar los resultados obtenidos con los de AP. Tal es el caso del contenido de potasio en semilla, al igual que de calcio, hierro, cobre, zinc.

Tabla 14
Concentración de Zinc en raíces, parte aérea y semillas en el cultivo de frijol.

Raíces		Parte aérea		Semillas	
AP	885,3 ^a	B ₁₀₀	86,2 ^a	ART	72,7 ^a
B ₆₆	305,8 ^b	AP	77,6 ^a	B ₃₃	68,3 ^{ab}
B ₁₀₀	304,6 ^b	ART	70,2 ^{ab}	B ₆₆	61,4 ^{abc}
A ₁₀₀	137,7 ^b	B ₆₆	55,0 ^{abc}	B ₁₀₀	57,0 ^{abc}
B ₃₃	87,8 ^b	B ₃₃	53,8 ^{abc}	A ₁₀₀	54,2 ^{abc}
A ₆₆	80,9 ^b	A ₁₀₀	42,4 ^{abc}	A ₆₆	37,0 ^{bc}
A ₃₃	71,8 ^b	A ₆₆	29,0 ^{bc}	A ₃₃	32,7 ^c
ART	53,1 ^b	A ₃₃	15,2 ^c	AP	Sin determinar

(a,b,c): Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

Longitud del tallo, número de hojas y componentes de rendimiento

El análisis estadístico de la varianza reveló diferencias significativas entre los tratamientos. Por medio del uso de las pruebas de media se discriminaron las variables estudiadas por grupos.

El desarrollo foliar de las plantas de frijol fue notable entre los 41 y 45 días posteriores a la siembra y se observó mayor desarrollo de hojas trifoliadas en los tratamientos con soluciones nutritivas, los cuales superaron significativamente a los tratamientos AP y ART. Con el AP la cantidad de hojas fue casi la mitad de la observada con el ART (Tabla 15). Este comportamiento pudiese atribuirse a deficiencias de hierro y magnesio principalmente que ocasionaron al presencia de clorosis o marchitamiento de las hojas. Con relación al número de vainas por planta, la cantidad de semillas por planta y el peso de las semillas, se deduce mediante la Tabla 16 que el ART presenta un comportamiento estadísticamente superior al observado con el AP debido posiblemente a la presencia de una mayor cantidad de elementos nutritivos existentes en el ART, tales como Cu, Na, P y Zn.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos se deduce que el agua residual (ART) podría utilizarse en la producción de semilla de frijol bajo riego, siempre y cuando se compensen los requerimientos de macro y micronutrientes exigidos por la planta, debido a que el ART posee deficiencias de calcio, hierro, magnesio, manganeso, nitrógeno y un exceso de niveles de cobre, fósforo, sodio y zinc, según los niveles establecidos para aguas con fines agrícolas (Decreto 883).

El tratamiento A₁₀₀ produjo el mayor valor promedio de producción de semillas superando significativamente al generado por el resto de las diferentes concentraciones de soluciones nutritivas evaluadas y a los tratamientos ART y AP.

En el sistema hidropónico implementado la tendencia observada de los elementos móviles fue de concentrarse en la parte aérea; mientras que los inmóviles se concentraron en la parte radical.

El sistema hidropónico utilizado permitió el crecimiento, desarrollo y producción del cultivo de frijol, observándose un mejor comportamiento de las plantas culti-

Tabla 15
Comparación múltiple de medias para las variables longitud del tallo, número de hojas y componentes de rendimiento.

	Longitud del Tallo (cm)	Número de hojas	Vainas/planta	Semillas/planta	Peso semillas				
A ₃₃	13,78 ^a	B ₁₀₀	24,79 ^a	A ₃₃	10,60 ^a	A ₃₃	6,406 ^a	A ₃₃	8,634
AP	13,57 ^{ab}	B ₆₆	23,23 ^{ab}	B ₁₀₀	6,60 ^{ab}	B ₃₃	5,501 ^{ab}	B ₆₆	5,474
A ₁₀₀	13,38 ^{ab}	A ₆₆	21,05 ^{abc}	B ₆₆	6,20 ^{ab}	B ₆₆	5,163 ^{ab}	B ₃₃	4,801
B ₃₃	12,17 ^{bc}	A ₃₃	20,59 ^{abc}	B ₃₃	5,40 ^{ab}	B ₁₀₀	4,071 ^{abc}	A ₁₀₀	3,425
ART	12,15 ^{bc}	A ₁₀₀	19,96 ^{abc}	A ₁₀₀	3,00 ^b	A ₁₀₀	3,302 ^{abc}	B ₁₀₀	1,823
A ₆₆	11,21 ^c	B ₃₃	17,35 ^{bc}	ART	1,40 ^b	A ₆₆	2,372 ^{abc}	A ₆₆	1,623
B ₁₀₀	10,93 ^c	ART	15,51 ^c	A ₆₆	1,25 ^b	ART	2,051 ^{bc}	ART	0,521
B ₆₆	10,79 ^c	AP	6,58 ^d	AP	0,20 ^b	AP	0,811 ^c	AP	0,008

(a,b,c,d): Medias seguidas en la columna por letras distintas son significativamente diferentes (P<0,05). Prueba de Tukey al 5%.

vadas con ART al compararlas con las tratadas con AP, lo cual se manifiesta en una mayor producción de semillas superior al AP.

Recomendaciones

Se sugiere en futuros ensayos el control de pH, debido a que los valores obtenidos en todas las soluciones nutritivas (6,56-7,56) pudieron haber inducido la precipitación de algunos elementos, principalmente hierro, los cuales interfirieron en la disponibilidad de nutrientes.

En futuros estudios es conveniente realizar la determinación de elementos separando la planta en raíz, tallo, hojas, flores y frutos para una mejor comprensión de la movilización de los elementos a través del floema y xilema de la planta.

Debido a que las variables longitud del tallo y número de hojas aportan poca información respecto al cultivo de frijol, se recomienda incluir en estudios sobre el comportamiento de elementos nutricionales, la medición de la biomasa producida por el cultivo.

Agradecimientos

Al Centro de Investigación del Agua (CIA) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia y al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad del Zulia (Programa 0345-02) por brindar el apoyo financiero para la realización de esta investigación.

Referencias Bibliográficas

1. MONNOT M. Aguas residuales. Tratamiento y Disposición Final. **Memorias I Seminario Regional de Gestión Municipal Ambiental "Experiencias y Oportunidades"**. Cabimas (Venezuela), pp. 5. 2001.
2. EMPRESAS POLAR. En armonía con el ambiente. Revista Informativa. Comunicación Gráfica, Cograf C.A. Caracas (Venezuela), Pág. 16. 2001.
3. ANGELAKIS A. **Water Environment Research** 33(10): 2201-2217, 1999.
4. RIVAS M.G. **Tratamiento de aguas residuales (2da. ed.)** Ediciones Vega. pp. 3-8. 1978.

5. BARRIOS A., RINCONES C., ORTEGA S. **El cultivo del frijol**. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (FONAIAP). [Serie de Paquetes Tecnológicos N° 5]. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Maracay (Venezuela), 84 p. 1988.
6. ISEA D., BELLO N., VARGAS L., YABROUDI S., DURÁN J., DELGADO J. *Ciencia* 12(2): 79-194, 2004.
7. BELLO N. Estudio de la acumulación y lixiviación de metales en suelos sometidos a riego con aguas residuales tratadas (Tesis de grado) Universidad del Zulia, Maracaibo (Venezuela), pp. 3-25, 2000.
8. BRACHO A., RÍOS A. Acumulación y lixiviación de metales en suelos sometidos a riego con aguas de lagunas de estabilización (Tesis de grado). Universidad del Zulia, Maracaibo (Venezuela), pp. 24-64. 2000.
9. CENTRO DE INVESTIGACIÓN DEL AGUA (CIA)/ INSTITUTO DE INVESTIGACIONES PETROLERAS DE LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA (INPELUZ). Caracterización de aguas residuales de las plantas de tratamiento y estudio de calidad para su reutilización con fines de riego [Informe Técnico]. Maracaibo (Venezuela), 9 p, 1998.
10. SÁNCHEZ E. Obtención de una solución nutritiva para cultivos hidropónicos a partir de desechos de uva *Vitis vinifera* L. (Tesis de Grado). Universidad del Zulia, Maracaibo (Venezuela). pp. 26-51, 1991.
11. MALAVOLTA E. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. Associação brasileira para pesquisa de potasio y fosfato**. Piracicaba Sao Paulo pp. 31, 83, 85. 1989.
12. BRAVO P. **El cultivo hidropónico en el trópico**. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto de Botánica Agrícola. Capítulos 1, 3, 4 y 6. Caracas (Venezuela), 1995.
13. **ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (ONU) PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN**. Oficina Regional para América Latina y el Caribe (FAO) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). La Huerta Hidropónica Popular [video]. 1997.
14. SALISBURY F. **Fisiología Vegetal**. Grupo Editorial Iberoamérica, S.A. pp. 129-130. 1994.
15. **STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM**. User's Guide. Paquete Estadístico para Microcomputadores. 6th Edition SAS Institute Inc. Cary, N. C., pp. 235-264. 1989.
16. **GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA DE VENEZUELA**. 1995. Normas para la clasificación y control de calidad de los cuerpos de agua y vertido de efluentes líquidos, No 5021, Decreto No 883, Caracas (Venezuela). 1995.
17. SHAINBERG I., RODRÍGUEZ O. **IV Congreso Venezolano de Ingeniería Agrícola**. pp. 123, 1998.
18. HUTERWAL G. *Hidroponía, cultivo de plantas sin tierra*. Editorial Albatros. Buenos Aires. pp. 84-90. 1990.