

La fertilización órgano-mineral en el rendimiento de haba en suelo e hidroponia en agricultura protegida

Maria de los Angeles Vela Coyotl¹
Zenón Gerardo López Tecpoyotl¹
Engelberto Sandoval Castro^{1§}
Mario Alberto Tornero Campante¹
Mario Antonio Cobos Peralta²

¹Colegio de Posgraduados-Campus Puebla. Boulevard Forjadores de Puebla núm. 205, Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Puebla, México. CP. 72760. (maria.vela@colpos.mx; (zgerardo@colpos.mx; mtornero@colpos.mx). ²Colegio de Posgraduados-Campus Montecillo, carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Estado de México. CP. 56230. (cobos@colpos.mx).

§Autor para correspondencia: engelber@colpos.mx.

Resumen

El haba es un cultivo de gran importancia social y económica en los Valles Altos de la Mesa Central de México, teniendo como destino final el consumo humano y animal. A pesar de su importancia, los rendimientos de grano son bajos, siendo la inadecuada fertilización una de las razones. La presente investigación se realizó con el propósito de determinar el efecto de la fertilización órgano-mineral en el rendimiento de haba, en suelo y sustrato tezontle. La investigación se realizó de diciembre 2013-abril 2014, en el municipio de San Pedro Cholula, Puebla, bajo condiciones de invernadero, utilizando semilla Cultivar Cochinerá. Se estudiaron dos factores: biofertilización líquida foliar y concentración de solución nutritiva de Steiner al 50% y 100%. Los biofertilizantes estudiados fueron provenientes de digestores de flujo continuo tipo Taiwán localizados en los municipios de San Felipe Teotlalcingo y Huejotzingo, Puebla. El diseño experimental de los trabajos fue completamente al azar y arreglo factorial de tratamientos, con cinco repeticiones. Los resultados mostraron que, para el cultivo en suelo, los tratamientos no presentaron diferencias en el rendimiento de fruto en fresco, pero si hubo diferencias significativas en rendimiento de fruto seco donde la aplicación de biofertilizante líquido proveniente de San Felipe Teotlalcingo tuvo los mejores resultados. Mientras que la aplicación de una fertilización órgano-mineral completa en sustrato tezontle resultó en la mejor repuesta en rendimiento de fruto fresco y seco.

Palabras clave: *Vicia faba* L., fertilizantes líquidos digeridos, hidroponia.

Recibido: agosto de 2018

Aceptado: octubre de 2018

Introducción

El haba (*Vicia faba* L.) es un cultivo de gran importancia social y económica en los Valles Altos de México (Guadarrama *et al.*, 2007), ocupando el tercer lugar en producción dentro de las leguminosas de grano (Díaz y Escalante, 2009). El haba es una fuente de proteínas, sus contenidos oscilan entre 24-37% en grano seco, según la variedad, por lo que tiene valiosas aplicaciones en la alimentación humana y animal (Crépon *et al.*, 2010).

A pesar de su importancia, los rendimientos de grano de haba son bajos, siendo un cultivo de temporal que ve limitado su rendimiento (Pichardo *et al.*, 2013). Los factores que causan la disminución de rendimientos son: plagas y enfermedades, sequía y una inadecuada fertilización (Stoddard *et al.*, 2010). En Puebla, durante 2011-2013 se registraron rendimientos de haba seca de 0.36, 0.98 y 1.03 t ha⁻¹ respectivamente en condiciones de temporal (SAGARPA, 2014). Por lo que existe una fuerte necesidad de mejorar el rendimiento mediante nuevas alternativas de fertilización.

Los biofertilizantes, son materiales orgánicos naturales productos del reciclaje biológico o preparados por el hombre, que aplicados al suelo permiten incrementar la fertilidad o capacidad productiva sustituyendo parcial o totalmente la fertilización química (Armenta *et al.*, 2010). En este sentido Garfí *et al.* (2011); Zirkler *et al.* (2014) mencionan que los digestatos provenientes de digestores de flujo continuo tiene potencial para usarse como biofertilizantes, sin embargo, su estudio como tal, es escaso y sus características físico-químicas depende de otros factores como el tipo de materia prima a fermentar, las condiciones del proceso de digestión, el origen y tipo de estiércol. Aunado a ello, los biofertilizantes son un complemento a nutrición del cultivo (Svensson *et al.*, 2004). Si además se considera el hecho de que en el campo hay una marcada tendencia a disminuir el uso de agroquímicos por sus altos costos y daños al ambiente.

Por otro lado, la hidroponia en invernadero ha mostrado tener efectos sobresalientes en la producción de cultivos como las hortalizas (Sánchez *et al.*, 2009). De esta manera la aplicación combinada de fertilizantes minerales complementado con fertilizantes digeridos es eficaz para aumentar la eficiencia de estos e incrementar el rendimiento de los cultivos (Gissén *et al.*, 2014).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de una fertilización órgano-mineral en el rendimiento del cultivo de haba producido bajo condiciones de invernadero en suelo e hidroponia.

Materiales y métodos

El presente estudio se realizó en el invernadero del grupo de investigación agricultura protegida del *Campus* Puebla del Colegio de Postgraduados y se localiza en la comunidad de San Agustín Calvario (19° 03' 00'' latitud norte, 98° 20' 04'' longitud oeste, altitud 2164 m), municipio de San Pedro Cholula, Puebla. El invernadero rustico tipo túnel, posee una estructura de metal y cubierta de plástico de polietileno transparente de 175 μ m o 700 galgas de espesor, con 30% de sombra.

Cultivo en suelo

El suelo agrícola se obtuvo de un terreno del productor y ejidatario Herón Quiroz Sánchez del municipio de San Felipe Teotlalcingo, Puebla. El suelo se colectó a una profundidad de 0-30 cm. El suelo seco fue llevado a invernadero, se cernió y realizó el llenado de macetas de 10 kg.

El análisis físico-químico de suelo (Cuadro 1), presento una textura franco-arenosa con porcentajes de arena, limo y arcilla de: 61.2, 28.0 y 10.8 respectivamente, un pH ácido, un contenido de materia orgánica (MO) alto. La conductividad eléctrica (CE) presentó un efecto de salinidad nula.

Cuadro 1. Análisis químico del suelo utilizado en el cultivo de haba.

pH	CE (ds m ⁻¹)	MO (%)	N (%)	N-NH ₄ ⁺ N-NO ₃ ⁻ P K Na Fe Cu Zn Mn							Ca Mg			
				(ppm)							(meq100 g ⁻¹)			
5.19	0.73	3.77	0.07	20	38	0.04	0.04	0.1	47	1	1	10	4	2

Cultivo en sustrato tezontle

Como sustrato, se utilizó tezontle rojo de granulometría aproximada 0.5-2 mm, para su uso se desinfectó en una dilución de agua e hipoclorito de sodio por 24 h para después lavar con agua de pozo y realizar el llenado de macetas de 10 kg.

Conducción de los experimentos

En ambos trabajos, la siembra se realizó el 12 de diciembre de 2013, depositando tres semillas de haba del cultivar cochinerá. Previo a la siembra se dio un riego saturado, en el manejo del cultivo las prácticas realizadas fueron: 1) aclareo, cuando las plantas tenían aproximadamente 10 cm de altura dejando dos plantas por maceta; 2) deshierbe; 3) riego, a partir de la siembra y durante dos semanas el riego fue con agua de pozo, posteriormente se inició con la aplicación de los tratamientos, la cantidad y frecuencia de los riegos aplicados se incrementó durante el ciclo del cultivo; y 4) tutorado de macollos. El manejo de la temperatura se hizo manualmente dejando las cortinas del invernadero abiertas durante el día. Fueron registrados datos sobre la temperatura y humedad dentro de invernadero durante el periodo de investigación (Cuadro 2).

Cuadro 2. Promedios de temperatura y humedad de noviembre registradas en el periodo 2013-abril 2014.

Mes	Temperatura (°C)			Humedad (%)		
	Máxima	Mínima	Promedio	Máxima	Mínima	Promedio
Noviembre	33.6	10	21.8	80	24.8	52.4
Diciembre	34.9	8.3	21.6	78	21	49.5
Enero	34.9	12.9	23.9	70.5	21	45.8
Febrero	40.2	6.6	23.4	65	20	42.5
Marzo	40.8	8.8	24.8	67	20	43.5
Abril	41.9	12.7	27.3	66	21.4	43.7

Tratamientos en suelo e hidroponía

Se evaluaron dos factores: concentración de solución nutritiva (factor A) y fertilización líquida foliar (factor B).

Para el factor A los niveles en común estudiados en suelo e hidroponia fueron: 1) Solución nutritiva al 100% (SN100%) y 2) Solución nutritiva al 50% (SN50%). Un tercer nivel fue estudiado en suelo, el cual fue 3) agua como testigo.

Para el factor B tanto para suelo como hidroponia, se probaron tres niveles: 1) biofertilizante líquido de San Felipe Teotlalcingo (BSF); 2) biofertilizante líquido de Huejotzingo (BHu); y 3) un testigo (T). La combinación de factores y niveles dio un total de nueve tratamientos en suelo y de seis tratamientos en hidroponia. La distribución de los tratamientos en invernadero, para ambos trabajos, se hizo bajo un diseño experimental complementado al azar con cinco repeticiones.

Biofertilizantes

Los biofertilizantes se originaron de estiércol bovino sometidas a digestores de flujo continuo tipo Taiwán (Lansing *et al.*, 2008). Los digestores se localizaron en los municipios de San Felipe Teotlalcingo y Huejotzingo, Puebla, la identificación de los biofertilizantes se hizo de acuerdo al nombre de los municipios. En el municipio de San Felipe Teotlalcingo la alimentación del ganado bovino fue un abundante consumo de silo de maíz, granos y frutas de temporada de la región, además de un pastoreo controlado. En Huejotzingo la alimentación del ganado bovino se compuso por silo de maíz, alfalfa verde y concentrado (alimento, salvado, maíz quebrado).

Para la obtención del biofertilizante, el digestato fue tamizado con una malla mosquitera para separar fracción sólida y trabajar con la fracción líquida como biofertilizante. Los biofertilizantes líquidos se aplicaron cinco veces durante todo el ciclo del cultivo a una concentración de 20% en un intervalo de 15 días en ambos medios de cultivo. Se realizaron análisis químicos a los biofertilizantes para determinar el contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio además de micronutrientes como cobre, hierro y zinc.

Solución nutritiva

Las formulaciones de las soluciones nutritivas se hicieron a partir de la solución universal de Steiner (Steiner, 1984), en su preparación se tomó en cuenta las características físicas y químicas del agua (Cuadro 3) y se emplearon fertilizantes químicos solubles: nitrato de potasio (KNO_3), nitrato de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), fosfato monopotásico (KH_2PO_4), sulfato de potasio (K_2SO_4); microelementos (UltrasolTM) y ácido fosfórico.

Cuadro 3. Análisis de las características físicas y químicas del agua utilizada en el riego del haba.

Parámetro	Valor (meq L ⁻¹)	Parámetro	Valor (meq L ⁻¹)	Parámetro	Valor (meq L ⁻¹)
pH	7.85 ¹	Ca ²⁺	1.3	Cu ²⁺	0
CE	0.79 ²	Mg ²⁺	4.43	B ⁻	0
NO ₃ ⁻	0.08	SO ₄ ²⁻	3.0	Cloruros	1.8
NH ₄ ⁺	0.28	Fe ²⁺	0	Carbonatos	0.2
H ₂ PO ₄ ⁻	0.41	Mn ²⁺	0.004	Bicarbonatos	2.20
K ⁺	0.077	Zn ²⁺	0	Na ⁺	0

Fuente: Aparicio (2013); ¹= unidades adimensionales; ²= unidades en dS m⁻¹.

Variables evaluadas

Las variables estudiadas fueron: rendimientos de fruto fresco, rendimiento de fruto seco y peso seco de hoja, tallo y raíz. La cosecha se realizó a los 120 días después de la siembra.

El secado de hoja, tallo, raíz y fruto se hizo en estufa marca Thermo scientific a una temperatura de 60 °C por 48 h. El rendimiento de fruto seco se hizo con 10% de humedad según lo sugerido por (Pichardo *et al.*, 2013).

Análisis estadístico

Obtenidos los datos del cultivo de haba en suelo e hidroponia se analizaron estadísticamente mediante un análisis de varianza y comparación de medias con prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$), utilizando el programa estadístico SAS versión 9.0 (SAS, 2004).

Los datos del contenido de nutrimentos en biofertilizantes también fueron sometidos a un análisis de varianza y comparación de medias con prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

Resultados y discusión

El análisis de varianza para el contenido de nutrimentos, muestra que hubo diferencia estadística altamente significativa para el contenido de potasio y sodio, para el caso de hierro solo se presentaron diferencias significativas, el resto de los nutrimentos no mostraron significancia estadística (Cuadro 4).

Cuadro 4. Cuadrados medios y significancia estadística del contenido de nutrimentos en biofertilizantes digeridos.

FV	GL	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Zn
Tr	1	17107 ns	3745407 ns	336629**	15067.5 ns	1940.4 ns	36983.1**	940.9*	0.035 ns	0.08 ns
E	2	2383.4	209819.2	729	7706.3	368.3	18.2	17.7	0.004	0.03
CV	-	7	21	3	16	9	3	8	16	8

FV= fuente de variación; GL= grados de libertad; Tr= tratamientos; *, **= significancia estadística al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; ns= no significativo; E= error; CV= coeficiente de variación en (%).

En la prueba de comparación de medias los biofertilizantes mostraron diferencias. La mayor concentración de elementos nutritivos se presentó en el biofertilizante del municipio de Huejotzingo. En ambos casos el contenido de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) presento valores altos con respecto a los demás nutrimentos (Cuadro 5), condición que según Rowell *et al.* (2001) ofrece un valor como fertilizante debido a la cantidad concentrada y a su forma dada. De acuerdo a Romero *et al.* (2013) las concentraciones deben ser para N ($>350 \text{ mg L}^{-1}$), P ($>10 \text{ mg L}^{-1}$) y K ($> 740 \text{ mg L}^{-1}$). Calcio y magnesio se presentaron en los biofertilizantes tras la descomposición de la materia orgánica (Chen *et al.*, 2008). El sodio (Na) se presentó en concentraciones bajas pues valores por encima de los 3, 500 mg L^{-1} tiene efectos inhibitorios para las bacterias (Feijoo *et al.*, 1995). Las concentraciones de cobre hierro (Fe), (Cu) y zinc (Zn) fueron bajas, en especial para (Zn < 200 y Cu $< 70 \text{ mg L}^{-1}$) que son considerados elementos pesados, de esta manera es posible utilizar el fertilizante de manera potencial (Romero *et al.*, 2013).

Cuadro 5. Contenido de nutrientes de biofertilizantes líquidos utilizados en haba.

Municipio	Nutrimentos (mg L ⁻¹)								
	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Zn
SF	670.6 a	3193.3 a	516.9 b	480.5 a	189.5 a	24.3 b	36.9 b	0.5 a	2.3 a
Hu	801.4 a	1257.9 a	1097.1 a	603.2 a	233.6 a	216.6 a	67.6 a	0.3 a	2. a

Valores con misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). DSH= diferencia significativa honesta. SF= San Felipe Teotlalcingo; Hu= Huejotzingo.

Cultivo en suelo

El análisis de varianza para el cultivo de haba en suelo muestra que hubo diferencias estadísticas altamente significativas en las variables de peso seco de hoja, tallo y rendimiento de fruto en tratamientos y para el factor A. no hubo significancia estadística en tratamientos y factores para peso seco de raíz y rendimiento del fruto fresco en haba (Cuadro 6).

Cuadro 6. Cuadrados medios y significancia estadística en tratamientos aplicados al haba en medio de cultivo suelo.

FV	GL	Hoja	Tallo	Raíz	Fruto fresco	Fruto seco
Tratamientos	8	56.3**	130.8**	57.3 ns	956.2 ns	162.9**
Factor A	2	160.3**	336.7**	183.8*	903.2 ns	150.9*
Factor B	2	5.4 ns	117*	4.4 ns	706.7 ns	281.8**
A * B	4	29.7*	34.7 ns	20.5 ns	1107 ns	109.5*
Error	18	13	30.4	21.5	1075.8	27.8
CV	-	17	15	31	26	16

FV= factor de variación; GL= grados de libertad; *, **= significancia estadística al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; ns=no significativo; CV= coeficiente de variación en %; factor A= fertilización a suelo; Factor B= fertilización foliar.

En la prueba de comparación de medias, los tratamientos mostraron diferencias en las variables estudiadas. Para la variable peso seco de hoja el tratamiento SN100% sobresale con un valor de 28.3 g planta⁻¹. Los tratamientos BHu SN50% y BSF SN50% se presentan como los mejores con 44.6 g planta⁻¹ en peso seco de tallo. El peso seco de raíz no mostró diferencias estadísticas significativas (Cuadro 7).

Dichos resultados son similares a los obtenidos por Condori *et al.* (1997) al encontrar diferencias en peso seco de hojas, pero no de raíz en haba cultivada en suelo, la tendencia de incrementar el peso de follaje aumenta cuando se aplican fertilizantes. Guadarrama *et al.* (2007) señalan que la aplicación de fertilizantes en especial de nitrógeno (N) incrementa significativamente la biomasa total, siendo el tallo el que mayor asignación de materia seca presenta, efecto que también ocurrió en este trabajo, el mayor peso correspondió al peso de tallo y está asociado con la interacción entre biofertilizante y una aplicación de fertilización al 50%. Muñoz *et al.* (2001) concluyen que el incremento de materia seca en cada estructura de la planta es debido a una mayor actividad fotosintética en hojas, promovida por una alta concentración de clorofila y N foliar.

Cuadro 7. Peso seco de hoja, tallo y raíz de haba cultivada en suelo.

Tratamiento	Peso seco (g planta ⁻¹)		
	Hoja	Tallo	Raíz
BSF SN100%	22.3 ab	32.3 ab	10 a
BHu SN100%	23.6 ab	41.3 ab	14.3 a
BSF	18.6 ab	33.3 ab	19.6 a
BHu	13.3 b	30.3 ab	19.6 a
BSF SN50%	22 ab	44.6 a	16.6 a
BHu SN50%	23.6 ab	44.6 a	12.3 a
T	17.3 b	28.3 b	20 a
SN100%	28.3 a	28.6 b	8 a
SN50%	19.6 ab	38.3 ab	14.6 a
DSH	10.3	15.7	13.2

Valores con misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). DSH= diferencia significativa honesta; BSF= biofertilizante líquido de San Felipe Teotlalcingo; biofertilizante líquido de Huejotzingo; SN50% y SN100%= solución nutritiva al 50 y 100% respectivamente.

Con relación al rendimiento de fruto fresco, los resultados muestran que aunque los tratamientos fueron estadísticamente iguales, el tratamiento BSF presentó el mayor rendimiento con 159.9 g planta⁻¹, los demás tratamientos mostraron valores inferiores, la variable rendimiento de fruto seco mostró diferencias estadística significativa, el tratamiento BSF sobresale con 43.3 g planta⁻¹ (Figura 1).

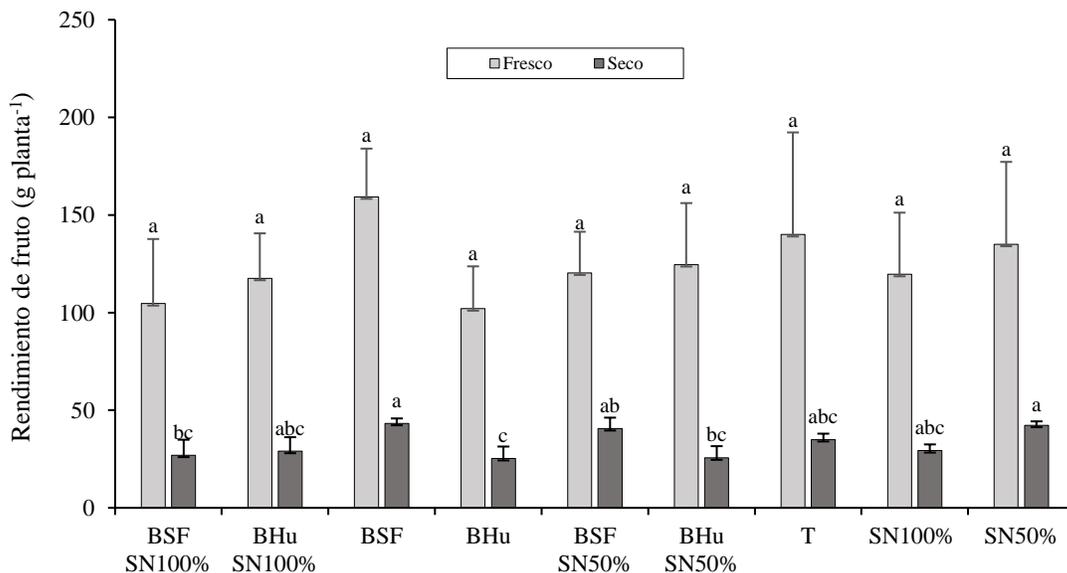


Figura 1. Rendimiento de fruto fresco y seco obtenido en tratamientos aplicados al cultivo de haba en suelo. Medias con la misma letra, son estadísticamente igual con base a la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Líneas verticales sobre las barras indican el error estándar. BSF= biofertilizante líquido de San Felipe Teotlalcingo; biofertilizante líquido de Huejotzingo; SN50% y SN100%= solución nutritiva al 50 y 100% respectivamente.

Los resultados de esta investigación difieren de los encontrados por Guadarrama *et al.* (2007); Osman *et al.* (2010) al reportar que la aplicación de fertilizantes inorgánicos principalmente de nitrógeno tiende a incrementar el rendimiento del grano de haba. Puesto que el mejor rendimiento se logró con el tratamiento BSF, podría mencionarse que el cultivo de haba en suelo, no necesita la aplicación de fertilizantes químicos, solo el de fertilizantes foliares para incrementar la producción, Mínguez *et al.* (1993) indican que, debido a la fijación biológica de nitrógeno en haba se pueden alcanzar rendimientos potenciales sin ningún tipo de fertilizante nitrogenado lo que reduce la lixiviación de nitratos y mejora la eficiencia energética de los cultivos. La cantidad de N fijado se asocia con la humedad, un déficit de ésta reduce la modulación y por tanto la producción (Guérin *et al.*, 1991). En condiciones de invernadero la humedad del suelo fue controlada.

Cultivo en tezontle

Los resultados del análisis de varianza muestran que no se presentó significancia en peso seco de hoja y tallo en tratamientos y factores de estudio. Para peso seco de raíz se presentaron valores altamente significativos en peso seco de raíz para tratamientos y para el factor A y B, no así para su interacción. Mientras que en rendimiento de fruto fresco y fruto seco se observaron diferencias significativas y altamente significativas respectivamente (Cuadro 8).

Cuadro 8. Cuadrados medios y significancia estadística en tratamientos aplicados al cultivo de haba en medio de cultivo tezontle.

FV	GL	Hoja	Tallo	Raíz	Fruto fresco	Fruto seco
Tratamientos	5	23.7 ns	53.4 ns	20**	675.5*	155**
Factor A	1	1.3 ns	186.8 ns	18**	462.8 ns	3.5 ns
Factor B	2	54.1 ns	10 ns	40.7**	508.9 ns	108.7*
A * B	2	5 ns	30 ns	0.5 ns	1834*	277**
Error	12	19.1	50.2	1.5	171.3	23.7
CV	-	23	22	13	11	17

FV= fuente de variación; gl= grados de libertad; *, **= significancia estadística al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; ns= no significativo; CV= coeficiente de variación en (%); factor A= fertilización a suelo; factor B= fertilización foliar.

En los resultados de la prueba de comparación de medias, el efecto de tratamientos no mostró diferencias estadísticas en peso seco de hoja y de tallo (Cuadro 9). En cuanto al peso seco de raíz, destaca el tratamiento BSF SN50% con un valor de 13.3 g planta⁻¹. Muñoz *et al.* (2011) señalan que un mayor desarrollo de la raíz podría atribuirse a la capacidad de infiltración y almacenamiento causado por la estabilidad y tamaño de los agregados lo que podría ocurrir en el sustrato tezontle. En sustratos hay mayor exploración del sistema radical y por lo tanto una disponibilidad inmediata de los nutrimentos obtenidos del sistema de hidroponía (García *et al.*, 2003).

Cuadro 9. Peso seco de hoja, tallo y raíz de haba en medio de cultivo tezontle.

Tratamiento	Peso seco (g planta ⁻¹)		
	Hoja	Tallo	Raíz
BSF SN100%	22.6 a	28.3 a	10.6 ab
BHu SN100%	18.3 a	28.3 a	8 bc
BSF SN50%	20.3 a	38 a	13.3 a
BHu SN50%	17.6 a	36.6 a	9.6 b
SN100%	17 a	30 a	6 c
SN50%	18.3 a	31.3 a	7.6 bc
DSH	12.1	19.4	3.4

Valores con misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$); DSH= diferencia significativa honesta; BSF= biofertilizante líquido de San Felipe Teotlalcingo; biofertilizante líquido de Huejotzingo; SN50% y SN100%= solución nutritiva al 50 y 100% respectivamente.

Se observó diferencia estadística significativa entre tratamientos. Para el rendimiento de fruto fresco el tratamiento BSF SN100% se presenta como el mejor con 142.3 g planta⁻¹ le sigue BHu SN100% con 131.3 g planta⁻¹, los tratamientos restantes presentan cifras menores (Figura 2).

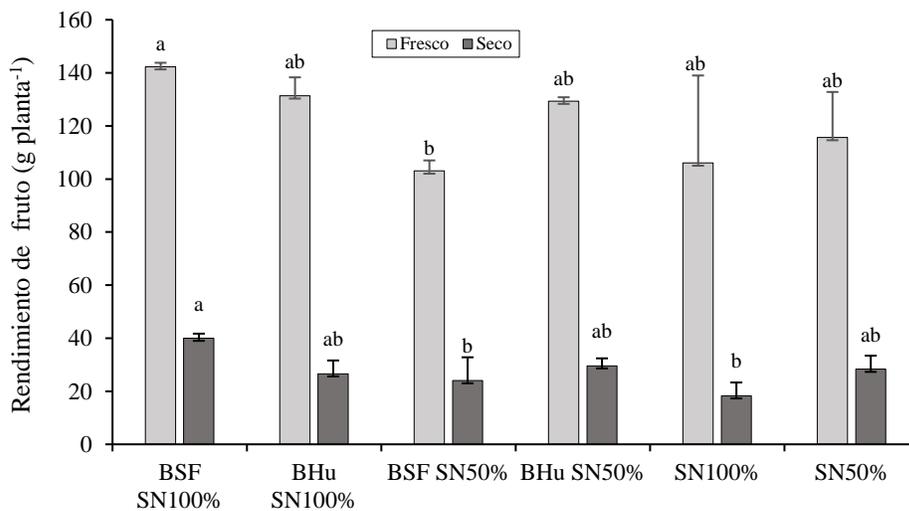


Figura 2. Rendimiento de fruto fresco y seco obtenido en tratamientos aplicados en tezontle. Medias con misma letra, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Líneas verticales sobre las barras indican el error estándar. BSF= biofertilizante líquido de San Felipe Teotlalcingo; biofertilizante líquido de Huejotzingo; SN50% y SN100%= solución nutritiva al 50 y 100% respectivamente.

Lo anteriores resultados, muestran al tratamiento BSF SN100% como el mejor en sustrato tezontle, lo que sugiere la conveniencia de una nutrición órgano-mineral completa; sin embargo, para disminuir el uso de fertilizantes químicos se esperaría que destacaran las concentraciones al 50%.

Estos resultados son similares a los obtenidos por García *et al.* (2003) al obtener los mejores rendimientos en el cultivo de frijol bajo un sistema hidropónico.

Mínguez *et al.* (1993) señala que el rendimiento de cultivo de haba dependerá de su capacidad de adaptación a diferentes ambientes. Asimismo, López *et al.* (2005) expresan que las condiciones ambientales gobiernan el rendimiento de la semilla, en esta investigación las condiciones bajo invernadero (temperatura y humedad), así como la disponibilidad y asimilación de nutrientes químicos y orgánicos obtenidos de los biofertilizantes y de las soluciones nutritivas.

Comparación de los rendimientos de haba en suelo y tezontle

El cultivo de haba en suelo y tezontle presentaron seis tratamientos en común, a los que se hizo una comparación.

El cultivo de haba en tezontle mostró mejores rendimientos con respecto al suelo en los tratamientos BSF SN100% y BHu SN100%. Pero dicho comportamiento del sustrato se vio afectado cuando los tratamientos solo estuvieron a base de las soluciones nutritivas, SN100% y SN50% obteniendo menores valores en la última. Cuando esto ocurrió el suelo tuvo mejor respuesta, sobresaliendo en este caso el tratamiento SN50%.

Los resultados de la comparación de rendimientos difieren de los de García *et al.* (2003) quienes encontraron, una mejor respuesta del sistema hidropónico en sustrato que en un suelo bien preparado, asociando que en hidroponía los efectos de una mayor infraestructura y sistema radical reflejan mayor rendimiento de grano.

Cuando la aplicación de biofertilizantes y concentraciones medias de solución nutritiva se aplicó (BSF SN50%) y (BHU SN50%), los valores más uniformes de rendimiento de haba se presentaron en el medio de cultivo tezontle. Los comportamientos fueron similares para el peso seco del fruto de haba en ambos medios de cultivo. Los resultados obtenidos en las variables de estudio del cultivo de haba muestran comportamientos diferentes en suelo y sustrato tezontle en la producción de grano.

Zabłudowska *et al.* (2009) mencionan que existe evidencia de que las plantas responden de manera diferente cuando son cultivadas en hidroponía o en suelo; Dickinson *et al.* (2009) concluyen que a pesar de estas limitaciones, los autores suelen extrapolar los resultados de hidropónico a campo y, como resultado, muchos estudios son demasiado optimistas y poco realistas, además menciona que una planta puede ser muy eficiente ocupando soluciones nutritivas pero su asimilación se verá afectado por las condiciones a campo abierto. Estas afirmaciones también cobran real importancia en la aplicación de biofertilizantes en plantas cultivadas (con sustrato tezontle y suelo, bajo invernadero o campo abierto, con riego bajo condiciones de temporal) por lo que dichos resultados no son posibles de extrapolar. El uso de sistemas hidropónicos discierne en respuestas fisiológicas en haba y otros cultivos aun siendo cultivadas con los mismos materiales Tavakkoli *et al.* (2012).

Conclusiones

La aplicación de biofertilizantes líquidos foliares en el cultivo de haba en suelo mejora los rendimientos de grano, no así los fertilizantes químicos. Sin embargo, en sustrato tezontle los mejores rendimientos de grano del cultivo de haba son con una aplicación de fertilización órgano-mineral completa.

Los efectos de la fertilización órgano-mineral se muestran diferentes en suelo y sustrato tezontle por lo que no es contundente y poco posible hacer una recomendación generalizada de estos.

Literatura citada

- Aparicio, del M. J. O. 2013. Producción de chile en agua (*Capsicum annuum* L.) en hidroponía bajo invernadero: una opción productiva de los espacios periurbanos. Tesis de Maestría. Programa de Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional. Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, México. 129 p.
- Armenta, B. A. D.; García, G. C.; Camacho, B. R.; Apodaca, S. M. A.; Gerardo, M. L. y Nava, P. E. 2010. Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*. 6(1):51-56.
- Chen, Y.; Cheng, J. J. and Creamer, K. S. 2008. Inhibition of anaerobic digestion process: a review. *Bio. Technol.* 99(10):4044-4064.
- Condori, B.; Devaux, A.; Mamani, P.; Vallejos, J. and Blajos J. 1997. Efecto residual de la fertilización del cultivo de papa sobre el cultivo de haba (*Vicia faba* L.) en el sistema de rotación. *Rev. Latinoam. de la papa* 9(10):171-187
- Crépon, K.; Marget, P.; Peyronnet, C.; Carrouée, B.; Arese, P. and Duc, G. 2010. Nutritional value of faba bean (*Vicia faba* L.) seeds for feed and food. *Field Crops Res.* 115(3):329-339.
- Díaz, R. R. and Escalante, E.A. 2009. Faba beans (*Vicia faba* L.) in México. *Grain legumes* 51:32-33. <http://www.ias.csic.es/grainlegumesmagazine/grain-legumes-issue-51.pdf>.
- Dickinson, N. M.; Baker, A. J. M.; Doronilla, A.; Laidlaw, S. and Reeves, R. D. 2009. Phytoremediation of inorganics: realism and synergies. *Inter. J. Phytorem.* 11(2):97-114. <http://doi.org/10.1080/15226510802378368>.
- Feijoo, G.; Soto, M.; Méndez, R. and Lema, J. M. 1995. Sodium inhibition in the anaerobic digestion process: antagonism and adaptation phenomena. *Enzyme Microbial Technol.* 17(2):180-188.
- García, E. A.; Kohashi, S. J.; Baca, C. G. A. y Escalante, E. J. A. S. 2003. Rendimiento y asignación de materia seca de una variedad de frijol en un sistema hidropónico y suelo. *Terra Latinoam.* 21(4):471-480.
- Garfí, M.; Gelman, P.; Comas, J.; Carrasco, W. and Ferrer, I. 2011. Agricultural reuse of digestate from low-cost tubular digesters in rural Andean Communities. *Waste Management* 31(12):2584-2589. doi:10.1016/j.wasman.2011.08.007.
- Gissén, C.; Prade, T.; Kreuger, E.; Nges, I. A.; Rosenqvist, H.; Svensson, S. E. and Björnsson, L. 2014. Comparing energy crops for biogas production- yields, energy input and costs in cultivation using digestate and mineral fertilisation. *Bio. Bioen.* 64:199-21. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.03.061>.
- Guadarrama, Q. A.; Escalante, E. J.A.; Rodríguez, G. M. T.; Sánchez, G. P. y Sandoval, C. E. 2007. Biomasa, proteína, taninos y rendimiento en haba en función del nitrógeno. *Terra Latinoam.* 25(2):169-175.
- Guérin, V.; Pladys, D.; Trinchant, J. C. and Rigaud, J. 1991. Proteolysis and nitrogen fixation in faba-bean (*Vicia faba* L.) nodules under water stress. *Physiol. Plantarum* 82(3):360-366.
- Lansing, S.; Botero, R. B. and Martin, J. F. 2008. Waste treatment and biogas quality in small-scale agricultural digesters. *Bio. Technol.* 99(13):5881-5890.
- López, B. F. J.; López, B. L. O. and López, B. R. J. 2005. Competition, growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). *Eur. J. Agron.* 23(4):359-378.

- Mínguez, M. I.; Ruiz, N. B. and Sau, F. 1993. Faba bean productivity and optimum canopy development under a Mediterranean climate. *Field Crops Res.* 33(4):435-447.
- Muñoz, R. V.; Estrada, J. A. E.; García, P. S.; Ayala, C. R. y Adame, E. C. 2001. Asignación de biomasa y rendimiento de girasol con relación al nitrógeno y densidad de población. *Terra Latinoam.* 19(1):75-81.
- Muñoz, R. V.; López, B. L. and López, B. R. J. 2011. Faba bean root growth in a Vertisol: tillage effects. *Field Crops Res.* 120(3):338-344.
- Osman, A. G.; Elaziz, F. I. A. and Elhassa, G. A. 2010. Effects of biological and mineral fertilization on yield, chemical composition and physical characteristics of faba bean (*Vicia faba* L.) cultivar Seleim. *Pak. J. Nutr.* 9(7):703-708.
- Pichardo, R. J. C.; Salvador, E. J. A.; Díaz, R. R.; Quevedo, N. A.; Volke, H. V. y Morales, R. E. 2013. Rendimiento de la eficiencia en el uso de agua de cultivares de haba (*Vicia faba* L.) para doble propósito. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 19(1):71-84.
- Romero, C.; Ramos, P.; Costa, C. and Márquez, M. C. 2013. Raw and digested municipal waste compost leachate as potential fertilizer: comparison with a commercial fertilizer. *J. Cleaner Produc.* 59:73-78. doi:10.1016/j.jclepro.2013.06.044.
- Rowell, D. M.; Prescott, C. E. and Preston, C. M. 2001. Decomposition and nitrogen mineralization from biosolids and other organic materials. *J. Environm. Quality.* 30(4):1401-1410.
- SAS. 2004. Statistical Analysis System. Versión 9.0. SAS, Institute Inc., Cary NC, USA.
- SAGARPA. 2014. Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural y Alimentación. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) 2011-2013. Cierre de la producción agrícola por cultivo.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution, proceedings of IWOSC 1984 6th International Congress on Soilless Culture, Wageningen, The Netherlands, Apr 29-May 5, 1984. 633-650 pp.
- Tavakkoli, E.; Paull, J.; Rengasamy, P. and McDonald, G. K. 2012. Comparing genotypic variation in faba bean (*Vicia faba* L.) in response to salinity in hydroponic and field experiments. *Field Crops Res.* 127:99-108. doi:10.1016/j.fcr.2011.10.016.
- Sánchez, D. C. F.; Moreno, P. E. D. C. y Cruz, A. E. L. 2009. Producción de jitomate hidropónico bajo invernadero en un sistema de dosel en forma de escalera. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 15(1):67-73.
- Stoddard, F. L.; Nicholas, A.; Rubiales, D.; Thomas, J. and Villegas, A. M. 2010. Integrated pest management in faba bean. *Field Crops Res.* 115(3):308-318. doi:10.1016/j.fcr.2009.07.002.
- Svensson, K.; Odlare, M. and Pell, M. 2004. The fertilizing effect of compost and biogas residues from source separated house waste. *J. Agric. Sci.* 142(4):461-467. Doi <http://dx.doi.org/10.1017/S0021859604004514>.
- Zabłudowska, E.; Kowalska, J.; Jedynak, Ł.; Wojas, S.; Skłodowska, A. and Antosiewicz, D. M. 2009. Search for a plant for phytoremediation -what can we learn from field and hydroponic studies? *Chemosphere.* 77(3):501-507. doi:10.1016/j.chemosphere.2009.07.064.
- Zirkler, D.; Peters, A. and Kaupenjohann, M. 2014. Elemental composition of biogas residues: variability and alteration during anaerobic digestion. *Bio. Bioen.* 67:89-98. doi:10.1016/j.biombioe.2014.04.021.