

Evaluación de fuentes y dosis de potasio en el rendimiento y calidad del cultivo de papaya

Luis Adan Quesada Castillo

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Honduras

Noviembre, 2017

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Evaluación de fuentes y dosis de potasio en el rendimiento y calidad del cultivo de papaya

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

Presentado por

Luis Adan Quesada Castillo

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2017

Evaluación de fuentes y dosis de potasio en el rendimiento y calidad del cultivo de papaya

Luis Adan Quesada Castillo

Resumen. La papaya (*Carica papaya* L.) es muy apetecida en el mercado de frutas tropicales. El potasio es un nutriente asociado a la calidad y producción en la papaya. Existen dos fuentes principales de potasio, el cloruro y sulfato y una gran variabilidad de respuestas obtenidas con el uso de ambas fuentes en interacción con dosis. Los iones acompañantes en las moléculas comerciales de los fertilizantes pueden jugar un papel prioritario en rendimiento y calidad en este cultivo. Es posible entonces, establecer la hipótesis que la respuesta del cultivo está influenciada por la interacción dosis y fuente de potasio en un sistema de producción. Los objetivos fueron estudiar la interacción de cuatro dosis y dos fuentes de potasio en el rendimiento y calidad de la papaya y evaluar los efectos de los iones acompañantes de cada fuente. Se probaron cuatro dosis de potasio (100, 200, 300 y 400 kg/ha/siete meses) en interacción con dos fuentes (cloruro y sulfato) establecidos en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La interacción dosis y fuente no resultó en diferencia significativa ($p>0.05$) para las variables agronómicas (diámetro y altura de planta) ni de producción (rendimiento, número de frutos y peso promedio de frutos), con un rendimiento promedio de 1,664 kg/ha en dos meses de producción. La calidad de los frutos se afectó positivamente con 300kg/ha de K_2O con cloruro de potasio en siete meses que incrementó en la fruta los grados Brix a 13.1 a los cinco días de maduración.

Palabras clave: Grados Brix; iones acompañantes; K_2O .

Abstract. Papaya (*Carica papaya* L.) is very desirable in tropical fruits market worldwide. Potassium is a nutrient associated to papaya production and quality. There are two main potassium sources, chloride and sulphate and a great variability of response from both sources in interaction with doses. Even more, the accompanying ions in commercial fertilizers molecules can exert a priority role on yield and quality of this crop. It is possible thus, to establish the hypothesis that the crop response is influenced by the interaction of potassium doses and on a production system. The objectives were study the interaction of four doses and two sources of potassium on papaya yield and quality and evaluate the effects of the accompanying ions from each source. They were tested four potassium doses (100, 200, 300 and 400 kg/ha/seven months) in interaction with two sources (chloride and sulphate) established in random complete blocks with four replicas. The interaction of dose and source do not result significantly different ($p>0.05$) on agronomic variables (plant diameter and height) nor on production variable (yield, fruits number and fruit average weight) with an average yield of 1,664 kg/ha in two production months. The fruit quality was affected positively with 300kg/ha of K_2O with potassium chloride in seven months that increased the brix to 13.1 at five days of ripening.

Key words: Brix; accompanying ions; K_2O .

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. METODOLOGÍA.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	7
4. CONCLUSIONES.....	13
5. RECOMENDACIONES.....	14
6. LITERATURA CITADA.....	15
7. ANEXOS.....	18

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Análisis de suelos de una parcela experimental del lote Vega 4 de Monte Redondo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.....	3
2. Extracción de nutrientes por el cultivo de la papaya.....	3
3. Tratamientos en la evaluación de fuentes y dosis de potasio en el rendimiento y calidad del cultivo de papaya en el lote Vega 4, Monte Redondo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.....	5
4. Significancia estadística de los factores dosis y fuente de potasio y su interacción en el diámetro y altura de planta a las 8, 16 y 24 semanas después del trasplante en una producción de papaya en el lote Vega 4, Monte Redondo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.	7
5. Significancia estadística de los factores dosis y fuente de potasio y su interacción en el rendimiento, número de frutos y peso promedio de frutos comerciales en una producción de papaya en el lote Vega 4, Monte Redondo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras.	8
6. Significancia estadística de los factores dosis y fuente de potasio y su interacción en el rendimiento, número de frutos y peso promedio de frutos no comerciales en una producción de papaya en el lote Vega 4, Monte Redondo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.	8
7. Significancia estadística de los factores dosis y fuente de potasio y su interacción en el rendimiento, número de frutos y peso promedio de frutos totales en una producción de papaya en el lote Vega 4, Monte Redondo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.....	9
8. Efecto de la fuente de potasio, dosis de potasio y tiempo de maduración sobre los grados Brix de los frutos de una producción de papaya en el lote Vega 4, Monte Redondo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.	10
9. Comparación del efecto sobre los grados Brix entre una fertilización potásica y no fertilización en una producción de papaya en el lote Vega 4, Monte Redondo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.	10
Figuras	Página
1. Temperatura máxima, mínima, promedio y precipitación durante los meses de noviembre 2016 y septiembre 2017 en el lote Vega 4, Monte Redondo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.....	4
2. Expansión radicular en una planta de papaya en la evaluación de fuentes y dosis de potasio en el rendimiento y calidad del cultivo de papaya en el lote Vega 4, Monte Redondo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.	7

3. Variación del pH del suelo de acuerdo a los tratamientos aplicados en la evaluación de fuentes y dosis de potasio en el rendimiento y calidad de la papaya en el lote Vega 4, Monte Redondo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.....	11
4. Cantidades de nitrógeno, potasio, cloro y azufre en muestras foliares de los tratamientos testigo, KCl•300 y K ₂ SO ₄ •400 en la evaluación de fuentes y dosis de potasio en rendimiento y calidad de la papaya en el lote Vega 4, Monte Redondo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.....	12
5. Tendencia de promedios de los grados Brix y dureza con respecto a los tratamientos en la evaluación de fuentes y dosis de potasio en el rendimiento y calidad de la papaya en el lote Vega 4, Monte Redondo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.....	12

Anexos	Página
1. Esquema general del movimiento de K ⁺ en las plantas (Epstein 1963) adaptado por Britto et al. 2008.....	18

1. INTRODUCCIÓN

La papaya (*Carica papaya* L.) es el cuarto cultivo tropical más importante detrás del banano, mango y piña a nivel mundial (Evans et al. 2015). La producción mundial en el 2014 fue 12,6 millones de toneladas distribuidas en más de 60 países. Sin embargo, solo un 3% de la producción fue destinada a la exportación generando ingresos de US\$200 millones (Evans et al. 2015). La mayoría de la producción está centrada en Asia con 61% de la producción mundial (FAO 2014). El consumo per cápita de papaya incrementó en 84% entre el 1980 y 2015, de 0.21 lb/persona a 1.32 lb/persona (USDA 2015).

La papaya posee tres etapas fisiológicas: crecimiento, floración y formación del fruto, y producción, donde presenta cambios en su tasa fotosintética y asimilación de nutrientes (Gomes et al. 2007). La expansión del área foliar suele ser asociada a una mayor capacidad fotosintética y asimilación de nutrientes (Paull et al. 2000). El potasio (K^+) afecta la fotosíntesis por su propiedad osmorreguladora, cerrando y abriendo estomas, interviniendo en el ingreso de CO_2 y en la transpiración de la planta (Marschner 1995). Además, interviene en la translocación de fotosintatos dentro de la planta (Mengel 1997).

El K^+ es el macronutriente que más interfiere en la calidad de fruto (Kumar, Kumar, et al. 2006). La presencia de K^+ activa cerca de 60 enzimas necesarias para el aprovechamiento de energía, producción de carbohidratos, azúcares y metabolismo de nitrógeno (Wallingford y Darst 1980). Cerca del 40% del K^+ extraído en un año de producción es absorbido al iniciar la etapa de producción del cultivo (Coelho et al. 2007).

El K^+ contenido en fertilizantes se expresa como óxido de potasio (K_2O). La disponibilidad de potasio está afectada por las propiedades físicas y químicas del suelo (Brady 1974). Dado esto los requerimientos de K^+ en la papaya rondan los 65 g/planta de K_2O al año (Kumar et al. 2010). La cantidad óptima de K^+ en la materia seca de las plantas varía entre 2-5% y niveles menores pueden promover deficiencias (Marschner 1986). La deficiencia de K^+ reduce la capacidad fotosintética de la planta, la calidad de los frutos se afecta y en las hojas se observa clorosis en los bordes (Zekri y Obreza 2016).

Para suplir el requerimiento de K^+ de las plantas existen varias fuentes, sin embargo, el cloruro de potasio (KCl) y sulfato de potasio (K_2SO_4), son las más comúnmente utilizadas (Kafkafi et al. 2001; IFA 2014). Estas dos fuentes difieren en su formulación química y contenido, afectando potencialmente la respuesta de la planta. El KCl se obtiene de la silvita, con un porcentaje de K_2O entre 60-62%, calificado como el fertilizante con mayor contenido de K_2O en el mercado (Kafkafi et al. 2001).

El cloro (Cl^-) contenido en el KCl es comúnmente asociado a toxicidad y efectos detrimentales en las plantas (Xu et al. 2000). Sin embargo, el Cl^- es un micronutriente que interviene en el desarrollo de la planta y se encuentra en un rango de 0.3-1 mg/g de materia seca (Marschner 1986). El Cl^- es esencial en el mecanismo del cierre y apertura de estomas, mantiene la turgencia de las células, es parte del proceso de oxidación de la molécula de agua en el fotosistema dos y además su deficiencia se refleja con marchitez y reducción del área foliar (Najafpour et al. 2012).

El K_2SO_4 contiene 50% de K_2O y es fuente secundaria de azufre (S^{2-}) (IPNI 2015). El K_2SO_4 es extraído de los minerales kainita y schoenita aunque existen otros métodos para su obtención (IPNI 2015). Este fertilizante suele usarse cuando el contenido de Cl^- en el suelo es alto y el Cl^- contenido en el KCl es indeseable (IPNI 2015). El S^{2-} contenido en el K_2SO_4 es absorbido por la planta en su forma de sulfato y se encuentra entre el 0.1-0.5% del peso seco de las plantas (Marschner 1986). El S^{2-} puede reducir el pH del suelo afectando la disponibilidad de nutrientes (Wiedenfeld 2011). La deficiencia de S^{2-} en las plantas se refleja como deficiencia de nitrógeno (N) y la producción expresa bajos rendimientos (Hawkesford 2000). Esto se debe a que existe una relación directa entre la absorción de N y S (Leustek 2002). Estudios sugieren que la relación N/S es de 12:1 en algunas plantas (Geist 1976).

Además de las diferencias químicas entre fuentes de K^+ , también existe una diferencia de mercado. El Este asiático es el mayor consumidor de K_2O con 37.4% del consumo mundial, le siguen Latinoamérica y Norteamérica con 26.1% y 14.9% respectivamente (IFA 2014). El KCl es el más utilizado con 97% del consumo mundial, mientras que el K_2SO_4 solo en un 3% (IFA 2014). La razón de la brecha en el consumo se puede deber al precio. En Norteamérica el costo de una tonelada de KCl es de US\$178, mientras el K_2SO_4 posee un costo de US\$709/ton, esto es 400% más elevado que el costo del KCl (Potash Ridge 2016).

Dado la gran variabilidad de respuestas obtenidas con el uso de ambas fuentes, y los potenciales beneficios o desventajas de los iones acompañantes contenidos en estas, es posible establecer la hipótesis que la respuesta en rendimiento y calidad de la papaya a la aplicación de K_2O y su relación con Cl^- y S, puede estar relacionada a la dosis final de aplicación; Los objetivos de este estudio fueron:

- Determinar la interacción de cuatro dosis y dos fuentes de potasio en el rendimiento y calidad de la papaya.
- Evaluar si los efectos de los iones acompañantes de cada fuente son determinantes en los resultados estudio.

2. METODOLOGÍA

Localización. El estudio se realizó entre el 01 de diciembre del 2016 al 30 de agosto del 2017, en el lote Vega 4 de Monte Redondo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras (14° 0' 50" N, 87° 0' 50" O).

Cultivo. Se estableció papaya var. Red lady. La variedad puede crecer hasta tres metros de altura y su cosecha inicia a partir del séptimo mes después de su trasplante. Los rendimientos fueron de 80 toneladas por hectárea. Esta variedad está adaptada a las condiciones de los trópicos y subtropicos.

Condiciones edáficas. Previo al estudio se realizó un análisis de suelo para conocer las condiciones del medio donde se desarrollaría el cultivo (Cuadro 1). Se determinaron los niveles (bajo, medio y alto) de nutrientes contenidos en el suelo. Los niveles de los nutrientes fueron: el nitrógeno, calcio y magnesio en bajo contenido y un nivel adecuado para fósforo, potasio y azufre.

Cuadro 1. Análisis de suelos de una parcela experimental del lote Vega 4 de Monte Redondo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Textura	pH	g/100g		mg/kg			
		N	P	K	Ca	Mg	Na
Franco- Arcilloso	5.7	0.15	21	283	1,544	194	16

Fuente: Laboratorio de Suelos Zamorano

Plan de fertilización. A partir del contenido de nutrientes del suelo y las extracciones de nutrimentos de la papaya se estableció un plan de fertilización conformado por 150 kg/ha de nitrógeno, 100 kg/ha de calcio (CaO) y 50 kg/ha de magnesio (MgO).

Cuadro 2. Extracción de nutrientes por el cultivo de la papaya.

Nutriente	Requerimiento (kg/ha)
Nitrógeno	140.0
Fósforo (P ₂ O ₅)	13.5
Potasio (K ₂ O)	145.0
Calcio (CaO)	50.0
Magnesio (MgO)	22.0

Fuente: Gomes et al. 2007.

Condiciones climáticas. La temperatura promedio fue de 22°C, con una máxima de 35°C y una mínima de 6°C, con una precipitación acumulada de 986.2 mm (Figura 1).

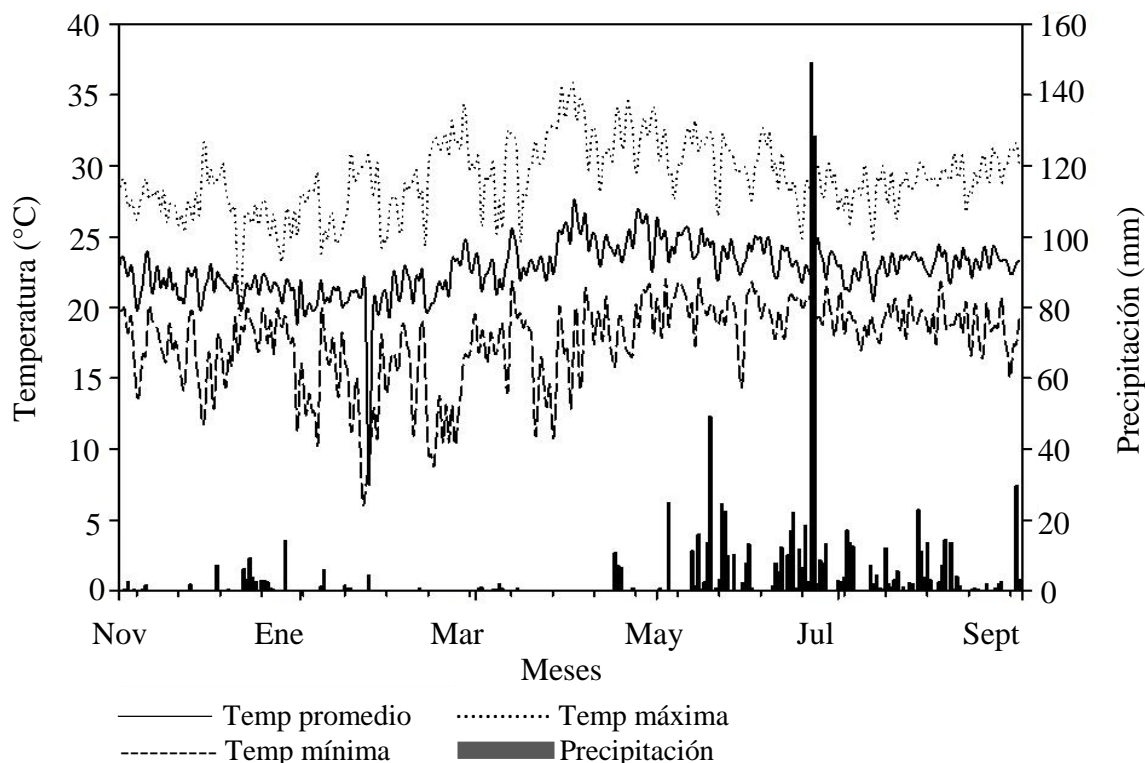


Figura 1. Temperatura máxima, mínima, promedio y precipitación durante los meses de noviembre 2016 y septiembre 2017 en el lote Vega 4, Monte Redondo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Prácticas culturales. Previo al estudio, se realizaron las prácticas de preparación del suelo hasta obtener camas de siembra de 25 cm de altura, 35 m de largo y 75 cm de ancho para posteriormente hacer la instalación del riego y trasplante de plántulas de papaya. El día jueves 01 de diciembre del año 2016, se realizó el trasplante de 135 plantas de papaya con una altura promedio de 30 cm. El trasplante se efectuó a un distanciamiento de 1.5 m entre plantas y 2 m entre hileras con una densidad de siembra de 2,222 plantas/ha. Se realizó el primer desmalezado. El día viernes 02 de diciembre del 2016 se realizó la primera aplicación de sanitización de las plantas con el producto Vidate® a una dosis de 6.25 cm³/L de agua. Se utilizó un total de 18 L de la mezcla en la parcela y luego se realizó el primer riego. Dado el establecimiento del cultivo, se calendarizaron las prácticas de desmalezado, aplicaciones de pesticidas, fertilización y poda. Esta calendarización consistió en realizar labores de poda y aplicaciones químicas en semanas intercaladas con las predispuestas con actividades de desmalezado y fertilización. Las podas consistieron en la eliminación de material vegetativo en senescencia mediante el uso de tijeras podadoras. Para evitar la

contaminación producida por hongos en las heridas causadas por las podas se realizaron aplicaciones de fungicidas posteriores a estas.

La principal enfermedad a controlar fue antracnosis causada por *Colletotrichum* spp. Los principales insectos a controlar fueron el saltahoja (*Empoasca papayae*) y la mosca de la papaya (*Toxotrypana curvicauda*). Los productos utilizados para el control fueron: Vydate®, GF120™, Silvacur®, “Abamectin”, “Mancozeb”, “Trichoderma”, Regalia®, MegaCobre®, Acrobat®, “Chlorothalonil” y “Break thru”.

El control de malezas se hizo manual con el uso de azadón. La deshierba se realizó días antes de la fertilización para facilitar las aplicaciones de fertilizantes. Se realizó una aplicación de fosfato diamónico (DAP) presiembra como solución arrancadora. Luego del primer mes de establecido el cultivo se iniciaron las fertilizaciones cada dos semanas durante 7 meses. Cada fertilización se dividió en dos etapas, la primera etapa fue la fertilización de mantenimiento del cultivo con las fuentes de nitrato de calcio, sulfato de magnesio y urea. La segunda etapa fue la aplicación de los tratamientos. Después de cada aplicación de los fertilizantes se regó por dos horas.

Irrigación. El riego se estableció utilizando cintas de goteo de la marca Eurodrip® con un caudal de 1 L/h. Se colocó dos cintas por cada cama de siembra, con un distanciamiento entre goteros de 20 cm. El horario de riego fue predispuesto según por los horarios establecidos para las unidades de producción de la zona, el cual no era modificable. Dicho horario era de dos horas de riego los días lunes, miércoles y viernes. No se recurrió al riego los días que la precipitación causaba escorrentía.

Tratamientos. Se establecieron dos fuentes de K⁺, KCl y K₂SO₄ con cuatro niveles de aplicación (100, 200, 300 y 400 kg/ha/siete meses) de K₂O. Además, se contó con un testigo relativo sin aplicación de K⁺ para un total de 9 tratamientos. Las aplicaciones potásicas iniciaron el 11 de enero del 2017 y terminaron el 12 de julio del 2017, justo en la transición de etapa de floración y formación de frutos a etapa productiva. Se utilizaron fertilizantes en su forma sólida. Las cantidades fraccionadas de fertilizante por planta se midieron con una copa de 25 cm³ aplicados en media luna a pie de planta (Cuadro 3).

Cuadro 3. Tratamientos en la evaluación de fuentes y dosis de potasio en el rendimiento y calidad del cultivo de papaya en el lote Vega 4, Monte Redondo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Fertilizante	Nivel (kg/ha/K₂O/siete meses)
Cloruro de potasio.	100
	200
Sulfato de potasio.	300
	400
Sin fertilizar	0

Variables evaluadas.

Las variables medidas fueron diámetro y altura de planta, rendimiento y calidad de los frutos. El rendimiento se evaluó en las categorías comercial, no comercial y rendimiento total. En la organoléptica de los frutos se midió por sus grados Brix y dureza.

Diámetro y Altura.

La altura fue medida con un metro desde el pie de la planta a la bifurcación más alta a las 8, 16 y 24 semanas después del trasplante (SDT). El diámetro se midió con un pie de rey en centímetros a las 8, 16 y 24 SDT.

Rendimiento.

La cosecha inició el 26 de junio del 2017 y finalizó el 28 de agosto del 2017. Para las variables de rendimiento se tomó el peso total, número de frutos y peso promedio de los frutos y se determinó su categoría (comercial y no comercial) el mismo día de cosecha. Deformaciones y la infestación por larvas de la mosca de la papaya fueron los parámetros para determinar la categoría de los frutos.

Grados Brix y dureza.

Para los análisis organolépticos se cosecharon los frutos por tratamientos en canastas independientemente de su repetición y luego fueron tomados tres frutos por tratamiento al azar. Los frutos se analizaron en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ). Para el análisis de grados Brix se tomaron muestras de 5 lugares distintos de los frutos desde su parte apical hasta la caudal usando un refractómetro análogo. La dureza se midió por la resistencia a la deformación de la pulpa (newton) con un texturómetro CT3 “Texture Analyzer” ASTM 83 de Brookfield® con especificaciones de muestra de 50 mm de largo, 50 mm de ancho y 10 mm de profundidad. Además, el CT3 se configuró a 10% de valor meta, 0.067 N de carga de activación, 2 mm/s de velocidad del test y utilizando la sonda TA4/1000.

Diseño experimental. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con un arreglo factorial de 2x4 (Fuente y dosis de potasio).

Análisis estadístico.

Se utilizó el programa de Statistix® 9.0 para realizar un análisis de varianza y una separación de medias con la prueba “T Student” a $p > 0.05$. Los gráficos se generaron con el programa Sigmaplot®.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diámetro y altura de planta. Para los factores dosis de potasio, fuente de potasio y su interacción, no hubo respuesta significativa para las variables diámetro y altura de planta en ninguno de los tiempos de colecta de datos (8, 16 y 24 semanas después del trasplante) (Cuadro 4). Kumar et al. (2011) reportaron que el K⁺ afectaba positivamente el diámetro y la altura de la papaya. Sin embargo, se consideró que la compactación del suelo pudo tener un efecto negativo en la expansión radicular que a su vez afectó la fisiología de la planta retrasando el crecimiento e interfiriendo en la respuesta de la planta al K⁺ (Figura 2).

Cuadro 4. Significancia estadística de los factores dosis y fuente de potasio y su interacción en el diámetro y altura de planta a las 8, 16 y 24 semanas después del trasplante en una producción de papaya en el lote Vega 4, Monte Redondo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Factor	Altura de la planta			Diámetro del tallo		
	Semanas después del trasplante					
	8	16	24	8	16	24
Dosis de potasio	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Fuente de potasio	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Dosis×Fuente	ns	ns	ns	ns	ns	ns
[†] CV%	8.29	10.20	7.79	9.76	10.25	11.27

[†]CV%= Coeficiente de variación NS= No significativo a p>0.05



Figura 2. Expansión radicular en una planta de papaya en la evaluación de fuentes y dosis de potasio en el rendimiento y calidad del cultivo de papaya en el lote Vega 4, Monte Redondo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Rendimiento, número de frutos y peso promedio de frutos. Para los factores dosis, fuente y su interacción, no hubo diferencia significativa para las variables de rendimiento, número de frutos y peso promedio de frutos (Cuadro 5, 6 y 7). Los coeficientes de variación indicaron una amplia dispersión de los datos de rendimiento. Un estudio previo obtuvo respuestas significativamente diferentes en rendimiento en dosis de 0, 150, 300 y 450 g/planta/año de K₂O equivalente (Kumar, Meenakshi, et al. 2006). La falta de respuesta del cultivo en este ensayo en rendimiento se podría atribuir a un corto tiempo de evaluación.

Cuadro 5. Significancia estadística de los factores dosis y fuente de potasio y su interacción en el rendimiento, número de frutos y peso promedio de frutos comerciales en una producción de papaya en el lote Vega 4, Monte Redondo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Factor	Rendimiento	Número de frutos	Peso promedio de frutos
Dosis de potasio	ns	ns	ns
Fuente de potasio	ns	ns	ns
Dosis×Fuente	ns	ns	ns
⁺ CV%	63.40	53.61	31.54

⁺CV%= Coeficiente de variación NS= No significativo a p>0.05

Cuadro 6. Significancia estadística de los factores dosis y fuente de potasio y su interacción en el rendimiento, número de frutos y peso promedio de frutos no comerciales en una producción de papaya en el lote Vega 4, Monte Redondo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Factor	Rendimiento	Número de frutos	Peso promedio de frutos
Dosis de potasio	ns	ns	ns
Fuente de potasio	ns	ns	ns
Dosis×Fuente	ns	ns	ns
⁺ CV%	67.67	64.04	53.40

⁺CV%= Coeficiente de variación NS= No significativo a p>0.05

Cuadro 7. Significancia estadística de los factores dosis y fuente de potasio y su interacción en el rendimiento, número de frutos y peso promedio de frutos totales en una producción de papaya en el lote Vega 4, Monte Redondo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Factor	Rendimiento	Número de frutos	Peso promedio de frutos
Dosis de potasio (DK)	ns	ns	ns
Fuente de potasio (FK)	ns	ns	ns
Dosis×Fuente	ns	ns	ns
⁺ CV%	41.11	52.19	33.30

⁺CV%= Coeficiente de variación NS= No significativo a $p>0.05$

Brix°. El tiempo de maduración en interacción con los tratamientos no tuvo un efecto significativo en los sólidos solubles totales de los frutos. La interacción fuente y dosis de potasio si afectó el contenido de solutos (Cuadro 8). Para K_2SO_4 , la dosis de 400 kg/ha de K_2O resultó en mayores grados Brix que el resto de dosis de la misma fuente. Sin embargo, KCl a 300 kg/ha y 400 kg/ha de K_2O generó los mayores grados Brix. Estos resultados podrían estar relacionados a los elementos secundarios de cada fuente. El Cl^- se mueve con mayor facilidad dentro de la planta que el SO_4^- . El K^+ acompañado de Cl^- podría tener tasas de movilidad mayores dentro de la planta que acompañado de SO_4^- (Britto et al. 2008; Epstein et al. 1963). Para este ensayo el tratamiento KCl a 300 kg/ha de K_2O equivalente es el tratamiento que ofreció el mayor incremento de los grados Brix a menor uso de insumos. En comparación al testigo, KCl a 300 kg/ha incrementa en un 29% los grados Brix (Cuadro 9). También se observó una tendencia de acidificación del medio en los tratamientos con K_2SO_4 que pudo limitar la disponibilidad de K^+ y por tanto la absorción (Figura 3). El análisis foliar mostró una tendencia de mayor concentración de K^+ en los tejidos foliares con el tratamiento KCl a 300 kg/ha que con los tratamientos K_2SO_4 a 400 kg/ha y sobre el testigo (Figura 4). Un ensayo realizado en fertilización potásica tuvo un mayor incremento sobre los grados Brix a mayores concentraciones de K^+ en las hojas (Santos et al. 2015). Dado esto, el SO_4 podría limitar el movimiento del K^+ dentro de la planta por su propiedad acidificante o por su lenta movilidad en comparación al Cl^- dentro de la planta. También hubo un efecto tendencial de las dosis sobre la dureza y los grados Brix. Se observó que la consistencia del fruto se mantuvo desde aplicaciones de 0 a 300 kg/ha y tendía a ser menos consistente a dosis de 400 kg/ha de K_2O . Además, los grados Brix tendieron a valores mayores en aplicaciones de 300 kg/ha (Figura 5).

Cuadro 8. Efecto de la fuente de potasio, dosis de potasio y tiempo de maduración sobre los grados Brix de los frutos de una producción de papaya en el lote Vega 4, Monte Redondo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Fertilizante	Dosis(kg/ha/K ₂ O/siete meses)	Brix°	
		5 [†] DDC	10 DDC
Cloruro de potasio	100	11.5 A b	10.0 A c
Cloruro de potasio	200	11.6 A b	11.3 A bc
Cloruro de potasio	300	13.1 A a	12.9 A ab
Cloruro de potasio	400	12.3 A ab	13.3 A a
Sulfato de potasio	100	9.8 A d	10.0 A c
Sulfato de potasio	200	10.7 A c	11.5 A bc
Sulfato de potasio	300	11.0 A bc	8.8 B d
Sulfato de potasio	400	11.8 A b	11.0 A bc
⁺ CV%			12.2

[†]DDC= Días después de cosecha ⁺CV%: Coeficiente de variación

Letras mayúsculas distintas entre las columnas 5 DDC y 10 DDC indican diferencia estadística entre tiempo de maduración. Letras minúsculas distintas en la misma columna indican diferencia estadística entre tratamientos (p>0.05).

Cuadro 9. Comparación del efecto sobre los grados Brix entre una fertilización potásica y no fertilización en una producción de papaya en el lote Vega 4, Monte Redondo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Fertilizante	Dosis(kg/ha/K ₂ O/siete meses)	Grados Brix
Cloruro de potasio	300	12.9 a
Sin fertilización	0	10.0 b
⁺ CV%		8.64

⁺CV%= Coeficiente de variación

Letras minúsculas distintas indican diferencia significativa (p>0.05).

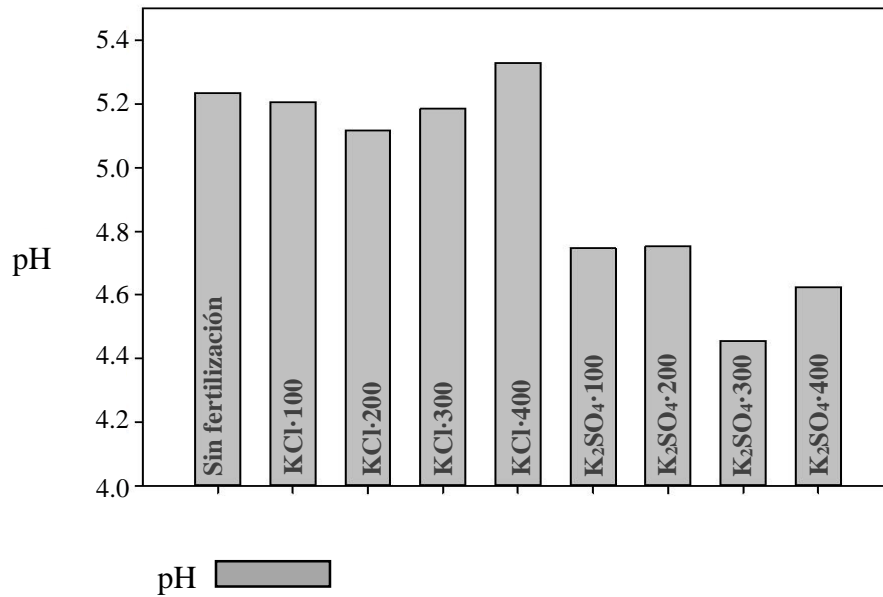


Figura 3. Variación del pH del suelo de acuerdo a los tratamientos aplicados en la evaluación de fuentes y dosis de potasio en el rendimiento y calidad de la papaya en el lote Vega 4, Monte Redondo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
 Fuente: Laboratorio de Suelos Zamorano

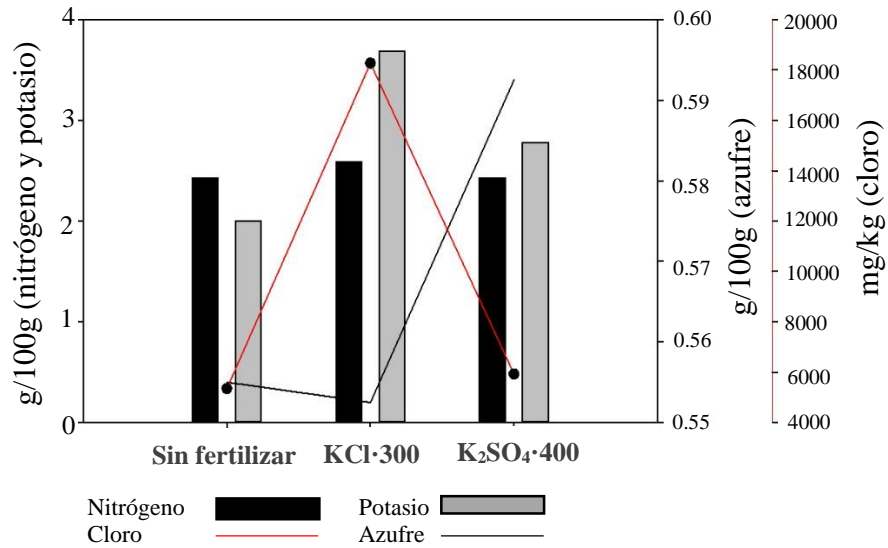


Figura 4. Cantidades de nitrógeno, potasio, cloro y azufre en muestras foliares de los tratamientos testigo, KCl•300 y K₂SO₄•400 en la evaluación de fuentes y dosis de potasio en rendimiento y calidad de la papaya en el lote Vega 4, Monte Redondo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Fuente: Laboratorio de Suelos Zamorano

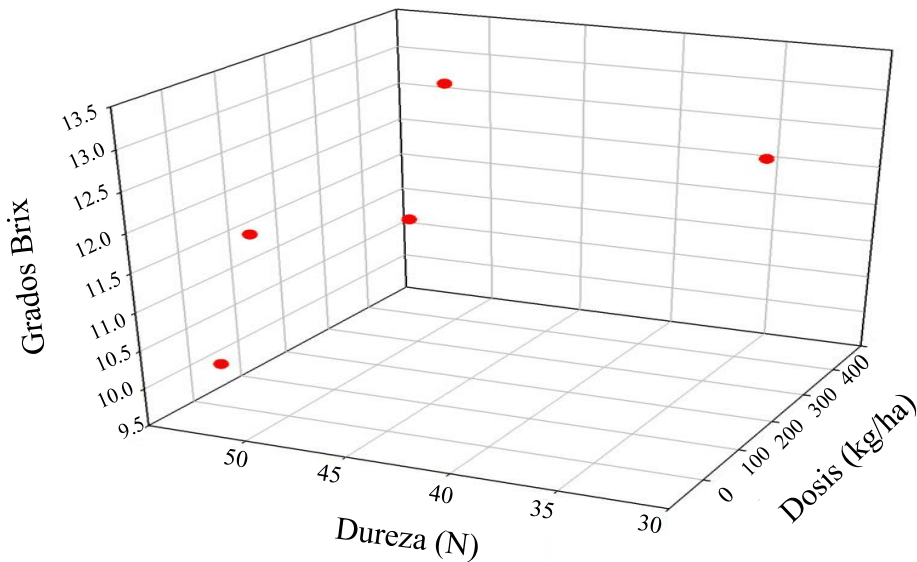


Figura 5. Tendencia de promedios de los grados Brix y dureza con respecto a los tratamientos en la evaluación de fuentes y dosis de potasio en el rendimiento y calidad de la papaya en el lote Vega 4, Monte Redondo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Fuente: Laboratorio de Análisis de Alimentos Zamorano

4. CONCLUSIONES

- K_2SO_4 y KCl en dosis desde 0 a 400 kg/ha de K_2O en siete meses no afectaron las variables de agronómicas ni de rendimiento en una producción de papaya con suelos de niveles medios de potasio.
- KCl a 300 kg/ha de K_2O en siete meses incrementó los grados Brix en comparación a otra fuente y dosis.

5. RECOMENDACIONES

- Comparar dosis mayores para establecer el punto de decaimiento de los beneficios potenciales del K^+ .
- Probar otras fuentes de K^+ en el cultivo de papaya.
- Evaluar el efecto del tiempo y métodos de aplicación de K^+ en el cultivo.
- Realizar un análisis económico para este ensayo y determinar la fuente y dosis más rentable para futuros ensayos.
- Repetir el ensayo en condiciones de pH de 6.5, sin compactación de suelo, textura franca o franca-arenosa para una ágil dilución de los fertilizantes y movimiento de agua.
- Prolongar el tiempo del estudio de 9 meses a 12 meses para la obtención de más datos de cosecha.

6. LITERATURA CITADA

- Brady NC. 1974. Supply and availability of phosphorus and potassium. In: Brady NC ed. The nature and properties of soils. 8 ed. New York (NY): Macmillan Publishing Co., Inc. 456-483 p.
- Britto T, Kronzucker J. 2008. Cellular mechanisms of potassium transport in plants. *Physiol. Plant.* 133:637–650. doi: 10.1111/j.1399-3054.2008.01067.x
- Coelho A, Coelho E, Cruz L, Oliveira M, Silva, T. 2007. Marcha de absorção de macro e micronutrientes do mamoeiro Sunrise Solo. In: Martins D, Costa A, Costa F eds. *Papaya Brasil: Manejo, qualidade e mercado do mamão.* Espírito Santo (Brasil): Incaper. 29-40 p.
- Epstein E, Rains D, Elzam O. 1963. Resolution of dual mechanisms of potassium absorption by barley roots. *Proc Natl Ac Scie*; [consultado 2017 sept 19]. 49:684–692. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC299954/>
- Evans EA, Ballen FH, Crane JH. 2015. An overview of United States papaya production, trade and consumption. Gainesville (FL): Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida; [consultado 2016 oct 26]. <http://edis.ifas.ufl.edu/fe914>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y Alimentación) 2014. Exportadores de la papaya a nivel mundial. [internet]; [consultado 2016 oct 26]. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- Geist M. 1976. Orchardgrass growth on nitrogen and sulfur fertilized volcanic ash soil. *J. Range Manage.* 29(5):415-418. doi: 10.2307/3897155
- Gomes MA, da Silva LF, Ferreira E. 2007. Papaya. In: Johnston AE ed. *Tropical fruits of Brazil.* Horgen (Suiza): International Potash Institute 143-159 p.
- Hawkesford MJ. 2000. Plant responses to sulphur deficiency and the genetic manipulation of sulphate transporters to improve S-utilization efficiency. *J. Exp. Bot.* 51(342):131–138. doi: 10.1093/jexbot/51.342.131.
- IFA (International Fertilizer Association). 2014. Potassium consumption. [internet]; [consultado 2017 jul 25]. <http://www.fertilizer.org/Statistics>.

- IPNI (International Plant Nutrition Institute) 2015. El sulfato de potasio. [internet]; [consultado 2016 oct 26]. [https://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/ACFE8C498DEF020A85257BBA0059AE52/\\$FILE/NSS-ES-05.pdf](https://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/ACFE8C498DEF020A85257BBA0059AE52/$FILE/NSS-ES-05.pdf).
- Kafkafi U, Xu G, Imas P, Magen H, Tarchitzki J. 2001. Potassium and chloride in crops and soils. In: Johnston AE ed. The role of potassium chloride fertilizer in crop nutrition. Bern (Suiza): International potash institute. 17 p.
- Kumar N, Kumar AR, Kavino M. 2006: Role of potassium in fruit crop. *Agric. Rev.* 27(4):284-291. ISSN: 0253-1496
- Kumar N, Meenakshi N, Suresh J, Nosov V. 2006. Effect of potassium nutrition on growth, yield and quality of papaya (*Carica papaya* L.). *Indian journal of fertilizers*; [consultado 2017 may 26]. 2(4):43-47. https://www.ipipotash.org/udocs/ifc_No_11_rf1.pdf
- Kumar N, Soorianathasundaram K, Meenakshi N, Manivannan MI, Suresh J, Nosov V. 2010. Balanced fertilization in papaya (*Carica papaya* L.) for higher yield and quality. *Act Hortic.* 851:357–362. doi: 10.17660/ActaHortic.2010.851.54.
- Kumar V, Singh VK, Rani T. 2011. Influence of nitrogen, potassium and their interaction on growth and phenology of papaya cv. Pusa dwarf. *J. CWS*; [consultado 2017 oct 10]. 13(1):60-63. <http://www.cropandweed.com/archives/2017/vol13issue1/13-1-11.pdf>
- Leustek T. 2002. Sulfate metabolism. *The Arabidopsis book*. 1:17. doi: 10.1199/tab.0017.
- Marschner H. 1986. The mineral nutrition of higher plants. Londres (Inglaterra): Academic. 274 p.
- Marschner H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2da ed. Londres (Inglaterra): Academic. 356 p.
- Mengel K. 1997: Food security in the Wana region, the essential need for balanced fertilization. In: Johnston AE ed. 1997. Proceedings of the regional workshop of the International Potash Institute held at Bomova. Basel (Suiza); [consultado 2017 may 26]. https://www.ipipotash.org/udocs/FOOD_SECURITY_IN_THE_WANA_REGION_THE_ESSENTIAL_NEED_FOR_BALANCED_FERTILIZATION.pdf.
- Najafpour MM, Moghaddam AN, Allakhverdiev SI. 2012. Biological water oxidation: lessons from nature. *BBA.* 1817(8):1110–1121. Doi: 10.1016/j.bbabi.2012.04.002.
- Paull RE, Zhou L, Christopher DA. 2000. Defoliation and fruit removal effects on papaya fruit production, sugar accumulation, and sucrose metabolism. *J. Ame Soc Hort Scie*; [consultado 2016 oct 26]. 25(5):644–652. <http://journal.ashspublications.org/content/125/5/644.full.pdf+html>

- Potash Ridge. 2016: Taking advantage of a high SOP and low MOP price. [internet]; [consultado 2017 may 26]. https://caesarsreport.com/freereports/CaesarsReport_2016-06-20.pdf.
- Santos E, Cavalcante H, da Silva G, Albano F. 2015. Impact of nitrogen and potassium nutrition on papaya (Pawpaw) fruit quality. *Bioscience J.* 31(5):1341-1348. Doi: 10.14393/BJ-v31n5a2015-26360
- USDA (United States Department of Agriculture). 2015. Fresh papayas: Supply and utilization, 1980 to date. [internet]. Fruit and tree nuts yearbook. USA; [consultado 2016 nov 5]. <http://usda.mannlib.cornell.edu/MannUsda/viewDocumentInfo.do?documentID=1377>.
- Wallingford W, Darst C. 1980. Interrelationships of potassium with cultural and management practices. In: Munson RD ed. Potassium in agriculture. Atlanta (GA). 559-573 p. Doi:10.2134/1985.potassium.c24
- Wiedenfeld B. 2011. Sulfur application effects on soil properties in a calcareous soil and on sugarcane growth and yield. *J. Plant Nutr.* 34(7):1003–1013. DOI: 10.1080/01904167.2011.555582.
- Xu G, Magen H, Tarchitzky J, Kafkafi U. 2000. Advances in chloride nutrition of plants. In: Sparks DL ed. Advances in agronomy. 68. Newark (DE). Academic Press. Doi: 10.1016/S0065-2113(08)60844-5
- Zekri M, Obreza T. 2016. Potassium (K) for citrus trees. Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida. Florida (USA); [consultado 2017 may 26]. <http://edis.ifas.ufl.edu/ss583>.

7. ANEXOS

Anexo 1. Esquema general del movimiento de K^+ en las plantas (Epstein 1963) adaptado por Britto et al. 2008.

