

Efecto de dosis de fertilizante de liberación lenta en producción de pimiento

**Brian Alexander Puello Lara
Alexis Emanuel Suero Mirabal**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2018

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Efecto de dosis de fertilizante de liberación lenta en producción de pimiento

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingenieros Agrónomos en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Brian Alexander Puello Lara
Alexis Emanuel Suero Mirabal

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2018

Efecto de dosis de fertilizante de liberación lenta en producción de pimiento

Brian Alexander Puello Lara
Alexis Emanuel Suero Mirabal

Resumen. Con el uso de fuentes convencionales de nitrógeno (N), se estiman pérdidas de N de hasta 50% del perfil de suelo. Una alternativa al uso de fertilizantes convencionales es el uso de fertilizantes de liberación lenta (FLL). Los FLL poseen un recubrimiento físico o modificaciones en su estructura química que restringen su dilución. La reducción de pérdidas de N del medio de siembra podría influenciar las dosis de N recomendadas para la producción de hortalizas. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de dos dosis de N y FLL como sustituto a la fertirrigación en producción de pimiento bajo estructura protegida. Los tratamientos se constituyeron por dos factores (dosis y fuente de aplicación). Las dosis de aplicación fueron 169 y 225 kg/ha de N. Las fuentes aplicadas fueron nitrato de amonio (NA) como fertilizante convencional y Optic-Set 38N como FLL, en proporciones de 25, 50, 75 y 100% de la dosis total. Además, se estableció un control absoluto sin fertilizante. Se evaluó la biomasa foliar y radicular, el pH y la conductividad eléctrica del sustrato, la concentración de N en el tejido foliar y en el sustrato y el rendimiento comercial y no comercial según el sistema US. Para la biomasa foliar, y rendimiento total, hubo diferencia entre los tratamientos, donde los tratamientos con 100% NA, 25% FLL + 75% NA y 50% FLL + 50% NA resultaron en la mayor producción de biomasa con 131 gr por planta y rendimientos de 9,533 kg/ha. Las dosis de aplicaciones tuvieron efecto en el tamaño promedio de fruto, donde 225 kg/ha resultó 9% de incremento de peso comparado con 169 kg/ha.

Palabras claves: compost, estructura protegida, fertirriego, nitrógeno, sustrato.

Abstract. A 50% nitrogen (N) loss is estimated when using conventional N fertilizers in vegetable production. Slow release fertilizers (SRF) are an alternative to the use of conventional N fertilizers. SRF restrict their nutrient release by a physical coating or a chemical modification in their structure. Nutrient loss reduction when using SRF could reduce applied N rates in vegetable production. The objective of this study was to evaluate the effect of two N rates and SRF as a substitute to fertirrigation in greenhouse production of bell pepper. Treatments were based on two factors (rate and source). N rates used were 169 and 225 kg/ha. N sources used were ammonium nitrate (AN) as a conventional fertilizer and Optic-Set 38N as a SRF, both used in different proportions of 25, 50, 75 and 100% of the total rate. Evaluated variables were foliar and radicular biomass, pH and electric conductivity of the substrate, N concentration in substrate and foliar tissue and commercial and non-commercial yield using US Grading. Results showed an effect in foliar biomass production and total yield between treatments, where treatments using 100% AN, 25% SRF + 75% AN and 50% SRF + 50% AN resulted in a greater foliar biomass production of 131 gr/plant and a total yield of 9,533 kg/ha. Application rates had an effect on average fruit weight, where 225 kg/ha resulted in a 9% greater weight compared to 169 kg/ha.

Keywords: compost, fertirrigation, greenhouse, nitrogen, substrate.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos	v
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	7
4. CONCLUSIONES.....	15
5. RECOMENDACIONES.....	16
6. LITERATURA CITADA	17

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadros	Página
1. Análisis químico de sustrato utilizado para cultivo de pimiento previo al trasplante.....	3
2. Descripción de las dosis y proporciones de las fuentes de N utilizadas en los tratamientos para evaluar el efecto de la fertilización de liberación lenta en pimiento bajo estructura protegida en la EAP Zamorano, Honduras.....	4
3. Fuente, dosis, tiempo y forma de aplicación para fósforo, potasio, calcio y magnesio.....	4
4. Clasificación del pimiento dulce del sistema del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.....	5
5. Respuesta de la biomasa foliar a las 4 y 12 semanas después de trasplante y de la biomasa radicular a las 4 y 8 semanas después de trasplante a la fertilización de liberación lenta pre-siembra y nitrato de amonio al drench.	9
6. Respuesta de la biomasa foliar a la fertilización de liberación lenta pre-siembra y nitrato de amonio al drench contra el control absoluto a las 4, 8 y 12 semanas después de trasplante.....	10
7. Respuesta de la biomasa radicular a fertilización de liberación lenta pre-siembra y nitrato de amonio al drench contra el control absoluto a las 4, 8 y 12 semanas después de trasplante.....	10
8. Efecto de dosis de nitrógeno en la concentración de nitrógeno en sustrato de raquis de maíz y compost (25:75 v:v) a las 8 semanas después de trasplante.....	10
9. Efecto de la fertilización de liberación lenta pre-siembra y nitrato de amonio al drench en la concentración de nitrógeno en el tejido foliar a las 8 SDT....	11
10. Efecto de dosis de nitrógeno en el peso promedio de frutos comerciales.....	11
11. Efecto de la fertilización de liberación lenta pre-siembra y nitrato de amonio al drench en el número de frutos comerciales y no comerciales.....	12
12. Efecto de la fertilización de liberación lenta pre-siembra y nitrato de amonio al drench en el peso de frutos comerciales, no comerciales y peso promedio de frutos comerciales.....	12
13. Efecto de la fertilización de liberación lenta pre-siembra y nitrato de amonio al drench contra el control absoluto en el número de frutos comerciales y no comerciales.....	13

14. Efecto de la fertilización de liberación lenta pre-siembra y nitrato de amonio al drench contra el control absoluto en el peso de frutos comerciales, no comerciales y peso promedio de frutos comerciales.....	13
15. Efecto de la fertilización de liberación lenta pre-siembra y nitrato de amonio al drench en el número y peso total de frutos.....	14

Figuras

Página

1. Pluviometría y temperatura de abril a agosto del 2018.....	7
2. Conductividad eléctrica en la solución extraída del sustrato de raquis de maíz molido y compost (mezcla 25:75 v:v).....	8
3. pH en la solución extraída del sustrato de raquis de maíz molido y compost (mezcla 25:75 v:v).....	8

1. INTRODUCCIÓN

Debido a la baja fertilidad de los suelos agrícolas, el uso de los fertilizantes se ha vuelto indispensable para la producción comercial de los cultivos (FAO 1993). Tradicionalmente, la producción agrícola depende del uso de fertilizantes solubles. El N es uno de los elementos de mayor consumo a nivel mundial (FAO e IFA, 2002). Sin embargo, dependiendo del sistema productivo y las condiciones ambientales, los fertilizantes pueden movilizarse fuera del perfil del suelo y no estar disponible para la planta. Según la FAO e IFA (2004), las pérdidas globales de N en forma de amoníaco (NH_3) por volatilización proveniente de fertilizantes minerales son de aproximadamente 9 millones de toneladas por año. Estas pérdidas pueden reducir la rentabilidad de los sistemas de producción debido a una reducción en los rendimientos a causa de deficiencia de N (Barbieri *et al.* 2003 y Barbieri *et al.* 2010).

Una alternativa al uso de fertilizantes convencionales son los fertilizantes de liberación lenta o controlada (FLL) (Ballester-Olmos 1998). Los FLL contienen un nutriente esencial en un estado que no puede ser inmediatamente absorbido por la planta. La tasa de liberación de estos fertilizantes depende de la temperatura, humedad del medio y la acción microbiana. De esta manera, los FLL se encuentran disponibles en el suelo por un mayor lapso de tiempo (Ráquira 2014). Los FLL usualmente reducen quemaduras en los cultivos, poseen una liberación consistente durante un largo período de tiempo y reducen la lixiviación de nutrientes. Sin embargo, estos suelen ser más costosos por unidad de elemento que los fertilizantes convencionales (Liu *et al.* 2014; Guertal 2009; Morgan *et al.* 2009).

La aplicación de FLL no necesariamente aumenta el crecimiento y desarrollo de los cultivos. El patrón de liberación de nutrientes es difícil predecir, especialmente si las condiciones ambientales tienden a cambiar con rapidez (Liu *et al.* 2014). Varios autores han evaluado la aplicación pre-siembra de FLL en comparación a aplicaciones de fertilizantes solubles (Guertal 2000; Locascio y Fiskell 1973; Sharma *et al.* 1976). Guertal (2000), reportó rendimientos similares entre la aplicación de urea recubierta de azufre, fertilizantes recubiertos de resina poliolefina y aplicaciones de nitrato de amonio a 90, 135, 180 y 225 kg/ha de N, con un rendimiento promedio en pimiento morrón de 7,445 kg/ha. Valencia (2014), indica que combinando este tipo de tecnologías con fertilizantes convencionales se pueden reducir las dosis de fertilización y las frecuencias de las mismas, alcanzando reducciones de las dosis en un 25-50% dependiendo el cultivo. Distintas composiciones de FLL presentan patrones de liberación diferentes. Usualmente el mecanismo de liberación de las fuentes de FLL sucede en respuesta a temperatura y humedad del suelo.

De ser económicamente viables, los FLL pudieran ser una alternativa para la reducción de lixiviación de N, del efecto salino, de las dosis y de los costos de mano de obra (Daza 2015). No obstante, es necesario evaluar el efecto del FLL bajo sistemas de producción de alto valor. Debido a esto, el objetivo de este estudio fue:

- Evaluar el efecto de un FLL como sustituto a la fertirrigación en producción de pimiento morrón bajo estructura protegida.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación.

El experimento se realizó entre el 20 abril hasta el 20 de julio del 2018 (91 días). Este se estableció en un macro-túnel de 3 m de altura, 14 m de ancho y 28 m de largo con una malla de 50 mesh, localizado en las coordenadas 14°00'46.8"N 87°00'20.2"W, pertenecientes al lote de parcelas de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras.

Se obtuvieron los parámetros climatológicos a través del análisis de datos de la estación meteorológica automatizada GroWeather de UC Davis Instruments ubicada a 650 m del experimento. Los valores registrados por la estación sirvieron de base para estimar los datos de temperatura y pluviometría del Lote de Parcelas, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras.

Cultivo.

Se utilizaron plantas de pimiento dulce tipo “morrón” variedad “IKEA 20”. Éstas se trasplantaron en bolsas plásticas de 1.9 L después de 30 días en vivero. El distanciamiento entre plantas fue de 0.4 m, dos hileras por cama y 1.5 m entre camas, lo cual representa una densidad de 33,333 plantas por hectárea.

Sustrato.

El sustrato utilizado fue una mezcla de raquis de maíz molido y compost (mezcla 25:75 v/v). Se realizó un análisis químico del sustrato previo al trasplante en el cual el pH del sustrato se encontró dentro de la neutralidad y el aporte de N no fue significativo como para provocar un cambio en los tratamientos (Cuadro 1). El aporte de fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) no se tomó en consideración para el plan de fertilización

Cuadro 1. Análisis químico de sustrato utilizado para cultivo de pimiento previo al trasplante.

Muestra	pH	N _{total} (%)	mg/kg			
			P	K	Ca	Mg
Sustrato	6.92	2.75	1460	5054	4060	1309

Fuente: Laboratorio de Suelos de la EAP Zamorano, Honduras.

Riego.

El riego fue dado a través de un sistema por goteo con cintas de riego marca Eurodrip®. Estas tenían goteros distanciados a 40 cm, con de un caudal de 1.1 L/h. Los riegos fueron

de aproximadamente 20 minutos, tres veces al día, para un total de 0.77 m³ de agua por día. El drenaje fue de aproximadamente 7 % para todo el experimento. Se utilizó un total de 70.07 m³ de agua en toda la temporada.

Tratamientos.

Los tratamientos consistieron en dos factores: dosis y fuente de N. Las dosis de aplicación fueron 169 y 225 kg/ha de N. Las fuentes aplicadas fueron nitrato de amonio (NA) aplicado al drench y Optic-Set 38N aplicado pre-siembra, en proporciones de 25, 50, 75 y 100% de la dosis total. Se estableció un control absoluto al cual no se le aplicó N. Las proporciones de nitrato de amonio se abastecieron a través de tres aplicaciones al drench por semana (Cuadro 2).

Cuadro 2. Descripción de las dosis y proporciones de las fuentes de N utilizadas en los tratamientos para evaluar el efecto de la fertilización de liberación lenta en pimiento bajo estructura protegida en la EAP Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Dosis de N (kg/ha)	Aplicación de nitrato de amonio 33.5N al drench (%)	Aplicación pre-siembra de Optic-Set 38N (%)
1	0	0	0
2	169	100	0
3	169	75	25
4	169	50	50
5	169	25	75
6	169	0	100
7	225	100	0
8	225	75	25
9	225	50	50
10	225	25	75
11	225	0	100

Fertilización.

Se aplicó 112 kg/ha de fósforo (P₂O₅), 224 kg/ha de potasio (K₂O), 168 kg/ha de calcio (CaO) y 84 kg/ha de magnesio (MgO). Se hicieron tres aplicaciones por semana a través del fertirriego utilizando ácido fosfórico, sulfato de potasio, carbonato de calcio y sulfato de magnesio (Cuadro 3).

Cuadro 3. Fuente, dosis, tiempo y forma de aplicación para fósforo, potasio, calcio y magnesio.

Fuente	Dosis (kg/ha)	Tiempo	Forma
Ácido Fosfórico (0-60-20)	14	Semanal	Fertirriego
Sulfato de Potasio (0-0-50)	37	Semanal	Fertirriego
Carbonato de Calcio (0-0-0-40)	32	Semanal	Fertirriego
Sulfato de Magnesio (0-0-0-25)	25	Semanal	Fertirriego

Variables evaluadas.

Descriptivas. Se hicieron mediciones de pH y CE en la solución de sustrato durante todo el periodo del ensayo. Se utilizó un extractor de solución. Este se colocó en el medio y se creó un vacío o presión negativa en el mismo utilizando una jeringa. Posteriormente se regó para que el extractor se llenara de la solución del suelo, la cual fue extraída con una jeringa y colocada en un recipiente para luego hacer las mediciones de pH y CE utilizando un medidor multi-paramétrico HI98131 de Hanna Instruments.

Vegetativas. Se hizo una medición de biomasa foliar y radicular y un análisis de sustrato a las 4, 8 y 12 semanas después de trasplante (SDT). Para esto, se escogieron dos plantas por tratamiento de manera aleatoria. De éstas plantas se pesó el follaje y las raíces utilizando una balanza de un gramo de precisión y se extrajo una combinación del sustrato de ambas plantas la cual se colocó en bolsas plásticas para posterior análisis en laboratorio. También, se hizo un análisis foliar a las 8 SDT cuyo procedimiento consistió en tomar tres hojas de la parte apical, dos de la parte media y tres de la parte basal en plantas seleccionadas al azar por cada tratamiento. Estas hojas se colocaron en bolsas plásticas para luego ser analizadas en laboratorio.

Rendimiento. Se realizaron un total de cuatro cosechas a las 10, 11, 12 y 13 SDT. Los pesos se midieron usando una balanza de 0.01 libras de precisión y posteriormente se hizo una conversión de libras a gramos. Los frutos cosechados fueron clasificados en comerciales y no comerciales utilizando el sistema del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA 2005). Se midió el número y peso de frutos comerciales y no comerciales, el peso promedio de frutos comerciales y el número y peso total de frutos. (Cuadro 4).

Cuadro 4. Clasificación del pimiento dulce del sistema del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

Grado	Diámetro mínimo (cm)	Largo mínimo (cm)
"U.S. Fancy"	7.62	8.89
"U.S. No.1"	6.35	6.35
"U.S. No.2"	<6.35	<6.35

Fuente: USDA (2005).

Diseño experimental.

El diseño del experimento consistió en bloques completos al azar con 11 tratamientos, cuatro repeticiones y 16 plantas por parcela, para un total de 704 plantas.

Análisis estadístico. Para el análisis estadístico se utilizó el software Statistix 9.0. Primero se analizó la normalidad de los datos. Aquellos datos que tengan un valor de p menor a 0.05 no son normales y se procedió a transformarlos. Dado que después de la transformación aún hubo variables que no fueron normales, se combinaron todas las clasificaciones de los frutos en totales. Nuevamente se corrió la normalidad de los datos y aquellos que aún no

eran normales se transformaron con el log (x). Posteriormente, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) y una separación de medias utilizando el método de diferencia mínima significativa de Fisher, por sus siglas en inglés LSD.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La temperatura promedio durante el estudio fue de 24.7°C. Por otra parte, hubo altas precipitaciones desde mediados de mayo hasta inicios de junio, con un total de 433 mm durante la temporada, alcanzando un pico de 37 mm a inicios de junio (Figura 1).

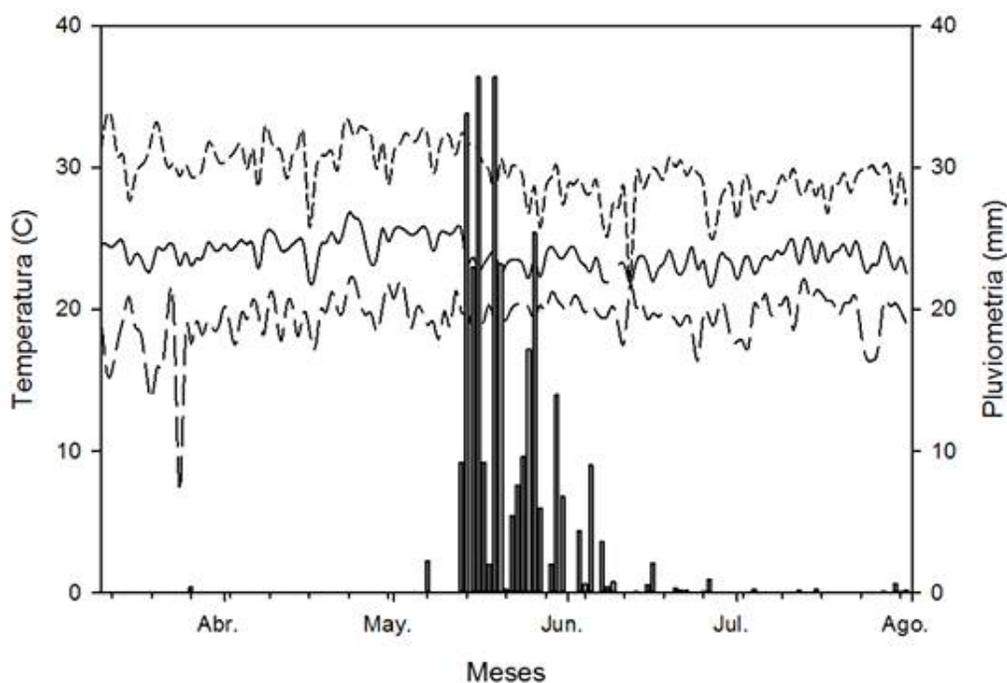


Figura 1. Pluviometría y temperatura de abril a agosto del 2018.

Variables descriptivas.

La conductividad eléctrica en la solución del sustrato osciló entre 0.25 y 2.5 dS/m, con un promedio de 1.22 dS/m durante todo el periodo del estudio. Estas irregularidades en la CE en el sustrato se atribuyen a las altas pluviometrías obtenidas desde finales de mayo hasta mediados de junio, las pudieron causar un lavado de nutrientes en el sustrato. Por otra parte, no se fertilizó en días con precipitaciones lluviosas para reducir el lavado de nutrientes. Debido a esto, en ocasiones hubo que aplicar el doble de la dosis estipulada por aplicación para compensar dichos días. Esto, pudo haber causado un incremento en la CE (Figura 2).

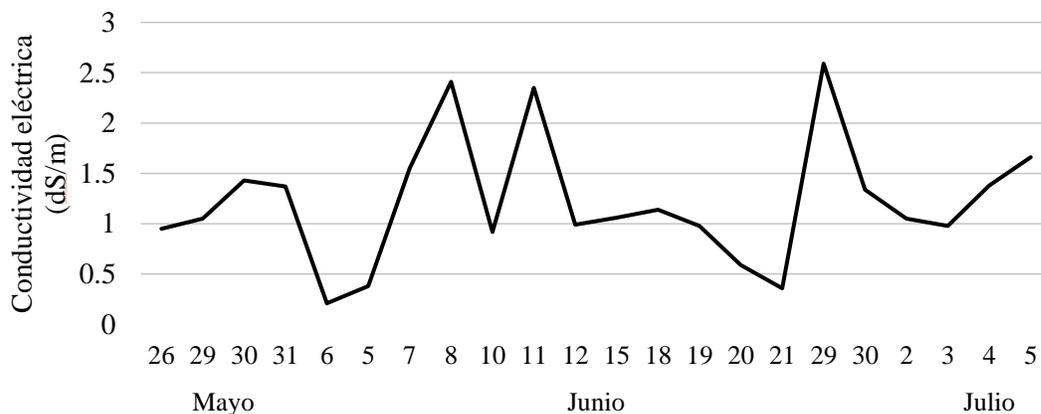


Figura 2. Conductividad eléctrica en la solución extraída del sustrato de raquis de maíz molido y compost (mezcla 25:75 v:v).

El pH en la solución del sustrato se encontró en un rango entre 5 y 8, con un promedio de 6.85 durante el estudio. Según Martínez (2005) el pH óptimo para la producción de pimiento oscila entre 6 y 6.8, por lo cual, el cultivo disponía de una buena disponibilidad de nutrientes para su desarrollo (Figura 3).



Figura 3. pH en la solución extraída del sustrato de raquis de maíz molido y compost (mezcla 25:75 v:v).

Variables vegetativas.

Para la respuesta de la biomasa foliar y radicular a dosis de N y FLL, solo hubo efecto del factor FLL sobre la variable de biomasa foliar a las 4 y 12 SDT y biomasa radicular a las 4 y 8 SDT. Se obtuvo la mayor producción de biomasa foliar a las 4 SDT al utilizar de 25 a 50% FLL, mientras que a las 12 SDT no hubo diferencia significativa en utilizar de 0 a 50% FLL. Es probable que esto haya sucedido debido a que la tasa de liberación del FLL no se asimilara a la tasa de absorción del cultivo al utilizar mayores porcentajes de FLL. Esto concuerda con Rose *et al.* (2004) y Trenkel (2010), que establecen que una de las desventajas de los FLL son las posibles liberaciones de nutrientes irregulares. Para la

respuesta de la biomasa radicular, a las 4 SDT se obtuvo la mayor producción de biomasa al utilizar de 25 a 50% FLL, mientras que a las 8 SDT se obtuvo la mayor biomasa utilizando de 50 a 75% FLL. Al utilizar 100% FLL el crecimiento radicular fue menor en comparación con los demás tratamientos. Esto pudo ser debido a que la planta no percibía cantidades óptimas de N a mayores proporciones de FLL. Monsalve *et al.* (2009), demostró que la biomasa radicular se ve afectada negativamente a medida que se reducen las concentraciones de N (Cuadro 5).

Cuadro 5. Respuesta de la biomasa foliar a las 4 y 12 semanas después de trasplante y de la biomasa radicular a las 4 y 8 semanas después de trasplante a la fertilización de liberación lenta pre-siembra y nitrato de amonio al drench.

Tratamiento			Biomasa radicular			
			Biomasa foliar (g/planta)		(g/planta)	
			4 SDT ^Φ	12 SDT	4 SDT	8 SDT
0%	FLL ^Ψ + 100%	NA ^ϕ	1.01 c ^²	136.25 a	1.01 c	136.25 a
25%	FLL + 75%	NA	1.32 a	135.53 a	1.32 a	135.53 a
50%	FLL + 50%	NA	1.43 a	122.56 ab	1.43 a	122.56 ab
75%	FLL + 25%	NA	1.07 bc	101.41 bc	1.07 bc	101.41 bc
100%	FLL + 0%	NA	1.19 c	85.88 c	1.19 b	85.88 c

SDT^Φ = semanas después de trasplante FLL^Ψ = fertilizante de liberación lenta

NA^ϕ = nitrato de amonio

^² = Letra distinta en las columnas indica diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$)

Se evaluaron las variables de biomasa foliar y radicular contra el control absoluto, para descartar la posibilidad de que el sustrato estuviese aportando suficientes nutrientes para un buen desarrollo del cultivo. Hubo un efecto de los tratamientos a las 4, 8 y 12 SDT para la biomasa foliar y radicular contra el control absoluto. El control absoluto obtuvo la menor producción de biomasa foliar con respecto al resto de los tratamientos, lo cual confirma que el sustrato no contenía suficientes nutrientes para el correcto desarrollo del cultivo (Cuadro 6). De igual forma, para la biomasa radicular a las 4, 8 y 12 SDT, el control absoluto obtuvo la menor producción de biomasa radicular (Cuadro 7). Para la concentración de N en el sustrato en respuesta a la dosis de N y FLL a las 4, 8 y 12 SDT, solo hubo un efecto para el factor dosis a las 8 SDT. La separación de medias muestra que a mayor dosis de N hubo mayor acumulación en el sustrato (Cuadro 8).

Cuadro 6. Respuesta de la biomasa foliar a la fertilización de liberación lenta pre-siembra y nitrato de amonio al drench contra el control absoluto a las 4, 8 y 12 semanas después de trasplante.

Tratamiento			Biomasa foliar (g/planta)		
			4 SDT ^Φ	8 SDT	12 SDT
0%	FLL [↳] + 100%	NA [Ⓞ]	10.50 d ^²	60.69 ab	136.25 a
25%	FLL + 75%	NA	22.00 b	63.63 ab	135.53 a
50%	FLL + 50%	NA	27.56 a	72.19 a	122.57 ab
75%	FLL + 25%	NA	12.38 cd	72.06 a	101.41 bc
100%	FLL + 0%	NA	16.50 c	52.06 b	85.88 c
0%	FLL + 0%	NA	4.38 e	11.63 c	35.06 d

SDT^Φ = semanas después de trasplante FLL[↳] = fertilizante de liberación lenta

NA[Ⓞ] = nitrato de amonio

^² = Letra distinta en las columnas indica diferencia estadística significativa (p ≤ 0.05)

Cuadro 7. Respuesta de la biomasa radicular a fertilización de liberación lenta pre-siembra y nitrato de amonio al drench contra el control absoluto a las 4, 8 y 12 semanas después de trasplante.

Tratamiento			Biomasa radicular (g/planta)		
			4 SDT ^Φ	8 SDT	12 SDT
0%	FLL [↳] + 100%	NA [Ⓞ]	12.38 c ^²	26.19 b	49.91 b
25%	FLL + 75%	NA	17.38 b	27.63 b	56.78 ab
50%	FLL + 50%	NA	22.75 a	43.19 a	66.04 a
75%	FLL + 25%	NA	15.13 bc	46.44 a	54.69 b
100%	FLL + 0%	NA	15.38 bc	32.81 b	60.63 ab
0%	FLL + 0%	NA	6.75 d	11.88 c	23.25 c

SDT^Φ = semanas después de trasplante FLL[↳] = fertilizante de liberación lenta

NA[Ⓞ] = nitrato de amonio

^² = Letra distinta en las columnas indica diferencia estadística significativa (p ≤ 0.05)

Cuadro 8. Efecto de dosis de nitrógeno en la concentración de nitrógeno en sustrato de raquis de maíz y compost (25:75 v:v) a las 8 semanas después de trasplante.

Análisis sustrato a las 8 SDT ^Φ	
Dosis (kg/ha)	N (%)
169	1.70 b ^²
225	1.86 A

SDT^Φ = semanas después de trasplante

^² = Letra distinta en las columnas indica diferencia estadística significativa (p ≤ 0.05)

Se obtuvo los mayores porcentajes de N foliar al utilizar de 0 a 25% FLL. Stagnari y Pisante (2012) evaluó varios FLL y convencionales en pimiento y obtuvo la mayor concentración de N en tallos y hojas utilizando fertilizantes convencionales. No obstante, al utilizar sustituciones de FLL de 0 a 100%, la concentración de N con relación al peso seco total de

la planta estuvo en suficiencia (1-5%) (Perdomo y Barbazán 2006), por lo cual esto no debería de causar una diferencia en el desarrollo de las plantas (Cuadro 9).

Cuadro 9. Efecto de la fertilización de liberación lenta pre-siembra y nitrato de amonio al drench en la concentración de nitrógeno en el tejido foliar a las 8 SDT.

Análisis foliar a las 8 SDT^Φ		
Tratamiento		N (%)
0%	FLL [Ⓝ] + 100% NA [Ⓞ]	4.68 A
25%	FLL + 75% NA	4.40 Ab
50%	FLL + 50% NA	4.12 Bc
75%	FLL + 25% NA	3.90 C
100%	FLL + 0% NA	3.28 D

SDT^Φ = semanas después de trasplante FLL[Ⓝ] = fertilizante de liberación lenta

NA[Ⓞ] = nitrato de amonio

[Ⓢ] = Letra distinta en las columnas indica diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$)

Variables de rendimiento

Para el efecto de la dosis y la FLL en el rendimiento, hubo efecto para el factor dosis en el peso promedio de frutos comerciales y para el factor FLL en todas las variables de rendimiento (número de frutos comerciales y no comerciales, peso de frutos comerciales y no comerciales y peso promedio de frutos comerciales). Se obtuvo que al utilizar una dosis de 225 kg/ha de N aumentó el peso promedio de fruto comercial en un 9% comparado con 169 kg/ha. Hüvely *et al.* (2014) realizó un estudio en donde se evaluó el efecto de diferentes dosis de N, P y K (150-300-150; 300-600-300; 450-900-450; 600-1200-600 kg/ha respectivamente) en el rendimiento del pimiento y concluyó que a mayores dosis de N, P y K hay un incremento en el rendimiento total (Cuadro 10).

Cuadro 10. Efecto de dosis de nitrógeno en el peso promedio de frutos comerciales.

Dosis (kg/ha)	Peso promedio de frutos comerciales (g/fruto)
225	182.38 a [Ⓢ]
169	166.31 B

[Ⓢ] = Letra distinta en las columnas indica diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$)

Al utilizar sustituciones de 0 a 50% FLL se obtuvo la mayor cantidad de frutos comerciales. Por otra parte, al usar de 25 a 100% FLL se obtuvo la mayor cantidad de frutos no comerciales (Cuadro 11). Al evaluar el efecto de FLL en el peso de frutos, se obtuvo que usar de 0 a 50% FLL resultó en un mayor peso de frutos comerciales. Sustituciones de 25 a 100% FLL resultaron en un mayor peso de frutos no comerciales y utilizando de 0 a 25% FLL se obtuvo los mayores pesos promedios de frutos comerciales (Cuadro 12). Estos datos concuerdan con Koivunen y Horwath (2005) en donde no encontraron diferencias

significativas en utilizar 50% FLL pre-siembra y 100% urea en la calidad y rendimiento del tomate.

Cuadro 11. Efecto de la fertilización de liberación lenta pre-siembra y nitrato de amonio al drench en el número de frutos comerciales y no comerciales.

Tratamiento			Número de frutos/planta	
			Comerciales	No comerciales
0%	FLL [Ⓚ] + 100%	NA [Ⓛ]	0.69 abc [ⓐ]	0.75 b
25%	FLL + 75%	NA	0.82 ab	1.19 a
50%	FLL + 50%	NA	0.90 a	1.33 a
75%	FLL + 25%	NA	0.57 bc	1.37 a
100%	FLL + 0%	NA	0.45 c	1.30 a

FLL[Ⓚ] = fertilizante de liberación lenta NA[Ⓛ] = nitrato de amonio

[ⓐ] = Letra distinta en las columnas indica diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$)

Cuadro 12. Efecto de la fertilización de liberación lenta pre-siembra y nitrato de amonio al drench en el peso de frutos comerciales, no comerciales y peso promedio de frutos comerciales.

Tratamiento			Peso de frutos		Promedio comerciales (g/fruto)
			Comerciales (g/planta)	No comerciales (g/planta)	
0%	FLL [Ⓚ] + 100%	NA [Ⓛ]	122.39 ab [ⓐ]	112.21 b	178.18 ab
25%	FLL + 75%	NA	155.58 a	188.92 a	190.97 a
50%	FLL + 50%	NA	152.74 a	197.66 a	174.50 bc
75%	FLL + 25%	NA	95.12 bc	194.18 a	165.97 bc
100%	FLL + 0%	NA	72.50 c	172.29 ab	162.13 c

FLL[Ⓚ] = fertilizante de liberación lenta NA[Ⓛ] = nitrato de amonio

[ⓐ] = Letra distinta en las columnas indica diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$)

Posteriormente, se evaluaron los tratamientos contra el control absoluto en las variables de rendimiento, para lo cual hubo un efecto en todas las variables. El control absoluto obtuvo los valores más bajos para estas variables, lo cual demuestra la premisa de que el sustrato no proveía nutrientes en cantidades necesarias para el desarrollo del cultivo (Cuadro 13). De igual forma, el control absoluto resultó en los menores pesos de frutos comerciales, no comerciales y el peso promedio de los frutos comerciales (Cuadro 14).

Cuadro 13. Efecto de la fertilización de liberación lenta pre-siembra y nitrato de amonio al drench contra el control absoluto en el número de frutos comerciales y no comerciales.

Tratamiento	Número de frutos/planta	
	Comerciales	No comerciales
0% FLL [♯] + 100% NA [Ⓢ]	0.69 abc [Ⓐ]	0.75 b
25% FLL + 75% NA	0.82 ab	1.19 a
50% FLL + 50% NA	0.90 a	1.33 a
75% FLL + 25% NA	0.57 bc	1.37 a
100% FLL + 0% NA	0.45 c	1.30 a

FLL[♯] = fertilizante de liberación lenta NA[Ⓢ] = nitrato de amonio

[Ⓐ] = Letra distinta en las columnas indica diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$)

Cuadro 14. Efecto de la fertilización de liberación lenta pre-siembra y nitrato de amonio al drench contra el control absoluto en el peso de frutos comerciales, no comerciales y peso promedio de frutos comerciales.

Tratamiento	Peso de frutos		
	Comerciales (g/planta)	No comerciales (g/planta)	Promedio comerciales (g/fruto)
0% FLL [♯] + 100% NA [Ⓢ]	122.38 ab [Ⓐ]	112.21 b	178.18 ab
25% FLL + 75% NA	155.59 a	188.92 a	190.97 a
50% FLL + 50% NA	152.73 a	197.67 a	174.50 bc
75% FLL + 25% NA	95.12 b	194.18 a	165.97 bc
100% FLL + 0% NA	72.49 b	172.29 a	162.13 c
0% FLL + 0% NA	0.00 c	22.82 c	0.00 d

FLL[♯] = fertilizante de liberación lenta NA[Ⓢ] = nitrato de amonio

[Ⓐ] = Letra distinta en las columnas indica diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$)

Posterior a esto, se evaluó el efecto de la dosis y FLL en el número y peso combinado de las categorías de clasificación. En esta evaluación hubo un efecto para el factor FLL en el número y peso total de frutos. Los resultados muestran que el uso de 25 a 75% FLL obtuvo un mayor número y peso de frutos totales que el resto de los tratamientos, lo cual indica que la utilización de estos FLL pueden aumentar los rendimientos de los cultivos (Trenkel 2010 y Castro 2014) (Cuadro 15).

Cuadro 15. Efecto de la fertilización de liberación lenta pre-siembra y nitrato de amonio al drench en el número y peso total de frutos.

Tratamiento	Rendimiento total	
	Número de frutos/planta	Peso de frutos (g/planta)
0% FLL [♭] + 100% NA [♭]	1.44 c [♭]	234.59 b
25% FLL + 75% NA	2.01 ab	344.51 a
50% FLL + 50% NA	2.23 a	350.40 a
75% FLL + 25% NA	1.94 ab	289.29 ab
100% FLL + 0% NA	1.75 bc	244.79 b

FLL[♭] = fertilizante de liberación lenta NA[♭] = nitrato de amonio

[♭] = Letra distinta en las columnas indica diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$)

4. CONCLUSIONES

- La dosis de N solo tuvo un efecto en el porcentaje de N en el sustrato a las 8 SDT y en el peso promedio de fruto comercial.
- Usar dosis de 169 o 225 kg/ha de N no representa diferencias significativas para el número de frutos comerciales y no comerciales y peso de frutos comerciales y no comerciales.
- No hubo diferencia entre utilizar fertirriego y combinaciones de 25 a 50% de FLL para las variables de rendimiento comercial y producción de biomasa foliar y radicular.

5. RECOMENDACIONES

- Evaluar el efecto de dosis menores a 169 kg/ha de N.
- Evaluar sustituciones de fertilizante de liberación lenta pre-siembra entre 75 y 100%.
- Evaluar la rentabilidad de la aplicación pre-siembra del fertilizante de liberación lenta en sistemas productivos del cultivo de pimiento.
- Evaluar el experimento en contenedores de mayor volumen con diferentes medios de siembra.
- Evaluar las pérdidas totales de N del medio de crecimiento.

6. LITERATURA CITADA

- Ballester-Olmos J. 1998. Fertilizantes de acción lenta encapsulados. [Consultado el 11 de junio del 2018]. https://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1995_11.pdf
- Barbieri P, Echeverría H y Rozas H. 2003. Respuesta del cultivo de maíz bajo siembra directa a la fuente y al método de aplicación nitrógeno. [Consultado el 31 de julio del 2018]. http://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_21n1/barbieri_18-23.pdf
- Barbieri P, Echeverría H, Rozas H, y Mariólogo M. 2010. Fertilización de maíz con urea de liberación lenta: pérdida por volatilización y eficiencia de uso de nitrógeno. [Consultado el 25 de julio del 2018] http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S185020672010000100007#fig2
- Castro C. 2014. Efecto de los fertilizantes de liberación controlada sobre el desarrollo de plantas de cacao (teobroma cacao), en vivero, en Santo Domingo de los Tsáchilas 2011. [Consultado el 9 de agosto del 2018]. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8542/1/T-ESPE-002700.pdf>
- Daza M. 2015. Efecto de abonos de liberación lenta en la lixiviación de nitratos y nutrición nitrogenada en estevia. [Consultado el 16 de agosto del 2018]. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v9n1/v9n1a10.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) 1993. Erosión de suelos en América Latina. <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S00.htm#Contents>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) e IFA (Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes) 2002. Los fertilizantes y su uso. 4a ed. Roma: FAO; IFA. 83 p. ISBN: 9789253044146.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) e IFA (Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes) 2004. Estimaciones globales de las emisiones gaseosas de NH₃, NO y N₂O provenientes de las tierras agrícolas. Roma: FAO; IFA. x, 110. ISBN: 9789253046898. Pág. 59-60. <http://www.fao.org/3/a-y2780s.pdf>

- Guertal E. 2000. Preplant slow-release nitrogen fertilizers produce similar bell pepper yields as split applications of soluble fertilizer. *Agronomy Journal*. 92(2):388–393. doi:10.2134/agronj2000.922388x.
- Guertal, E. 2009. Slow-release nitrogen fertilizers in vegetable production: A review. [Consultado el 15 de noviembre del 2017]. <https://pdfs.semanticscholar.org/5b2a/2b39538bee5ee1b81f322641e54e742edd82.pdf>
- Hüvely A, Pető J, Taskovics Z. 2014. The effects of different NPK doses of red pepper's yield and vegetative parts. ISBN: 1584-2665. <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=9&sid=2c1d80ff-ca6b-46e9-80c1-b65b7333e482%40sessionmgr103>
- Koivunen M, Horwath W. 2005. Methylene urea as a slow-release nitrogen source for processing tomatoes. [Consultado el 4 de agosto del 2018]. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs10705-004-2214-7.pdf>
- Liu G, Zotarelli L, Li Y, Dinkins D, Wang Q, Ozores-Hampton M. 2014. Controlled-Release and Slow-Release Fertilizers as Nutrient Management Tools. [Consultado el 22 de noviembre del 2017]. <http://edis.ifas.ufl.edu/hs1255>
- Locascio S, Fiskell J. 1973. Watermelon Response to Sulfur-Coated Urea, Mulches and Nitrogen Rates. [https://fshs.org/proceedings-o/1973-vol-86/201-204%20\(LOCASCIO\).pdf](https://fshs.org/proceedings-o/1973-vol-86/201-204%20(LOCASCIO).pdf).
- Martínez S. 2005. Conjunto tecnológico para la producción de pimiento. [Consultado el 30 de julio del 2018]. <http://136.145.11.14/eea/wp-content/uploads/sites/17/2016/03/PIMIENTO-Suelo-y-Preparaci%C3%B3n-del-Terreno-v2005.pdf>
- Monsalve J, Escobar R, Acevedo M, Sánchez M, Coopman R. 2009. Efecto de la concentración de nitrógeno sobre atributos morfológicos, potencial de crecimiento radical y estatus nutricional en plantas de *Eucalyptus globulus* producidas a raíz cubierta. [Consultado el 30 de julio del 2018]. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002009000200004
- Morgan K, Cushman K, Sato S. 2009. Release mechanisms for slow- and controlled-release fertilizers and strategies for their use in vegetable production. Department of Soil and Water Science. <http://horttech.ashspublications.org/content/19/1/10.full>
- Perdomo C, Barbazán M. 2006. Nitrógeno. <http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/publica/Tomo%20N.pdf>

- Ráquira Í. 2014. Preparación y evaluación en suelo de fertilizantes de liberación controlada (NPK) cubiertos con polímeros biodegradables. Preparación y evaluación en suelo de fertilizantes de liberación controlada (NPK) cubiertos con polímeros biodegradables. [Consultado el 3 agosto del 2018]. <http://bdigital.unal.edu.co/37249/1/1197557.2014.pdf>
- Rose R, Hasse D, Arellano E. 2004. Fertilizantes de entrega controlada: potencial para mejorar la productividad de la reforestación. [Consultado el 7 de agosto del 2018]. https://www.researchgate.net/publication/240841135_Fertilizantes_de_entrega_controlada_Potencial_para_mejorar_la_productividad_de_la_reforestacion
- Sharma G, Patel A, Mays D. 1976. Effects of sulfur-coated urea on yield, N uptake, and nitrate content in turnip greens, cabbage and tomato. J.Am. Soc. Hort. Sci. 101:142-145.
- Stagnari F, Pisante M. 2012. Slow release and conventional N fertilizers for nutrition of bell pepper. [Consultado el 5 de agosto del 2018]. <https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/66741.pdf>
- Trenkel M. 2010. Slow- and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture. [Consultado el 10 de agosto del 2018]. https://www.fertilizer.org/images/Library_Downloads/2010_Trenkel_slow%20release%20book.pdf
- USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) 2005. United States Standards for Grades of Sweet Peppers. [Consultado el 15 junio del 2018]. https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Sweet_Pepper_Standard%5B1%5D.pdf
- Valencia M. 2014. Evaluación de la eficacia de fertilizantes de liberación controlada (CRF) en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* var. Itálica). [Consultado el 5 de noviembre del 2017]. <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/6513/1/Tesis-67%20%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20207.pdf>