

Universidad Autónoma de Sinaloa
Colegio en Ciencias Agropecuarias
Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte
Maestría en Ciencias Agropecuarias



FORMULACIONES NUTRIMENTALES EN RENDIMIENTO Y CALIDAD EN CULTIVARES INDUSTRIALES DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.)

Que para obtener el grado de Maestro en Ciencias Agropecuarias

PRESENTA:

LUIS ANDRÉS BELTRÁN LUCAS

DIRECTOR(A) DE TESIS:

DR. GABRIEL ANTONIO LUGO GARCÍA

CO-DIRECTOR(A) DE TESIS:

DR. CARLOS PATRICIO SAUCEDA ACOSTA

ASESORES:

**DR. JORGE LUIS FLORES SÁNCHEZ
MC. ANASTACIO PÉREZ MAYORQUÍN**

Culiacán de Rosales, Sinaloa, México, a Julio de 2020

ESTA TESIS FUE REALIZADA POR EL **C. LUIS ANDRÉS BELTRÁN LUCAS**,
BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA, Y HA SIDO
APROBADA POR EL MISMO, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

CONSEJO PARTICULAR



Director: _____

DR. GABRIEL ANTONIO LUGO GARCÍA



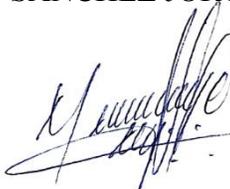
Co-Director: _____

DR. CARLOS PATRICIO SAUCEDA ACOSTA



Asesor: _____

DR. FLORES SÁNCHEZ JORGE LUIS



Asesor: _____

M.C. ANASTASIO PÉREZ MAYORQUÍN

Culiacán de Rosales, Sinaloa, México, a Julio de 2020



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA CULIACÁN

FACULTAD DE AGRONOMÍA VALLE DEL FUERTE

FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR

En la Ciudad de Culiacán Rosales, Sinaloa, el día 20 de enero del año 2020, el que suscribe Luis Andrés Beltrán Lucas, alumno del Programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias, con número de cuenta 0804962-9, de la Unidad Académica Facultad de Agricultura del valle del Fuerte, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la UAS, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Gabriel Antonio Lugo García y del Dr. Carlos Patricio Saucedo Acosta y cede los derechos del trabajo titulado “Formulaciones nutrimentales en rendimiento y calidad en cultivares industriales de papa (*Solanum tuberosum* L.) a la Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa, para su difusión, con fines académicos y de investigación por medios impresos y digitales, todo esto en apego al artículo 27 de la Ley Federal de Derechos de Autor.

La Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México) protege el contenido de la presente tesis. Los usuarios de la información contenida en ella deberán citar obligatoriamente la tesis como fuente, dónde la obtuvo y mencionar al autor intelectual. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ATENTAMENTE

Luis Andrés Beltrán Lucas

Luis Andrés Beltrán Lucas

CORREO ELECTRÓNICO: luisandresbeltran1902@gmail.com

CURP: BELL921130HSLCS03

AGRADECIMIENTOS

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado para la realización de mis estudios de maestría.

A la Universidad Autónoma de Sinaloa por darme la oportunidad de ser uno de sus estudiantes.

Al Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa por permitirme ser parte de su programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias, así como también a todo el personal que ahí labora.

Agradezco a mi director de tesis, Dr. Gabriel Antonio Lugo García por su tiempo y esfuerzo en mi formación académica.

Al Dr. Carlos Patricio Saucedo Acosta por el tiempo, esfuerzo y orientación para sacar adelante este trabajo.

Al Dr. Jorge Luis Flores Sánchez experto en el cultivo de papa y a la empresa YARA por permitirme participar en este proyecto.

Al M.C. Anastasio Pérez Mallorquín por estar siempre al pendiente de mi durante transcurso de la Maestría apoyándome y aconsejándome.

A la Dr. Celia Selene Romero Félix y al Dr. Bardo H. Sánchez Soto por toda su ayuda.

A la Junta Local de Sanidad Vegetal del Valle del Fuerte (JLSVV) por permitirme realizar mi estancia académica en las instalaciones de la Unidad Tecnológica Fitosanitaria Integral (UTEFI). Pero en especial al M.C. Gabriel Herrera Rodríguez por siempre estar al pendiente de mi y asesorándome constantemente.

DEDICATORIA

A mis padres José Luis y Josefina por siempre estar apoyándome en todo momento, sin ustedes no estaría en esta instancia.

A mis hermanos Lucero por estar al pendiente de mi en todo momento, Mónica y Jesús Antonio por su apoyo.

A mis compañeros Arturo, Kynzú, Julián y Juan.

A mis amigos Azalea, Juan Luis, Álvaro, María de Jesús, Fernanda y Jackeline por brindarme parte de su tiempo apoyándome para que salga adelante con las dificultades que se fueron presentando a lo largo de estos dos años.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo General:.....	3
2.2. Objetivos Específicos:	3
III. HIPÓTESIS	3
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	4
4.1. <i>Solanum tuberosum</i> : origen e importancia	4
4.2. Requerimiento nutricional	4
4.2.1. Nitrógeno (N)	5
4.2.2. Fósforo (P).....	6
4.2.4. Calcio (Ca)	7
4.2.5. Magnesio (Mg).....	9
4.2.6. Azufre (S).....	10
4.2.7. Boro (B):	10
4.3. Interpretación de análisis vegetales.	11
4.4. Variedades utilizadas.	12
V. MATERIALES Y MÉTODOS	14
5.1. Área de estudio	14
5.2. Material genético y tratamientos.....	14
5.3. Diseño experimental	15
5.4. Método de muestreo.....	16
5.5. Variables evaluadas	16
5.6. Análisis de la concentración de nutrientes	17
5.7. Rendimiento y calidad de tubérculos	17
5.8. Análisis estadístico	19
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
6.1. Longitud y volumen de raíz.	20
6.2. Altura de planta.....	20

6.3. Número de tubérculos.....	21
6.4. Nivel de nutrientes en tejidos de peciolo.....	23
6.5. El calcio en el rendimiento.	27
6.6. Rendimiento.....	30
VII. CONCLUSIONES	34
VIII. RECOMENDACIONES	35
IX. LITERATURA CITADA	36

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características principales de las variedades de papa cultivadas en el norte de Sinaloa, México (Pérez <i>et al.</i> , 2008).	13
Cuadro 2. Dosis de nutrientes obtenidas en cada una de las formulaciones.	15
Cuadro 3. Código de tamaño de tubérculo de acuerdo a la Norma Mexicana de Calidad de la Papa NMX-FF-022-SCFI-2002.	19

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Formas de P aplicables y su disponibilidad en la solución del suelo.....	7
Figura 2. Diagrama que muestra la ruta de transporte de ⁴⁵ Ca y del colorante Safranina O cuando se alimenta de diferentes porciones de la zona de la raíz de la planta de papa. ⁴⁵ Ca está representado por untos azules y Safranina O por puntos rojos. (A) ⁴⁵ Ca colocado en el sistema radicular principal se transporta al brote aéreo pero no por los tubérculos. (B) Tanto el ⁴⁵ Ca como el Safranina O alimentados a las raíces del estolón se transportan al tubérculo asociado y al brote aéreo, pero no se transportan a la raíz principal u otros tubérculos. Tomado de Bosse y Palta (2006).....	9
Figura 3. Relación general entre el crecimiento y el contenido de nutrientes en tejido vegetal. Tomado de Correndo y García (2012).....	11
Figura 4. Lote experimental, predio Ramos 2, de agrícola Ocalte.....	14
Figura 5. Distribución de las formulaciones en cada una de las variedades.....	15
Figura 6. Variables evaluadas a los 35 días después de siembra: A) Plantas y tallos por m ² , B) Número de tubérculos, C) Altura de planta, D) Longitud de raíz y E) Volumen de raíz.....	17
Figura 7. A) Cosecha de tubérculos de papa. B) Tubérculos antes de su recolección, C) y D) Tubérculos ubicados por categoría, FL-1867 (tubérculos de la parte superior) y Atlantic (tubérculos en la parte inferior), de izquierda a derecha Testigo, Y1, Y2, y Y3 con sus tres repeticiones.....	18
Figura 8. Volumen de raíz en las variedades FL.-1867 y Atlantic con aplicación de cuatro formulaciones nutricionales.....	20
Figura 9. Altura de planta en las variedades FL-1867 y Atlantic bajo cuatro formulaciones de nutrientes.....	21
Figura 10. Variedades y formulaciones nutricionales en el número de tubérculos.....	22
Figura 11. Relación del rendimiento con la concentración y niveles de referencia de: A) Nitratos, B) Fósforo, C) Potasio, D) Calcio, E) Magnesio y F) Boro.....	24
Figura 12. Relación del rendimiento de tubérculo con la absorción de 2.2 g kg ⁻¹ de P día ⁻¹ después del inicio de tuberización.....	26
Figura 13. Rendimiento de las variedades FL-1867 y Atlantic con respecto a la concentración de fósforo en el peciolo.....	27

Figura 14. Relación entre el rendimiento de tubérculos y la concentración del Ca en el mismo órgano.....	28
Figura 15. Relación directa entre la cantidad de Ca aplicado con el grosor de la pared celular. Imagen obtenida del análisis de 264 muestras de tubérculos en el Laboratorio de la UNAM, 2018.....	29
Figura 16. Rendimiento de tubérculos en la variedades FL-1867 y Atlantic con cuatro formulaciones de nutrientes.....	30
Figura 17. Porcentaje de tubérculos con diámetro menor a 44 mm, en las variedades FL-1867 y Atlantic con cuatro formulaciones de nutrientes.....	32

RESUMEN

El cultivo de papa requiere altas concentraciones de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) y de elementos menores, lograr la dosis requerida demanda gran número de productos comerciales, por lo que es necesario identificar formulaciones nutricionales que incrementen la producción y la calidad de los tubérculos. El objetivo del presente estudio fue evaluar el rendimiento y la calidad del tubérculo los cultivares de papa (*Solanum tuberosum* L.) Atlantic y FL-1867 bajo cuatro formulaciones de N-P-K-Mg-Ca-S. La formulación testigo (280-169-206-17-25-89 kg ha⁻¹) más tres formulaciones con fertilizantes Yara© (Y1: 194-122-225-27-36-94, Y2: 250-129-248-27-91-101, Y3: 280-137-280-28-162-110 kg ha⁻¹). Se midió el volumen (VR, ml) y longitud de raíz (LR, cm), número de tubérculos (NT m⁻²) y la altura de planta (AP, cm). La concentración de nutrientes se analizó en hojas, peciolo y tubérculos. En cosecha se obtuvo el rendimiento (REN, t ha⁻¹) y calidad de los tubérculos por peso y tamaño. La AP y el VR fue mayor en Atlantic (P≤0.05). El VR presentó diferencias entre formulaciones y con efecto de interacción con la variedad, de igual manera ocurrió para altura de planta (P≤0.05), la formulación Y3 mostró el mayor VR con 161.1 ml, diferente respecto al testigo (DMS=29.27, P ≤ 0.05), Atlantic con Y3 (177.7 ml) superó a FL-1867 con formulación testigo y con Y1 (DMS=29.2, P≤0.05). El testigo presentó mayor AP con 70 cm y fue diferente a la formulación Y3 que presentó 66.6 cm (DMS=3.11, P≤0.05). FL-1867 en todas las formulaciones Yara presentó menor AP (DMS=5.5, P≤0.05). El NT presentó diferencias para la interacción, el mayor NT fue de 38.15 en FL-1867 con Y3 y difirió con formulación testigo y Y2 en Atlantic (DMS=11.51). El REN fue diferente entre variedades y en la interacción, FL-1867 tuvo REN superior con 40.33 t ha⁻¹ (DMS=2.16, P≤0.05), esta variedad en todas las formulaciones se diferenció de Atlantic con formulación testigo (DMS=2.88, P≤0.05). La concentración de nutrientes en peciolo estuvo dentro del umbral de suficiencia, con lo cual es posible obtener el 95% del máximo rendimiento. El calcio presentó efecto en el grosor de la pared celular de tubérculos. Las formulaciones Yara permiten incrementar el número de tubérculos y el rendimiento en ambas variedades, mientras que la formulación testigo solo lo consigue en la variedad FL-1867.

Palabras clave: Rendimiento, concentración, nutrientes, calidad, tubérculos.

ABSTRACT

The potato crop requires high concentrations of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) and of minor elements. To achieve the required dose, a large number of commercial products are required, so it is necessary to identify nutritional formulations that increase the production and quality tubers. The objective of the present study was to evaluate the yield and quality of potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) Atlantic and FL-1867 under four formulations of N-P-K-Mg-Ca-S. The control formulation (280-169-206-17-25-89 kg ha⁻¹) more three formulations with Yara© fertilizers (TY1: 194-122-225-27-36-94, TY2: 250-129-248-27-91-101, TY3: 280-137-280-28-162-110 kg ha⁻¹). Volume (VR, ml) and root length (LR, cm), number of tubers (NT m⁻²) and plant height (AP, cm) were measured. Nutrient concentration was analyzed in leaves, petioles and tubers. At harvest, yield (REN, t ha⁻¹) and tuber quality by weight and size were obtained. The AP and VR were higher in Atlantic (P≤0.05). The RV presented differences between formulations and with interaction effect with the variety, in the same way it occurred for plant height (P≤0.05), the formulation Y3 showed the highest RV with 161.1 ml, different from the control (DMS=29.27, P≤0.05), Atlantic with Y3 (177.7 ml) surpassed FL-1867 with control formulation and with Y1 (DMS=29.2, P≤0.05). The control showed higher AP with 70 cm and was different from the Y3 formulation which showed 66.6 cm (DMS=3.11, P≤0.05). FL-1867 was lower in all Yara formulations (DMS=5.5, P≤0.05). The TL showed differences for interaction, the highest TL was 38.15 in FL-1867 with Y3 and differed with control formulation and Y2 in Atlantic (DMS=11.51). The REN was different among varieties and in the interaction, FL-1867 had higher REN with 40.33 t ha⁻¹ (DMS=2.16, P≤0.05), this variety in all interactions was different from Atlantic with control formulation (DMS=2.88, P≤0.05). The concentration of nutrients in the petiole was within the threshold of sufficiency, which allows obtaining 95% of the maximum possible yield. Calcium had an effect on tuber cell wall thickness. The Yara formulations allow for increased tuber numbers and yields in both varieties, while the control formulation only achieves this in variety FL-1867.

Keywords: Yield, concentration, nutrients, quality, tubers.

I. INTRODUCCIÓN.

En México, Sinaloa es el principal productor de papa (*Solanum tuberosum* L.), en el ciclo otoño invierno 2015-2016 se sembraron 60, 875 ha con una producción de 1,629,938 t. El potencial productivo de la papa en Sinaloa, es superior a 30 t ha⁻¹, pero algunos productores destacados llegan a superar las 40 t ha⁻¹ (SAGARPA-SICDE, 2016). En México, existen diversos factores que afectan el rendimiento, como la fertilidad del suelo, la falta de semilla resistentes a patógenos, la nutrición mineral desequilibrada, la aplicación inadecuada de fertilizantes, los daños por plagas y enfermedades, la irregularidad del suministro de agua y los esquemas y horarios de riego tradicionales, son la razón principal que explica la baja productividad de la papa (Emana y Nigussie, 2011).

Los factores que limitan o reducen la producción de papa incrementan los costos de producción, porque para lograr altos rendimientos se requieren sistemas de riego presurizados, manejo fitosanitario intensivo, variedad de nutrientes equilibrados para el crecimiento y el desarrollo del cultivo, entre otros, necesitan nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) que son esenciales para su productividad (White et al., 2007).

La fertilización influye en la calidad del tubérculo, pero una nutrición no balanceada aporta tubérculos con malformaciones, poco desarrollados, baja vida de postcosecha, se incrementa el daño por pudriciones, las cuales disminuyen el rendimiento y calidad de la cosecha (Sifuentes *et al.*, 2013). El momento y la forma de aplicación de los fertilizantes, así como la dosis de nutriente requerido en una etapa dada del cultivo pueden ser identificados, pero deben realizarse los ajustes correspondientes, ya que no existe una fertilización única para el cultivo, debido a la variación de las condiciones físico-químicas en los suelos donde se siembra este cultivo en el estado de Sinaloa (White *et al.*, 2007; Sifuentes *et al.*, 2013).

La fertilización química se realiza por los productores del norte de Sinaloa, ya que les permite mantener e incrementar el rendimiento y calidad de la papa, pero se requieren altas concentraciones de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) y de elementos menores, para

lograr la dosis adecuada o requerida se emplean un gran número de productos comerciales, por lo que es necesario la identificación de formulaciones que aporten los requerimientos nutricionales para incrementar la producción y la calidad de los tubérculos.

II. OBJETIVOS.

2.1. Objetivo General:

Evaluar el rendimiento y la calidad del tubérculo en las variedades industriales de papa (*Solanum tuberosum* L.) Atlantic y FL-1867 bajo cuatro formulaciones de N-P-K-Mg-Ca-S.

2.2. Objetivos Específicos:

Cuantificar el crecimiento inicial de la planta de papa en las variedades Atlantic y FL-1867 bajo cuatro formulaciones de N-P-K-Mg-Ca-S.

Analizar los niveles de nutrientes (N-P-K-Mg-Ca-S) en tejido vegetal durante el desarrollo del cultivo.

III. HIPÓTESIS.

El rendimiento y la calidad del tubérculo en las variedades industriales de papa (*Solanum tuberosum* L.) Atlantic y FL-1867 se incrementan con alguna formulación de nutrientes con base en de los fertilizantes Yara.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. *Solanum tuberosum*: origen e importancia

La papa (*Solanum tuberosum* L.) tiene sus orígenes hace 8,000 años, cerca del lago Titicaca, que se encuentra a 3,800 metros sobre el nivel del mar, en la cordillera de los Andes, América del Sur, en la frontera de Bolivia y Perú (FAO, 2008).

La importancia de la papa se debe a que es una de las principales fuentes de alimentación a nivel mundial después del trigo, maíz y arroz (INIAP, 2009). La superficie establecida de papa para consumo en México, es de alrededor de 65, 000 ha, con un rendimiento promedio de 27 t ha⁻¹ y una producción anual de 1, 751, 000 t, mientras que, para la superficie destinada para la producción de semilla es de alrededor de 194 ha, con un rendimiento de 22 t ha⁻¹ y una producción de 3, 173 t. Los principales estados productores son Sinaloa con el 23 % de la superficie, Sonora 20 %, Chihuahua 14 %, Nuevo León 10 %, Guanajuato el 8 %; Jalisco, Michoacán, Coahuila y Puebla 5 % y otros estados con el 6 % (SAGARPA-SICDE, 2016).

4.2. Requerimiento nutricional

El cultivo de papa demanda, durante su crecimiento y desarrollo, una gran cantidad de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) durante su ciclo (White *et al.*, 2007). Los costos de producción son elevados, ya que requieren numerosas aplicaciones de productos químicos (fertilizantes y pesticidas) (Sifuentes *et al.*, 2013).

El requerimiento de la papa para una producción de 20 t ha⁻¹ es de 220, 20, 240, 60 y 20 unidades/ha de N, P, K, Ca y Mg (Bertsch, 2003). Por otra parte, Morales *et al.*, (2013) evaluaron la variedad Fianna de papa fertilizadas con productos comerciales de alta solubilidad y en condiciones de riego, determinaron que la dosis óptima mínima para papa es de 150-250-70, con valores máximos de 300-350-70 de N, P y K.

La mayor absorción del nitrógeno (N) en la planta ocurre antes del periodo máximo de crecimiento y desarrollo del tubérculo, significa que previo del llenado de tubérculos se consume el 50% con un requerimiento nutricional diaria de 7 kg ha⁻¹, mientras que para el

fósforo (P) la demanda varía desde 0.4 hasta 0.9 kg ha⁻¹ por día y la absorción de potasio (K) es desde 5 hasta 14 kg ha⁻¹ día (Horneck y Rosen, 2008).

En la zona norte del estado de Sinaloa se pueden obtener buenos resultados con la fórmula 180-200-150 (N-P₂O₆-K₂O) kg ha⁻¹ (INIFAP, 2008), en productos comerciales, 180 unidades de N equivalen a 600 kg de nitrato de amonio ó 400 kg de urea. En lo que respecta al fósforo, 200 unidades equivalen a 434 kg de superfosfato de calcio triple y la cantidad de 150 unidades de potasio equivalen a 300 kg de sulfato de potasio ó 250 de cloruro de potasio (INIFAP, 2000).

En experimentos realizados por Sifuentes *et al.*, (2013) en el Valle del Fuerte, en la variedad Fianna con tres tratamientos de fertilización, los cuales fueron T1: 245-30-350 kg ha⁻¹, T2: 294-36-420 kg ha⁻¹ y T3: 196-24-280 kg ha⁻¹ de N-P-K, el T2 presentó un valor máximo de 43.04 t ha⁻¹, mientras que T1 fue 37.33 t ha⁻¹ y T3 fue 37.67 t ha⁻¹. Además, el T2 obtuvo diferencia significativa en las categorías de primeras y segundas, con 58 y 20.6 % (Sifuentes *et al.*, 2013).

4.2.1. Nitrógeno (N)

El nitrógeno (N) es un nutriente esencial para el crecimiento y el desarrollo de la papa, su disponibilidad en el suelo en dosis adecuadas promueve la organogénesis y el control del crecimiento del follaje y además favorece la producción de tubérculos de mayor tamaño (Echeverría, 2005), sin embargo, en dosis excesivas puede provocar un retraso en la tuberización, un desarrollo excesivo de la parte aérea y un aumento de la concentración de nitratos en las aguas superficiales y subterráneas lo cual representa un serio problema de contaminación (Goffart *et al.*, 2008).

El incremento de la eficiencia en el uso del N, de acuerdo con Marouani y Harbeoui (2016), requiere de disponer de programas de fertilización adecuados y aplicar riego frecuente con dosis baja de N, lo anterior en base al desarrollo genético de variedades capaces de utilizar N con mayor eficiencia.

4.2.2. Fósforo (P)

El desarrollo de la papa es adecuado en suelos con un pH entre 5.5 y 6.5, ya que esto favorece la disponibilidad de fósforo (P), nutriente que es requerido en dosis altas y que presenta una baja disponibilidad en el suelo (Schachtman *et al.*, 1998). El P promueve el crecimiento de las raíces y acelera la formación de tubérculos, por lo tanto debe estar disponible para la planta en el periodo inicial de desarrollo y durante la formación de tubérculos (Oyarzún *et al.*, 2002).

El requerimiento de este nutriente, por el cultivo de papa, oscila entre 40 y 100 kg ha⁻¹, lo cual depende de factores como lo son las características físicas-químicas del suelo y la variedad (Guerrero, 1998a).

El suministro de P a la planta se realiza de tres formas, cada uno con diferentes disponibilidad en la solución del suelo (Figura 1). La primera son los **ortofosfatos**, el cual es la forma química disponible del P, presenta una alta reactividad y demanda de la biota, esta es disminuida de manera rápida de la solución del suelo, por lo que es necesario que la biota adquiera este elemento de otras formas químicas (Tapia-Torres y García-Oliva, 2013). La segunda son los **Polifosfatos**, los cuales tienen la ventaja de poseer un alto contenido de nutrientes en un líquido claro, libre de cristales, además son estables en un amplio rango de temperaturas y tienen una larga vida de almacenaje. La tercera forma es el denominado **P-Extend**, el cual aparte de ortofosfatos y polifosfatos contiene fósforo soluble en citrato amónico neutro, que facilita una disponibilidad constante de P a lo largo del ciclo de la planta (Yara, 2019).

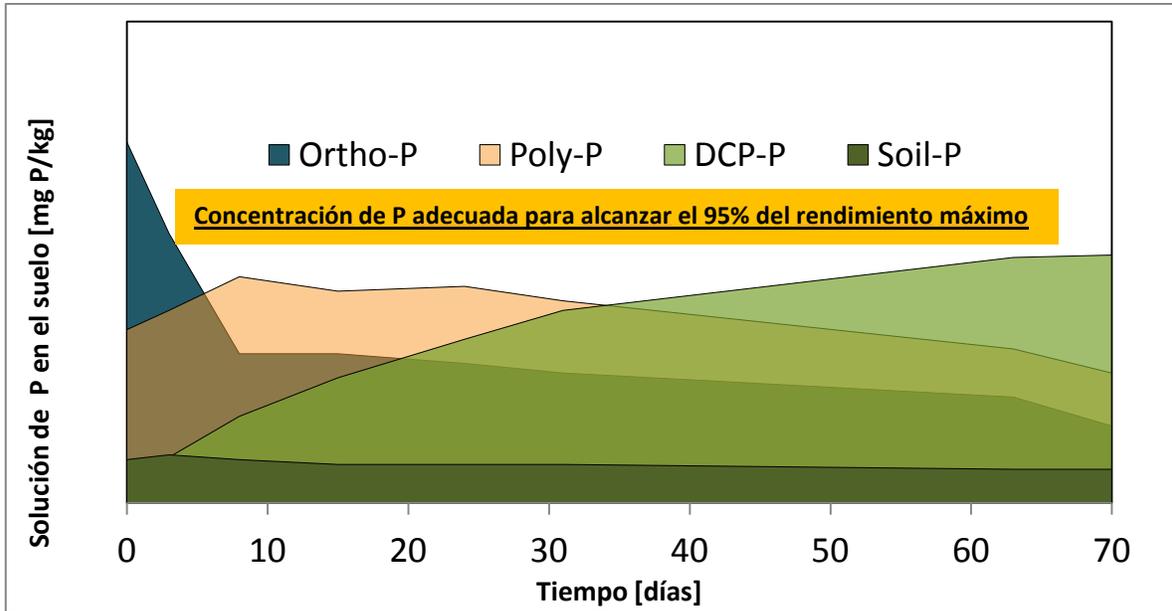


Figura 1. Formas de P aplicables y su disponibilidad en la solución del suelo.

4.2.3. Potasio (K)

El potasio presenta gran movilidad y solubilidad en el interior de los tejidos, influye en gran medida en la permeabilidad de las membranas celulares y en la hidratación de los tejidos. Las relaciones hídricas en la planta son reguladas por este elemento, ya que interviene en la absorción y la pérdida por transpiración (Barry & Bower, 1997). La deficiencia de K es poco visible en las hojas, produce una reducción del tamaño de los tubérculos con corteza más fina y lisa, y se lo asocia con el agrietamiento de la corteza (Palacios, 2005; Yfran *et al.*, 2017).

4.2.4. Calcio (Ca)

El calcio dentro de la planta es un elemento poco móvil (Rodríguez, 1996), forma parte importante en la constitución de la membrana de las células y se acumula entre la pared celular y la lámina media, en donde interacciona con el ácido péctico para formar pectato de calcio, lo que confiere estabilidad y mantiene la integridad de las células; el calcio tiene gran importancia en la economía del agua (Palacios, 2005; Rincón y Martínez, 2015). Este nutriente, actúa como agente cementante de las células, presenta estrecha

relación con la actividad meristemática, tiene influencia en la regulación de los sistemas enzimáticos y la actividad de fitohormonas y aumenta la resistencia de los tejidos a patógenos, la vida útil post-cosecha y calidad nutricional (Aghdam *et al.*, 2012; Paniagua *et al.*, 2013; Ciccicarese *et al.*, 2013). La sintomatología de la deficiencia se presenta en hojas sin alcanzar su tamaño final, las plantas en general pierden vigor y los frutos presentan agrietamiento de la corteza o Splitting (Palacios, 2005; Agusti, 2010). En las plantas está presente en 0.2 a 5.9 % del peso seco en tejidos vegetales, pero las concentraciones más altas se encuentran en las hojas más viejas (Jones, 2003).

El transporte de este nutriente se supone que es en el agua por el xilema (Paniagua *et al.*, 2013), de acuerdo con esto, se conoce que los órganos con menor o baja transpiración como los tubérculos de la papa sufren de deficiencia de Ca. La evidencia es que las raíces en los tubérculos y estolones son los que suministran el agua a los tubérculos. Sin embargo, se sugiere una vía de transporte del Ca por el xilema y floema (Busse y Palta, 2006).

El Ca se transporta del sistema radicular y de los estolones hacia la parte superior por la fuerza de cohesión en el flujo provocado por la transpiración, pero no regresa a los tubérculos, ni a las raíces principales (Figura 2). El sistema radicular principal no suministra calcio al tubérculo; el transporte del Ca ocurre a través de xilema junto con el agua, las raíces del estolón asociado con el tubérculo le suministran agua y Ca durante el desarrollo a este mismo y la demanda transpiratoria es la responsable directa de la distribución de Ca en la planta (Busse y Palta, 2006).

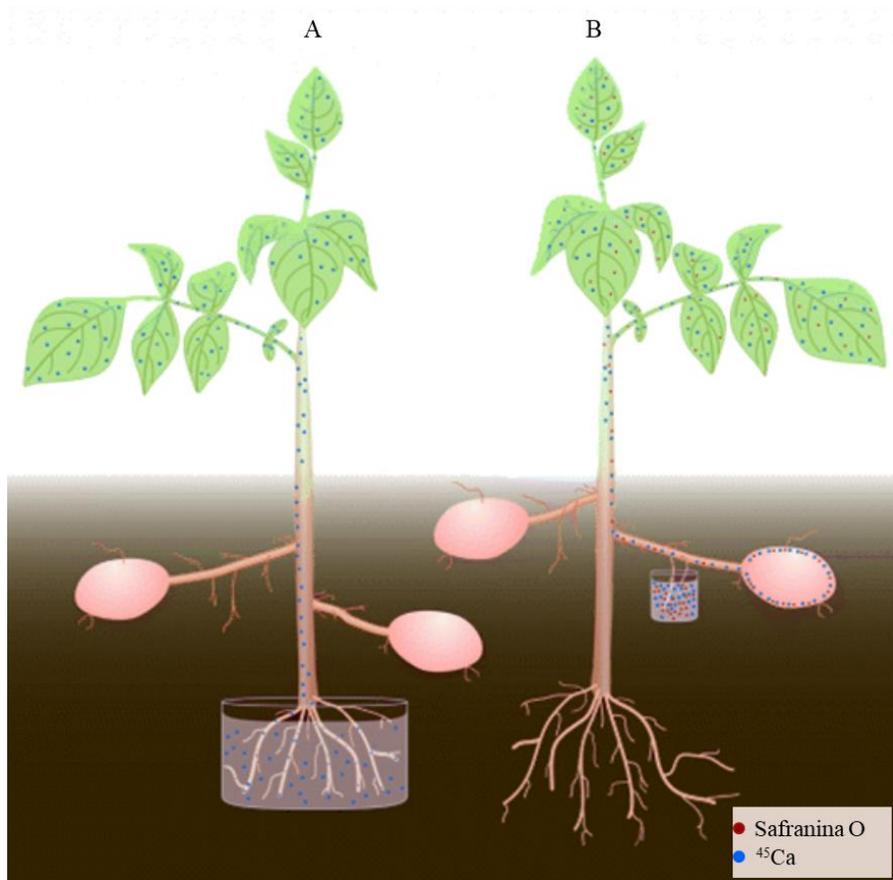


Figura 2. Diagrama que muestra la ruta de transporte de ^{45}Ca y del colorante Safranina O cuando se alimenta de diferentes porciones de la zona de la raíz de la planta de papa. ^{45}Ca está representado por puntos azules y Safranina O por puntos rojos. (A) ^{45}Ca colocado en el sistema radicular principal se transporta al brote aéreo pero no por los tubérculos. (B) Tanto el ^{45}Ca como el Safranina O alimentados a las raíces del estolón se transportan al tubérculo asociado y al brote aéreo, pero no se transportan a la raíz principal u otros tubérculos. Tomado de Bosse y Palta (2006).

4.2.5. Magnesio (Mg)

El magnesio es obtenido por las plantas como catión Mg^{2+} desde la solución del suelo, el cual está en equilibrio con el Mg intercambiable. El suministro de este elemento a las plantas ocurre mediante transporte por flujo de masa siendo muy móvil dentro del floema y puede ser trascolado desde las hojas más viejas a las más jóvenes o a los ápices. Los cationes calcio, potasio y amonio compiten con fuerza en la toma y transporte del Mg (Havlin, 1999). Este elemento cumple varias funciones vitales para la planta como

constituyente del núcleo central de la molécula de clorofila elemento clave en el proceso de la fotosíntesis, participa en las transformaciones del nitrógeno, es necesario en la transferencia del fósforo en la planta además de ser necesaria la participación del Mg en cada una de transformaciones o transporte de energía en las plantas (Marschner, 1995; Guerrero *et al.*, 2000b).

La deficiencia de Mg provoca disminución en el contenido de almidón en los tejidos de almacenamiento como lo son los tubérculos de la papa (Marschner, 1995). El bajo nivel de Mg en la planta de papa tiene como consecuencia un menor rendimiento si se presentan en la etapa de floración y en la formación de tubérculos (Guerrero *et al.*, 2000b). La absorción de Mg por la planta de papa es de alrededor de 20 a 40 kg, de acuerdo con el rendimiento esperado (Guerrero, 1998a).

4.2.6. Azufre (S)

El azufre (s) es absorbido por las raíces en forma de SO_4^{2-} ; se transporta de manera principal en el xilema se mueve con facilidad dentro de la planta y su incorporación a la estructura de los metabolitos es rápida. La absorción también puede realizarse por las hojas a través de los estomas en forma de dióxido de azufre (SO_2). El S en la planta aporta aminoácidos los cuales hacen parte de los bloques donde se forman las proteínas, también estimula la asimilación del nitrógeno y además es constituyente de vitaminas y hormonas (Guerrero, 1998a; Lora, 2001; Castro, 2005).

Guerrero y Montenegro (1994) señalan que aplicar en el primer aporque 40 a 60 kg de S ha^{-1} son suficientes para satisfacer la demanda de e incluso estas dosis puede aumentar los rendimientos entre 6 y 9 t ha^{-1} en suelos de Túquerres y Pasto, Ecuador.

4.2.7. Boro (B)

El boro (B) es un elemento del cual se desconoce con certeza su papel en el metabolismo, pero se considera que puede funcionar como una coenzima o intervenir en procesos enzimáticos, en el metabolismo y la traslocación de carbohidratos y al igual que el calcio, también desempeñaría un papel importante en la estructura de la célula y la integridad de la pared celular. Los síntomas foliares que indican su deficiencia se observan en hojas sin alcanzar su tamaño final, su tamaño es reducido con respecto a las hojas

normales con limbo ondulado, algunas deformes, pero con coloración verde. Los frutos son más pequeños y algo deformados, que, al cortarlos muestran una corteza con mayor grosor, con una columela cerrada, donde las semillas son muy pequeñas y de color oscuro. La deficiencia de este elemento afecta la relación K/Ca y tiene influencia sobre el contenido de P foliar (Palacios, 2005). El efecto del calcio, potasio y boro en la estabilización de la membrana, es mantener la permeabilidad selectiva y su integridad celular, su aplicación foliar podría disminuir el rajado de los tubérculos (Yfran *et al.*, 2017).

4.3. Interpretación de análisis vegetales.

La interpretación de los resultados de los análisis vegetales se realiza mediante varias metodologías Correndo y García (2012), pero de manera general, se establecen diferentes categorías del contenido de nutrientes en el tejido vegetal (Figura 3).

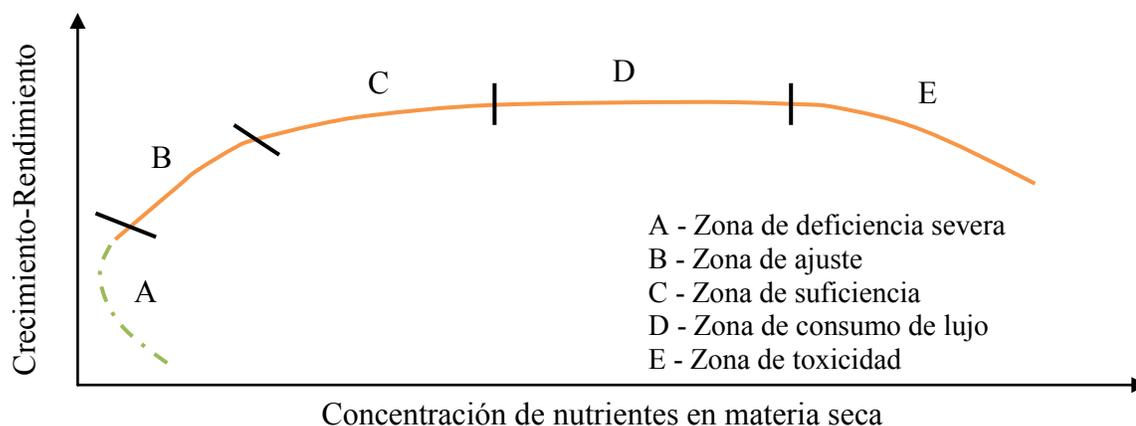


Figura 3. Relación general entre el crecimiento y el contenido de nutrientes en tejido vegetal. Tomado de Correndo y García (2012).

A) Zona de deficiencia severa. Se tiene una curva en "C" donde la producción aumenta, pero la concentración de nutrientes disminuye en los tejidos, a lo cual se denomina "efecto de Steenbjerg" (Steenbjerg, 1954). Esto ocurre cuando la tasa de producción de materia seca es mayor que la velocidad de absorción o de transporte del elemento hacia el tejido foliar y genera su dilución (Correndo y García, 2012).

B) Zona de ajuste. En esta parte de la curva se observa la relación entre el nivel foliar y el crecimiento o la producción. A menudo existe una relación lineal entre el aumento de la concentración foliar y la producción (Correndo y García, 2012).

C) Zona de suficiencia. Es una banda estrecha debajo de la cual ocurre una decaída fuerte de la productividad por la falta de uno o varios nutrientes (Correndo y García, 2012). En este punto se encuentra el llamado "nivel crítico inferior" o nivel crítico, que por lo general corresponde a niveles de nutrientes asociados con una intensidad máxima de procesos fisiológicos definidos, como la actividad fotosintética (Malavolta *et al.*, 1997).

D) Zona de consumo de lujo. Esta banda es más amplia para los macronutrientes como K, y es mucho más estrecha para el B. Aquí el nivel foliar aumenta, mientras que la producción permanece constante, por lo que hay un desperdicio de nutrientes (Correndo y García, 2012).

E) Zona de toxicidad. En este punto el nivel del nutriente aumenta aun mas y la producción disminuye, debido a consecuencia de un efecto tóxico del elemento o por desbalance entre los elementos (Walworth y Sumer, 1987).

La interpretación del análisis foliar, de acuerdo con Osman (2013), se realiza con el uso de tres umbrales: **1)** umbral de deficiencia con síntomas visibles de la deficiencia y bajos rendimientos, **2)** umbral de suficiencia por encima del cual se obtienen altos rendimientos y por debajo del cual el rendimiento disminuye lo que representa una respuesta a la adición de uno o más nutrientes y **3)** umbral de toxicidad que representa concentraciones por encima de las cuales la planta presenta problemas para su desarrollo.

Los valores críticos para interpretar los análisis foliares son dependientes de muchas condiciones, como el clima, estado fenológico de la planta, disponibilidad de nutrientes, tejido muestreado y otros factores que pueden definir esa concentración necesaria para que la planta pueda expresar su máximo potencial (Fallas y Bertsch, 2014).

4.4. Variedades utilizadas.

En Sinaloa, las principales variedades de papa que se siembran son: Atlantic, FL-1867, Fianna, César, Giant y Mundial; estas variedades comparten características en común

como son poseer cascara lisa y de color blanco-amarillo (Pérez *et al.*, 2013). En este estudio se utilizaron las variedades de papa Atlantic y FL-1867 (Cuadro 1), las cuales tiene tolerancia a bajos niveles de fertilización, tamaño adecuado para su consumo en chips y altos rendimientos en el norte de Sinaloa.

Cuadro 1. Características principales de las variedades de papa cultivadas en el norte de Sinaloa, México (Pérez *et al.*, 2013).

Variedad	Origen	Hábito de crecimiento	Días a madurez	Rendimiento	Porcentaje de sólidos
Atlantic	E.U.A.	Semierecto	90	25-30 t ha ⁻¹	18.5
FL-1867	Cuba	Erecto	120	28-35 t ha ⁻¹	19.5

Atlantic. Es originaria de los Estados Unidos. El tubérculo es redondeado, con piel casposa, ojos superficiales, la pulpa es blanca, es de rendimiento mediano (25 a 30 ton/ha), su madurez es temprana (80 a 90 días), es resistente a la sarna común, *Verticillium* y PVX. Es susceptible a corazón hueco, *Phytophthora infestans* y PVY. Su consumo puede ser en fresco y/o para uso industrial (muy buena para chips) al presentar alto porcentaje (18 a 19%) de materia seca (SNICS, 2009).

FL-1867. El tubérculo es redondeado, con piel casposa, presenta ojos superficiales, la pulpa es blanca, tiene un rendimiento mediano-grande (28 a 35 t ha⁻¹), alcanza su madurez entre los 110 y 120 días dds. Es susceptible a PVLRL, tizón tardío y temprano. Su consumo se destina para mercado en fresco y para uso industrial para la elaboración de chips, presenta de 19 a 20% de materia seca (Pérez *et al.*, 2013).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Área de estudio

El presente estudio se realizó durante el ciclo otoño-invierno 2017-2018, en un lote de 11 has (Figura 4) establecido en Agrícola Ocalte (25°42'37.27" latitud norte y 108°44'45.84" longitud oeste), con 25 msnm localizada en Adolfo Ruiz Cortines, Guasave, Sinaloa. El clima dominante es el BW (h') w(e'), un clima muy seco, con temperatura media anual de 22 °C, con lluvias en verano y temperaturas extremas de 41 °C (INEGI, 2009).



Figura 4. Lote experimental, predio Ramos 2, de agrícola Ocalte.

5.2. Material genético y tratamientos

Se utilizaron dos cultivares de papa, Atlantic y FL-1867, los cuales se fertilizaron con cuatro formulaciones nutricionales (tratamientos), cuya combinación originó un total de ocho tratamientos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Dosis de nutrientes obtenidas en cada una de las formulaciones.

Formulación	Nutriente					
	N	P	K	Mg	Ca	S
Testigo*	280	169	206	17	25	89
Y1	194	122	225	27	36	94
Y2	250	129	248	27	91	101
Y3	280	137	280	28	162	110

*Dosis utilizada por el productor, Y1, Y2, Y3= Familia de fertilizantes de la empresa Yara © (Oslo, Noruega).

5.3. Diseño experimental

El diseño utilizado fue un bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas, con tres repeticiones, las variedades (Atlantic y FL-1867) ocuparon las parcelas grandes o principales y las formulaciones o tratamientos fueron las subparcelas. Cada uno de los tratamientos tuvo tres repeticiones.

La distribución de los tratamientos en las parcelas se aplicó por igual a las variedades (Figura 5), con el fin de homologar las condiciones entre unidades experimentales. La unidad experimental estuvo representada por 60 surcos con 0.9 m de separación entre surco y 80 m de longitud con un tamaño de 4,320 m²

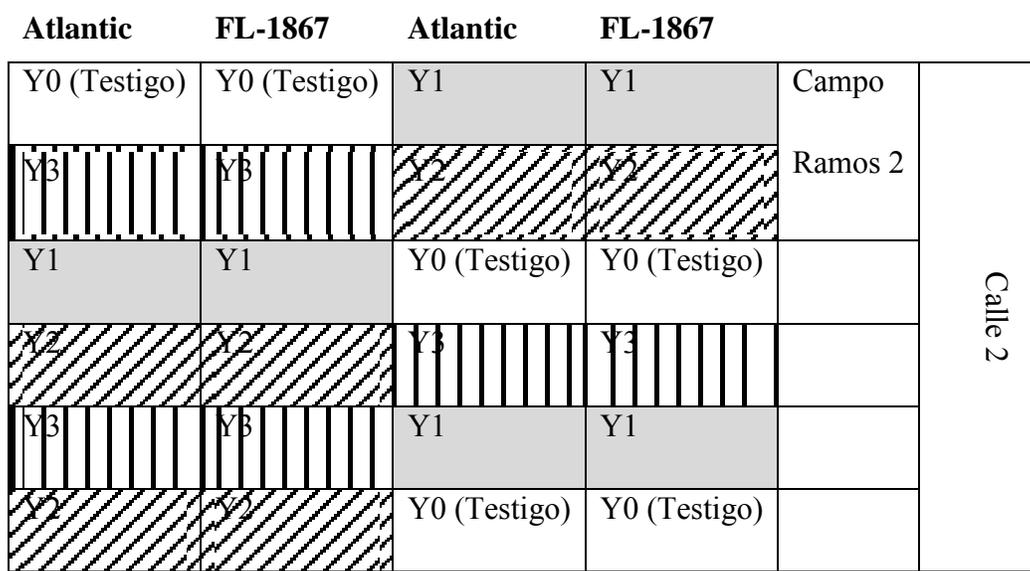


Figura 5. Distribución de las formulaciones en cada una de las variedades.

5.4. Método de muestreo

El muestreo de las variables respuesta fue sistemático aleatorio, en cada unidad experimental la muestra se recolectó al azar en zig-zag, el tamaño por muestra fue de 2.7 m² y para descartar el efecto de orilla se dejó un margen de cinco metros en cada uno de los lados de la unidad experimental.

5.5. Variables evaluadas

La evaluación de crecimiento inicial se realizó a los 35 DDS. El registro del número de tubérculos madre y el número de tallos m⁻² (Figura 6A).

El número de tubérculos se contabilizó en tres plantas por cada repetición en ambas variedades, se registró a los tubérculos formados y los estolones que estaban en formación (Figura 6B).

La altura de planta (cm) se obtuvo al medir la longitud del vástago desde la superficie el suelo hasta el ápice terminal, en tres plantas de cada unidad experimental (Figura 6C).

La longitud de raíz (cm) se midió en tres plantas de cada unidad experimental, la longitud total se consideró desde la región nodal hasta el ápice de la raíz más larga (Figura 6D).

El volumen de raíz (ml) se obtuvo mediante el método de desplazamiento en medio líquido, donde se colocó la raíz en el interior de un vaso de precipitado de 3000 ml, el cual se aforó a 2500 ml con agua purificada, y se registró el aumento de volumen (ml) de agua del vaso (Figura 6E).



Figura 6. Variables evaluadas a los 35 días después de siembra: A) Plantas y tallos por m², B) Número de tubérculos, C) Altura de planta, D) Longitud de raíz y E) Volumen de raíz.

5.6. Análisis de la concentración de nutrientes.

La concentración de nutrientes se analizó en muestras del tejido vegetal (hojas y peciolo) en 60 plantas de cada repetición en ambas variedades, con la técnica cinco de oros, se tomó la cuarta o quinta hoja del ápice de crecimiento a los 52 días después de la siembra, las hojas se guardaron en bolsas de papel con perforaciones para facilitar la aireación y con los datos correspondientes (cultivo, variedad, etapa, fecha y lugar). La obtención de los niveles de nutrientes se analizó en un laboratorio comercial mediante el método de rango de suficiencia y nivel crítico.

5.7. Rendimiento y calidad de tubérculos

La cosecha se realizó a los 118 DDS de manera mecánica (Figura 7A) y se obtuvo el rendimiento y calidad de los tubérculos por peso y tamaño, para lo cual se tomó una muestra de un m² en cada unidad experimental para obtener los tubérculos que serían

sometidos a un lavado para quitar la tierra que se encontraba adherida (Figura 7B) y la clasificación fue por diámetro y biomasa (Figura C, D) fresca de acuerdo con la Norma Mexicana de Calidad de la Papa (NMX-FF-022-SCFI-2002), lo cual incluyó contar los tubérculos no comerciales (NTNC) que son los tubérculos pequeños, deformes, rajados y manchados. El rendimiento total y por categoría se obtuvo en número y peso fresco de tubérculos ($t\ ha^{-1}$).



Figura 7. A) Cosecha de tubérculos de papa. B) Tubérculos antes de su recolección, C) y D) Tubérculos ubicados por categoría, FL-1867 (tubérculos de la parte superior) y Atlantic (tubérculos en la parte inferior), de izquierda a derecha Testigo, Y1, Y2, y Y3 con sus tres repeticiones.

Cuadro 3. Código de tamaño de tubérculo de acuerdo a la Norma Mexicana de Calidad de la Papa NMX-FF-022-SCFI-2002.

Tamaño	Diámetro (mm)	Peso en gramos (g)
Gigante	Mayor de 76	Mayor de 371
1	66-75	231-360
2	56-65	141-230
3	51-55	71-140
4	44-50	40-70
5	Menor de 44	Menor de 30

5.8. Análisis estadístico

El análisis de varianza (ANDEVA) se realizó con el programa estadístico SAS versión 9.0. La normalidad se determinó mediante la prueba de Shapiro y la homogeneidad de varianzas con la prueba de Bartlett para las variables evaluadas. La prueba de comparación de medias utilizada fue de Tukey ($P \leq 0.05$) para altura de planta, longitud y volumen de raíz, número de tubérculos y rendimiento. La concentración de nutrientes en hojas y tubérculos se analizó mediante estadísticas descriptivas.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

6.1. Longitud y volumen de raíz.

La longitud de raíz no mostró diferencias significativas en las variedades, ni en las formulaciones y no hubo interacción entre éstos. El volumen de raíz presentó diferencias entre las variedades, las formulaciones y con efecto de interacción entre ambos; el cultivar Atlantic mostró el mayor promedio con 157.5 ml (DMS = 2.4, $P \leq 0.05$), la formulación Y3 mostró el mayor volumen de raíz con 161.1 ml, pero con diferencia solo con el testigo (DMS = 29.27, $P \leq 0.05$), la variedad Atlantic con la formulación Y3 tuvo un volumen de 177.7 ml (DMS = 29.2, $P \leq 0.05$) y superó al testigo y a la formulación Y1 en el cultivar FL-1867 (Figura 8).

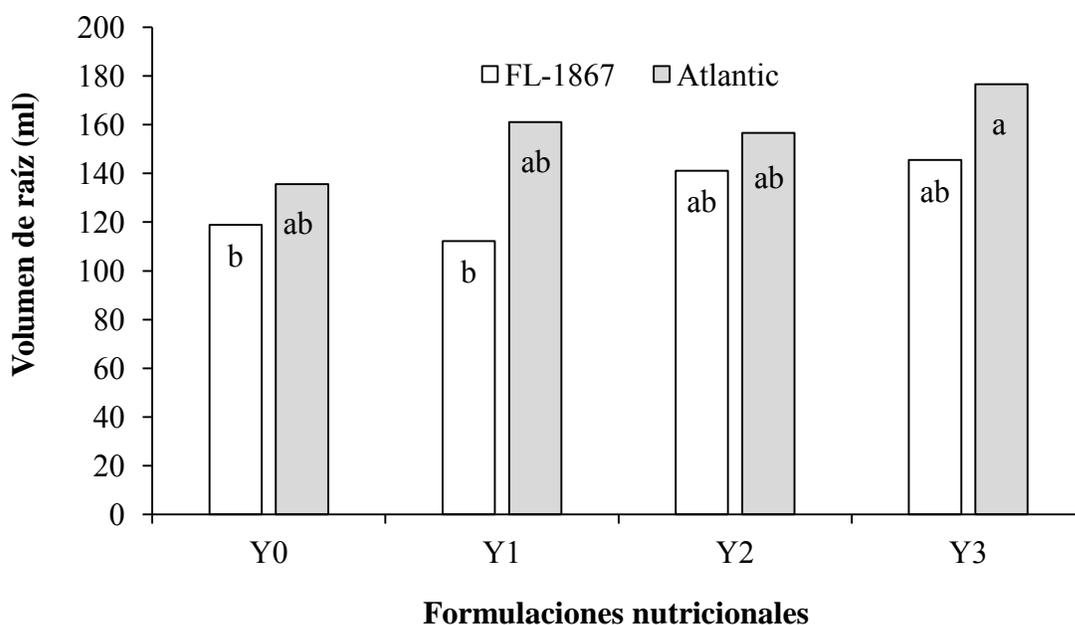


Figura 8. Volumen de raíz en las variedades FL.-1867 y Atlantic con aplicación de cuatro formulaciones nutricionales.

6.2. Altura de planta

La altura de planta mostró diferencias significativas entre variedades, formulaciones y en la interacción variedades por formulaciones. La altura de Atlantic fue de 72.95 cm, mientras que FL-1867 midió 63.62 cm (DMS = 4.29, $P \leq 0.05$). El testigo presentó la mayor altura de planta con 70 cm con diferencia sólo con la formulación Y3, la

cual tuvo en promedio 66.6 cm (DMS = 3.11, $P \leq 0.05$), la mayor altura del testigo no puede atribuirse a la mayor concentración de nitrógeno, dado que en ambos tratamientos la dosis fue similar, cabe señalar que podría esperarse mayor altura de planta en las más altas concentraciones de nitrógeno (Goffart *et al.*, 2008). La menor altura de planta se obtuvo en la variedad FL-1867 con las formulaciones Yara (Y1, Y2, Y3) y con diferencia (DMS = 5.5, $P \leq 0.05$) con el cultivar Atlantic con todas las formulaciones (Figura 9).

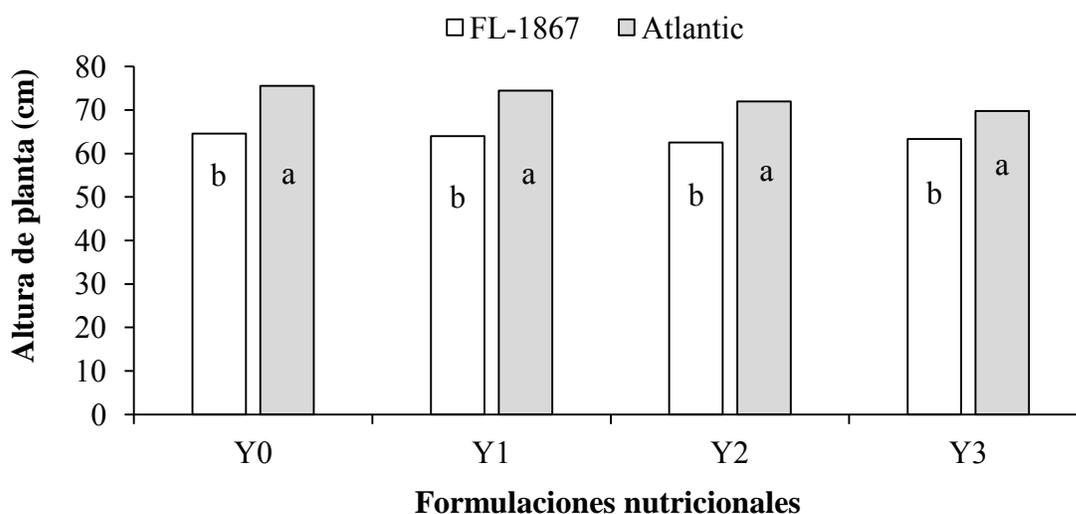


Figura 9. Altura de planta en las variedades FL-1867 y Atlantic bajo cuatro formulaciones de nutrientes.

6.3. Número de tubérculos.

El número de tubérculos m^{-2} presentó diferencias sólo entre las interacciones ($P \leq 0.05$). Esto es, el mayor número de tubérculos lo registra la variedad FL-1867 en la formulación Y3 con 38.15 tubérculos m^{-2} , en contraste, al menor número se obtuvo con las formulaciones Y0 y Y2 en la variedad Atlantic (Figura 10). Esto indica que entre más alta la concentración de nutrientes se incrementa el número de tubérculos (Correndo y García, 2012; Falla y Bertsh, 2014), el más alto número de tubérculos por m^{-2} de la variedad FL-1867 puede atribuirse al mayor número de días a madurez fisiológica, el cual fue 30 días mayor que en Atlantic.

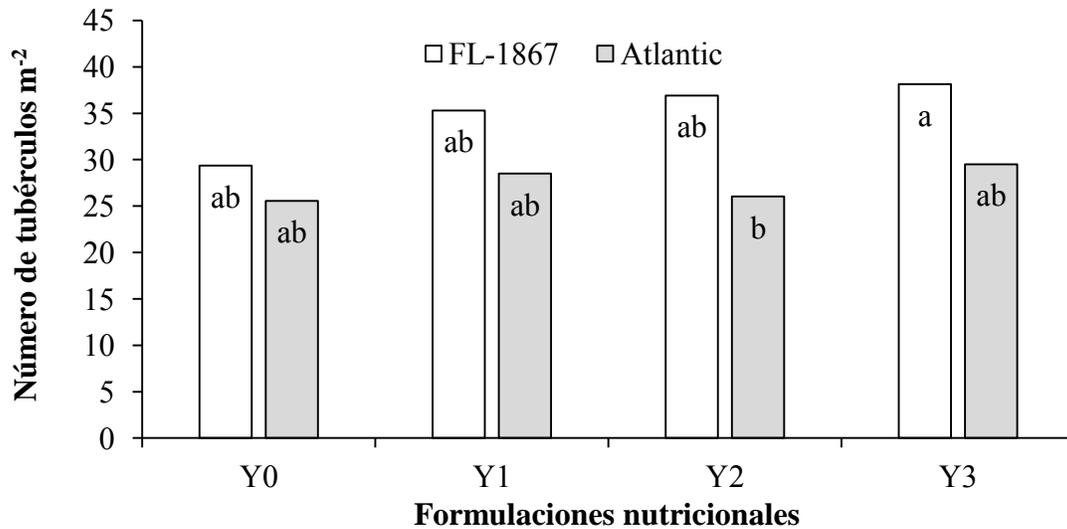


Figura 10. Variedades y formulaciones nutricionales en el número de tubérculos.

Las formulaciones Y2 y Y3 presentaron diferencias con respecto a Y1 y al testigo, esto se debe a que estas formulaciones tuvieron 129 y 137 unidades de P, que de acuerdo con Oyarzú *et al.*, (2002) este nutriente se requiere en altas cantidades, pero sin caer en excesos ya que su absorción está ligado a las condiciones físico-químicas del suelo para su absorción en la planta (Guerrero, 1998a; Fallas y Bertsch, 2014), además, al testigo se le suministró P con productos convencionales en forma de ortofosfatos los cuales están disponibles menor tiempo (Tapia y García, 2013), mientras que al resto de formulaciones se le suministró P en sus tres formas posibles que son ortofosfatos, polifosfatos y P-extend que facilitan su disponibilidad constante a lo largo del ciclo de cultivo (Yara, 2019).

El P es el nutriente que está más relacionado con la formación de tubérculos, por lo tanto, existe una relación directa entre el número de tubérculos y el volumen de raíz obtenido, a medida que aumenta la tasa de fósforo los números totales de tubérculos, los números de tubérculos comercializables y el peso promedio de los tubérculos fueron en aumento debido a la alta capacidad de respuesta de la papa en comparación con otros cultivos de tubérculos (Schachtman *et al.*, 1998; Oyarzún *et al.*, 2002; Girma *et al.*, 2017) .

6.4. Nivel de nutrientes en tejidos de peciolo.

El nitrato (N-NO₃) en el testigo y en ambos cultivares se presentó entre los 16 y 18 mil µg g⁻¹, sin llegar a la concentración máxima (19 mil µg g⁻¹) establecida para este cultivo (Bennett, 1993).. La concentración de este nutriente, en la variedad Atlantic, estuvo desde 14 hasta 16 mil µg g⁻¹, ubicado entre los límites mínimos (12 mil µg g⁻¹) y máximos (19 mil µg g⁻¹), mientras que, en FL-1867 el nitrato se ubicó dentro del límite óptimo (12 a 19 mil µg g⁻¹), con valores entre los 16 y 18 mil µg g⁻¹ (Figura 11A).

La concentración de fósforo (P) en el testigo fue de 0.23% para la variedad Atlantic y 0.21% para FL-1867 apenas por encima del valor mínimo (0.2 %). En la var. Atlantic se encuentra en un 0.23 % por encima del porcentaje mínimo (Malavolta *et al.*, 1997; Correndo y García, 2012). La variedad FL-1867 presentó menor concentración de P en el peciolo con 0.21 % en cada una de las tres repeticiones (Figura 11B). El nivel de K en la variedad Atlantic con la formulación testigo fue de 12.4 %, mientras que en FL-1867 con la formulación testigo fue de 12.7 %, dichos valores se ubican dentro de los valores mínimos y máximos de referencia para este nutriente (Bennett, 1993; Correndo y García, 2012)., en la variedad Atlantic la concentración de K fue desde 12.2 % hasta 12.7 %, los cuales están dentro de los niveles de referencia (Malavolta *et al.*, 1997). Para la variedad FL-1867 el porcentaje de este nutriente estuvo entre los 12.7 y 12.9 % (Figura 11C), valores cercanos a su límite máximo establecido en los análisis de laboratorio (Walworth y Summer, 1987; Correndo y García, 2012).

El Ca presentó una concentración de 1.15 % en el cultivar Atlantic con la formulación testigo y en FL-1867 con esta misma formulación fue 1.25 %, dichas concentraciones son apenas superiores a la concentración mínima (1.1 %) para este nutriente (Melgar *et al.*, 2011; Correndo y García). La concentración de Ca en Atlantic con las formulaciones Yara fueron similares al testigo (1.15 a 1.25 %), mientras que en FL-1867 son apenas superiores con niveles desde 1.25 a 1.3 % del contenido nutrimental (Figura 11D).

El Mg presentó una concentración de 0.53 % en la Atlantic con la formulación testigo, dicho nivel se considera adecuado (Bennett, 1993), en FL-1867 en la misma formulación fue menor con 0.38 %, pero aun así estuvo por encima de 0.3 % que es el valor considerado como mínimo (Correndo y García, 2012). El nivel de Mg en el cultivar Atlantic mostró

similitud entre las formulaciones Yara y el testigo con un 0.5 % de, la concentración de Mg en FL-1867 fue de 0.35 a 0.42 % (Figura 11D). La concentración de B en la variedad Atlantic fue de 34 % mientras que en FL-1867 tuvo 48 %, estas concentraciones se consideran moderadas (Osman, 2013). El B en la variedad Atlantic fue desde 38 hasta 44 % y FL-1867 fueron de 39 a 49 % (Figura 11E).

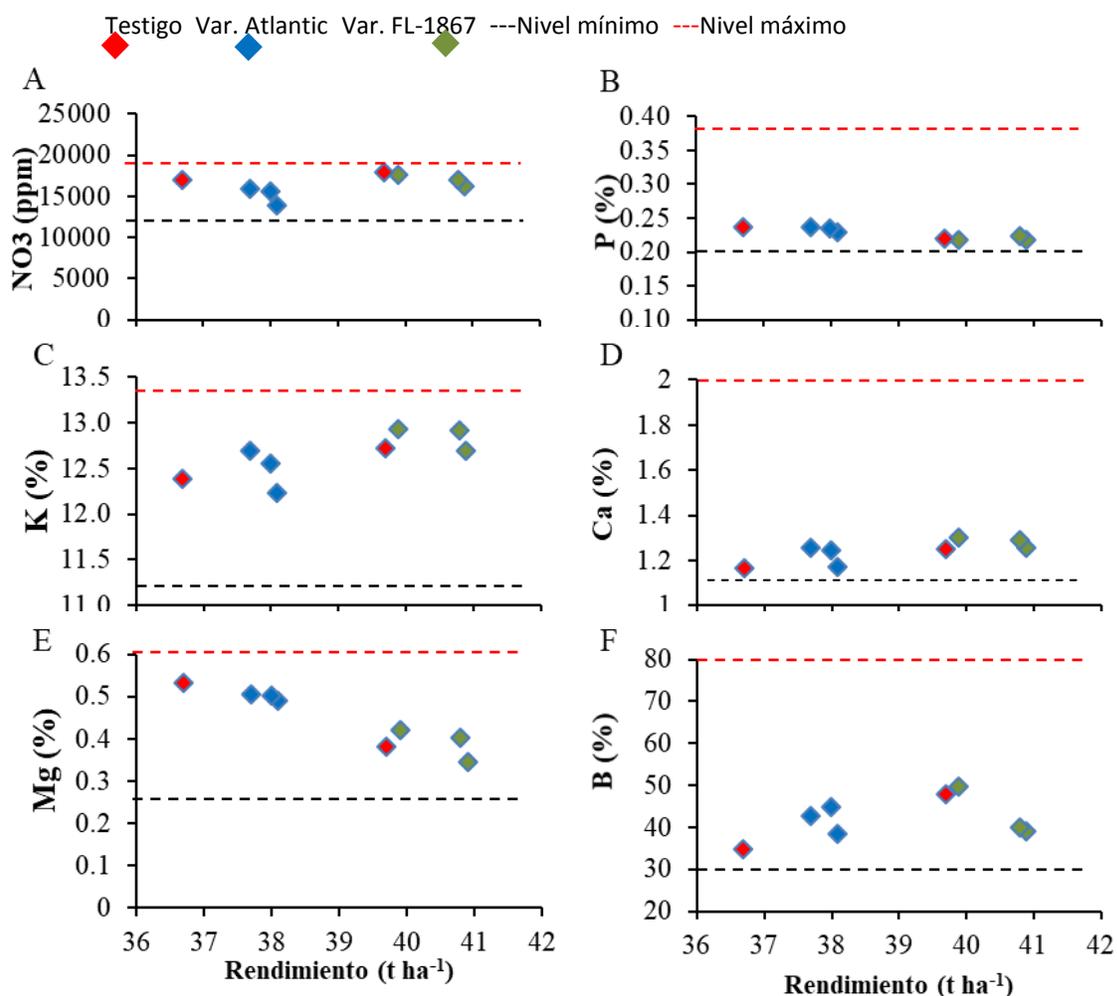


Figura 11. Relación del rendimiento con la concentración y niveles de referencia de: A) Nitratos, B) Fósforo, C) Potasio, D) Calcio, E) Magnesio y F) Boro..

En general cada uno de los elementos mencionados se encuentran dentro de los valores mínimos y máximos (o nivel crítico, suficiencia y toxicidad) descritos por Correndo y Garcia (2012) para concentraciones de nutrientes en tejidos foliares para el cultivo de papa.

La concentración en cada uno de los nutrientes permite aludir que es posible lograr obtener entre el 90 y 95 % del rendimiento máximo, aunque también lograrlo depende del resto de factores edafoclimáticos y del genotipo de la variedad (Guerrero, 1998a), aunque con base en los umbrales mencionados por Osman (2013), la concentración de cada uno de los elementos se ubicó en el umbral de suficiencia, lo cual representa las concentraciones óptimas para el desarrollo de la planta y así obtener el máximo potencial de rendimiento (Echeverría, 2005; Goffart *et al.*, 2008; Fallas y Bertsch, 2014).

En la variedad FL-1867, las formulaciones Y1 y Y2 presentaron resultados similares con una concentración entre los 16 y 17 mil $\mu\text{g g}^{-1}$, donde la cantidad total de unidades de nitrógeno fueron 194 y 250, obteniendo un rendimiento de 40.9 y 40.8 t ha^{-1} cada uno. La formulación 3 y testigo se encontraron entre los 17 y 18 mil $\mu\text{g g}^{-1}$, cuya cantidad de unidades de nitrógeno fue mayor a las anteriores formulaciones (Y1 y Y2) con 321 y 280 kg respectivamente, donde se obtuvo un rendimiento de 39.9 y 39.7 t ha^{-1} cada uno.

Las formulaciones Y1 y Y2, en la variedad FL-1867, presentaron una concentración entre los 16 y 17 mil $\mu\text{g g}^{-1}$ y un rendimiento alrededor de las 40 t ha^{-1} , mientras que las concentraciones de la formulación Y3 y el testigo fueron de 17 y 18 mil $\mu\text{g g}^{-1}$. La concentración de nitratos incrementó con el aumento de la dosis de N.

En la variedad Atlantic, la formulación Y1 tuvo una concentración de 14 mil $\mu\text{g g}^{-1}$, al cual se le suministraron 194 unidades de N, teniendo así un rendimiento de 38.1 t ha^{-1} . La formulación Y2, presentó una concentración de 15, 500 $\mu\text{g g}^{-1}$, donde se suministraron 250 kg de N y se obtuvo un rendimiento de 38.0 t ha^{-1} . En la formulación Y3, la concentración fue de 16 mil $\mu\text{g g}^{-1}$, se suministraron 321 kg de N, se obtuvo un rendimiento de 37.7 t ha^{-1} . El testigo presentó mayor concentración que las tres formulaciones anteriores (17 mil $\mu\text{g g}^{-1}$), al cual se suministraron 280 kg de N, teniendo un rendimiento de 36.7 t ha^{-1} .

La formulación que presentó mejor resultados en relación con la concentración de nitratos presentes en el peciolo, unidades aplicadas de N y rendimiento, fue Y1 en ambas variedades; donde se aplicó 194 kg ha^{-1} de N, estando arriba de los 180 kg que recomienda INIFAP (2008) para la zona Norte del Estado de Sinaloa, pero dentro (aplicación mínima de 150 y máxima de 300 kg de N) de lo que establece Morales *et al.*, (2013), pero esta por

debajo con lo reportado por Bertsch (2003) y Sifuentes *et al.*, (2013) con 220 y 294 kg respectivamente. Esto nos indica que tanto el cultivar FL-1867 y Atlantic no requieren mayor cantidad de N para obtener una producción de 40 t ha⁻¹ en esta zona, debido a que mayores dosis pueden llegar no ser aprovechada por la planta para un aumento de la producción (Echeverria, 2005; Goffart *et al.*, 2008).

El rendimiento se relacionó con la absorción de P durante el transcurso del tiempo después del inicio de tuberización, periodo en el cual se tuvo una absorción promedio de 2.2 g kg⁻¹ de P día⁻¹ (Figura 12), esto se puede deber a que el suministro de P se realizó con un fertilizante que cuenta con los tres tipos/formas de este elemento (ortofosfatos, polifosfatos y P-Extend), lo que facilita una disponibilidad constante de P a lo largo del ciclo de la planta. Con esto el rendimiento aumentó 0.61 t ha⁻¹ por día con niveles de 0.22 % de P en el peciolo (Figura 13), gracias a esto es posible reducir entre un 19 y 28 % el suministro de fósforo en los en las formulaciones Y1, Y2 y Y3 con respecto al testigo.

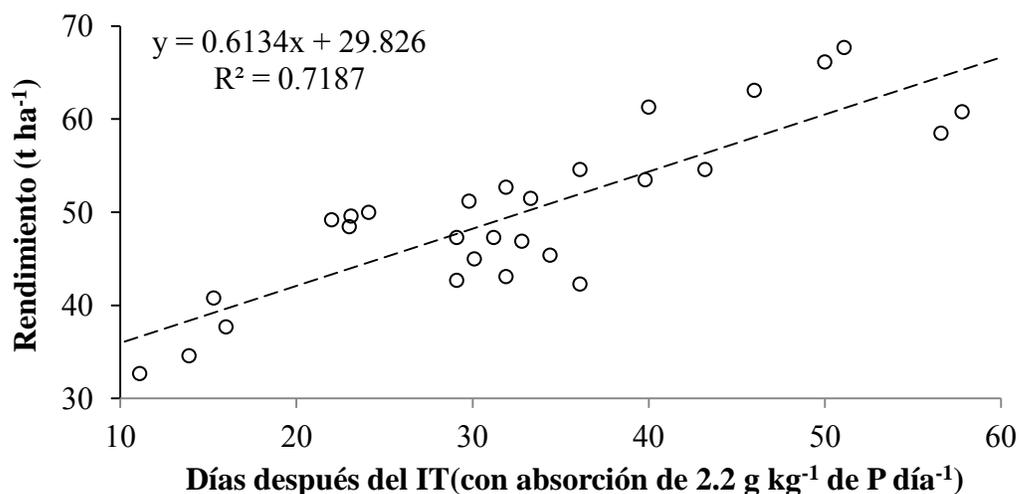


Figura 12. Relación del rendimiento de tubérculo con la absorción de 2.2 g kg⁻¹ de P día⁻¹ después del inicio de tuberización.

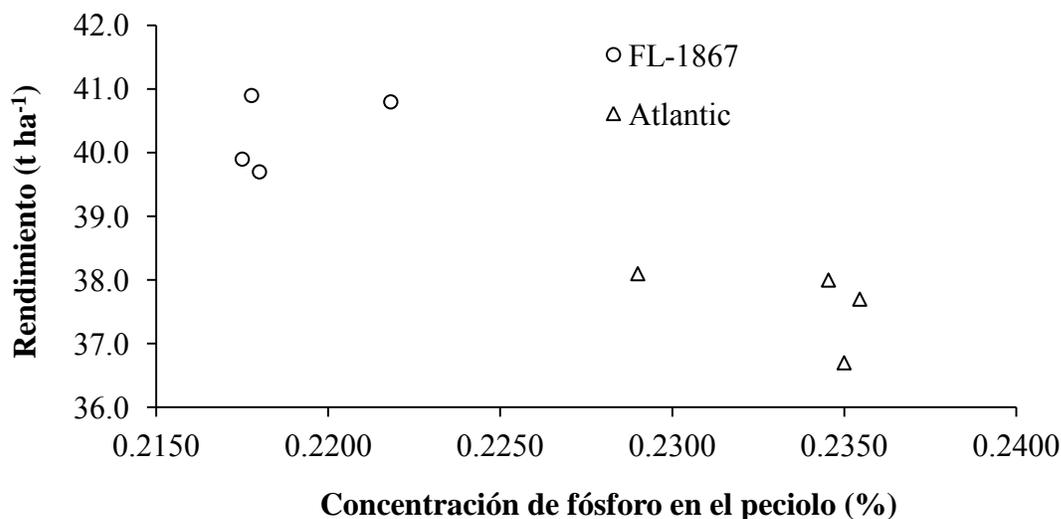


Figura 13. Rendimiento de las variedades FL-1867 y Atlantic con respecto a la concentración de fósforo en el peciolo.

Con el suministro adecuado de P en las plantas, la concentración en la solución del suelo se estima entre 0.03 a 0.2 $\mu\text{g P ml}^{-1}$, con lo cual permite aludir que es posible lograr obtener el 90 a 95 % del máximo rendimiento de cultivos demandantes en este nutriente (Boeger, 1992; Guerrero, 1998a); lo cual coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio, debido a que la concentración de P en el peciolo se encuentra dentro del rango de 0.03 a 0.2 $\mu\text{g P ml}^{-1}$. Además, Boeger (1992) dice que los fertilizantes fosforados disminuyen su eficacia con el tiempo luego de su aplicación; por lo cual es necesario utilizar nuevas tecnologías que contribuyan a solucionar problemas, hoy en día se tienen fertilizantes fosforados que suministra P por un mayor tiempo (Yara, 2019).

6.5. El calcio en el rendimiento.

En la variedad Atlantic no se encontró relación alguna entre el Ca aplicado y el rendimiento obtenido, la formulación Y1 presentó un rendimiento de 38.1 t ha⁻¹ con una concentración de 1.17 % Ca en los tubérculos, la formulación Y2 tuvo 38 t ha⁻¹ con una concentración de 1.24 % de Ca, formulación Y3 tuvo 37.7 t ha⁻¹ con una concentración de 1.25 % de Ca; mientras que el testigo presentó un rendimiento menor a los demás con 36.7 t ha⁻¹ con una concentración de 1.16 % Ca.

En la variedad FL-1867 tampoco se encontró relación alguna del Ca suministrado con el rendimiento. La formulación Y1 tuvo 40.9 t ha⁻¹ con una concentración de 1.25 % de Ca en los tubérculos; Y2 presentó un rendimiento de 40.8 t ha⁻¹ y una concentración de 1.29 % de Ca; Y3 tuvo 39.9 t ha⁻¹ y una concentración de 1.29 % de Ca, mientras que el Testigo fue el menor con 39.7 t ha⁻¹ y una concentración de 1.25 % Ca (Figura 14).

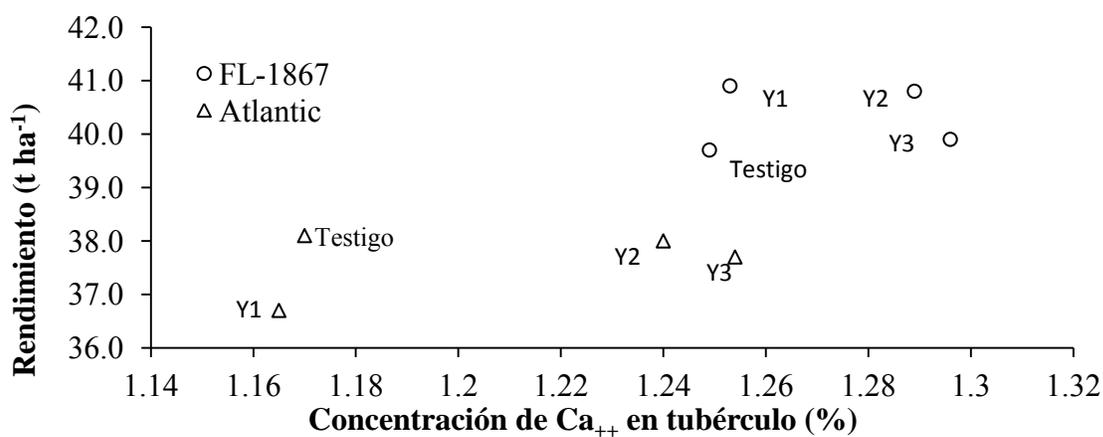


Figura 14. Relación entre el rendimiento de tubérculos y la concentración del Ca en el mismo órgano.

Debido a que en el testigo se aplicó 170 kg de YaraLiva Nitabor y el grosor de la pared celular fue de 4.68 μm ; en la formulación Y1, se suministraron 200 kg del mismo fertilizante, con la cual el grosor de la pared fue 5.02 μm ; para la formulación Y2 fueron 350 kg aplicados, donde el grosor de la pared celular se incrementó a 5.44 μm y en la formulación Y3, se aplicaron 650 kg del mismo fertilizante teniendo el mayor grosor en la pared celular de 6.58 μm (Figura 15).

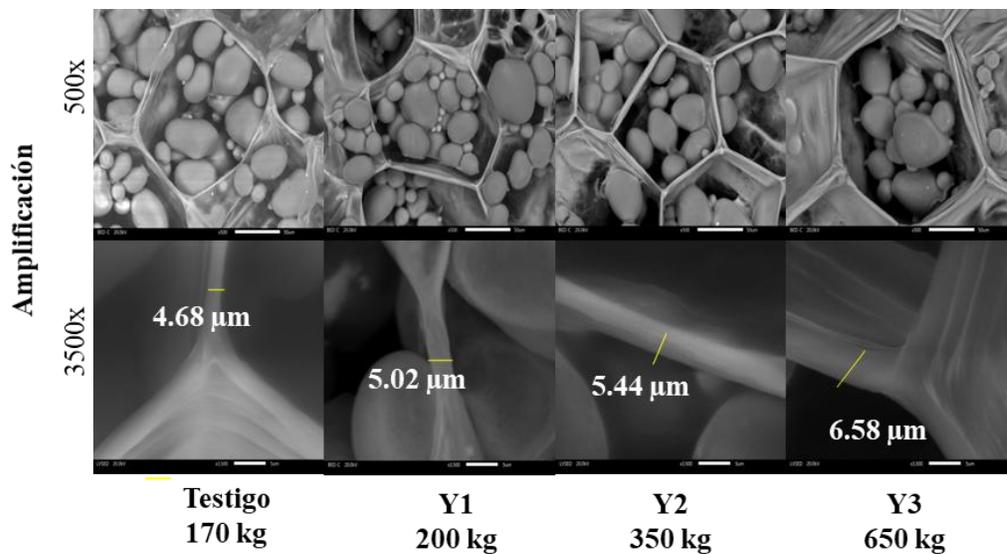


Figura 15. Relación directa entre la cantidad de Ca aplicado con el grosor de la pared celular. Imagen obtenida del análisis de 264 muestras de tubérculos en el Laboratorio de la UNAM, 2018.

No se encontró relación directa entre las cantidades de Ca aplicado en cada una de las formulaciones con respecto al rendimiento obtenido, a pesar de las distintas dosis aplicadas; aunque cabe mencionar, que no se puede separar el efecto del Ca por sí sólo, debido a que no se manejó por separado y no existe un testigo de referencia. Esto difiere con lo reportado con Cardona y Zapata (2016), donde se aplicó hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) sobre tubérculos de papa criolla y sobre el follaje, el cual presentó un efecto positivo en la brotación y sobre el rendimiento.

Se observó que entre mayor suministro de Ca, existe una respuesta positiva mayor en el grosor de la pared celular de los tejidos de tubérculos de papa, con lo cual se puede lograr aumentar la resistencia al ataque de patógenos e incrementar la vida útil post-cosecha y mejorar la calidad nutricional de los tubérculos (Aghdam *et al.*, 2012; Paniagua *et al.*, 2013; Ciccacese *et al.*, 2013).

6.6. Rendimiento.

En FL-1867 con las formulaciones Y1 y Y2 fueron los que mejores rendimientos presentaron con 40.9 y 40.8 t ha⁻¹, mientras que la formulación Y3 y testigo presentaron menor rendimiento con 39.9 y 39.7 t ha⁻¹ (Figura 16). Entre la formulación Y1 y el testigo existe una diferencia de 1.2 t ha⁻¹, esto indica que se obtuvo más producción con menos nutrientes ya que la dosis de la formulación Y1 fue: 194-122-225-27-36-94 kg ha⁻¹ de N-P-K-Mg-Ca-S y testigo: 280-169-206-17-25-89 kg ha⁻¹ de N-P-K-Mg-Ca-S, al utilizar menos de N y P se logra reducir los costos de producción. En el cultivar Atlantic, con las formulaciones Y1, Y2 y Y3 obtuvieron rendimientos de 38.1, 38 y 37.7 t ha⁻¹; mientras que en el testigo fue menor con 36.7 t ha⁻¹, con una diferencia de 1.4 t ha⁻¹ con Y1 que presentó el mayor rendimiento en este cultivar. Al igual que con la variedad FL-1867 se logró obtener mayor rendimiento con menos dosis de nutrientes.

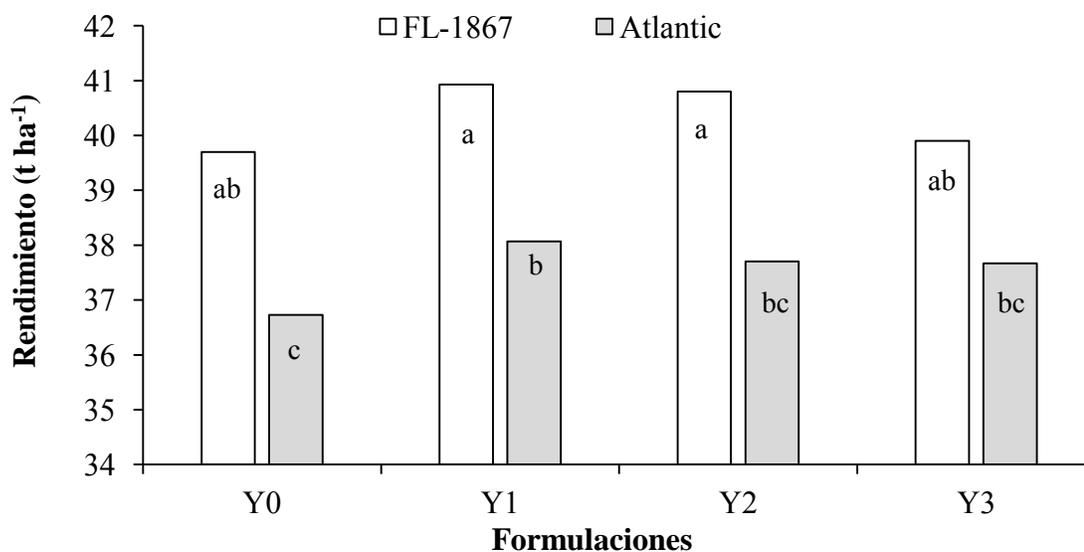


Figura 16. Rendimiento de tubérculos en la variedades FL-1867 y Atlantic con cuatro formulaciones de nutrientes.

La formulación Y1, presentó mayor rendimiento en el cultivar FL-1867 con una cantidad de nutrientes de 194-122-225-27-36-94 kg ha⁻¹ de N-P-K-Mg-Ca-S, lo cual está cercano con lo reportado por Sifuentes y Macías (2014) para el cultivar FL-1867 un mínimo de 171-11-203 y un máximo de 186-19-407 kg ha⁻¹ de N-P-K para la zona del Valle del Fuerte. Esto a la vez se asemeja con los resultados obtenidos por Sifuentes *et al.*, (2013) con la

variedad Fianna con una dosis de 245-30-350 kg ha⁻¹ de N-P-K donde estimaron un valor de rendimiento de 37.33 t ha⁻¹. La producción puede incrementarse cuando se tiene un suministro de nutrientes en las etapas adecuadas en el desarrollo del cultivo (Schachtman *et al.*, 1998; Oyarzún *et al.*, 2002; Echeverría, 2005; Marouani y Harbeoui, 2016).

En el cultivar Atlantic, la formulación Y1 también presentó mejor producción, Y1 está dentro de lo dicho por Sifuentes y Macías (2014), quienes reportan que la variedad Atlantic requiere un mínimo de 187-15-256 y un máximo de 226-19-430 de N-P-K para el Valle del Fuerte para una producción de 35 t ha⁻¹, lo cual coincide con Bertsch (2003), un requerimiento de 220, 20, 240, 60 y 20 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca y Mg para una producción de 20 t ha⁻¹.

6.7. Calidad de la cosecha.

La calidad fue similar entre las variedades en el número y el rendimiento de tubérculo en todas las categorías. El porcentaje de tubérculos de papa clasificados como primera, segunda, tercera y cuarta fue igual entre las formulaciones, excepto para el calibre menor de 44 mm de diámetro, donde la formulación Y1 presentó 14.9 % y la Y3 tuvo 12.56 %, de tubérculos pequeños, mientras que en las formulaciones Y0 y Y2 el valor fue menor de 6.14 % (DMS=4.65, $P \leq 0.05$), la interacción entre las variedades y la formulación testigo en ambas variedades se diferenció (DMS=8.40, $P \leq 0.05$) solo de Atlantic con Y1 y de FL-1867 con Y3 (Figura 17).

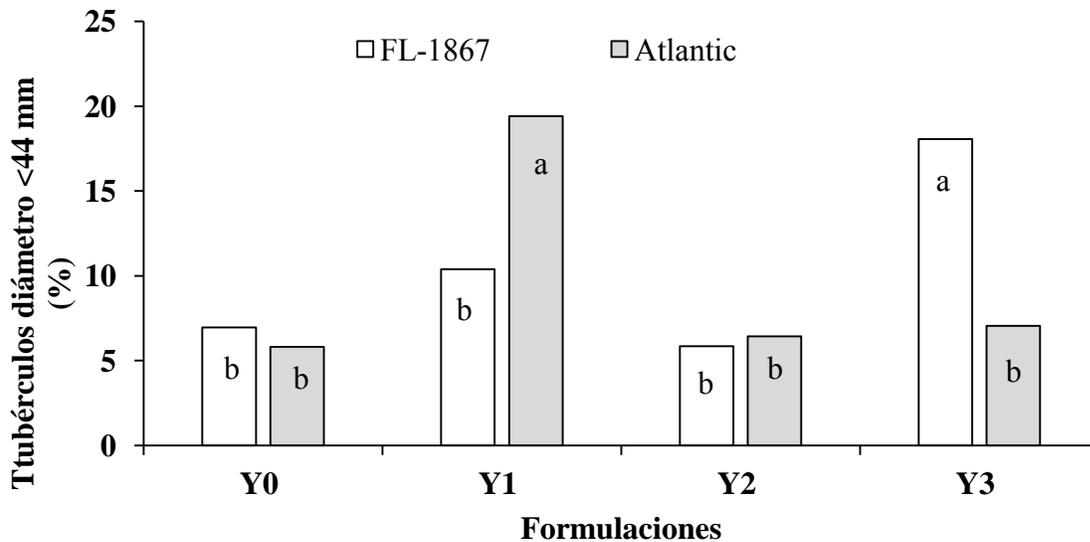


Figura 17. Porcentaje de tubérculos con diámetro menor a 44 mm, en las variedades FL-1867 y Atlantic con cuatro formulaciones de nutrientes.

El porcentaje de rendimiento de cada una de las categorías no presentó diferencias en las variedades, ni en las formulaciones nutricionales, tampoco hubo interacción. En el cultivar FL-1867 con la formulación Y2 presentó mayor cantidad de primeras con 16 % seguido por Y1 (15 %), Y3 (13 %) y por último el testigo con un 6 %. En la categoría de segundas Y2 tuvo un 53 %, Y1 y Y3 tuvieron un 51 % y el testigo un 44 %. El testigo presentó el mayor porcentaje de la categoría de cuartas con 28 %, seguido por Y2 y Y3 con un 14 % cada uno y Y1 presentó un 13 %. Las formulaciones Y1, Y2 y Y3 concentran su producción de tubérculos de segundas, seguido de terceras, primeras y en cuarta, en cambio el testigo produjo mayor cantidad de segundas, cuartas, terceras y en menor medida tubérculos de primeras.

El cultivar Atlantic con la formulación Y3 presentó mayor cantidad de primeras con 23 %, seguido de Y2 con un 20 %, Y1 con 18 % y el testigo con 12 %. En la categoría de segundas, Y2 presentó un 48 %, seguido de Y1 y Y3 con 46 % y testigo con 40 %. En terceras, Y2 presentó un 26 %, Y1 con 25 %, Y3 con 23 % y testigo con 22 %. En la categoría de cuartas, el testigo presentó 26 %, Y1 11%, Y3 8 % y Y2 6%. Las formulaciones Y1, Y2 y Y3 concentran su mayor rendimiento en la formación de tubérculos de segunda, seguido por terceras, primeras y en menor proporción en la

obtención de cuartas. En cambio, el testigo también produce mayores tubérculos de segunda, después se obtuvieron más tubérculos de cuartas, terceras y primeras.

Las formulaciones Y1, Y2 y Y3 en ambos cultivares la producción se concentró más en la obtención de tubérculos de segundas, terceras, primeras y cuartas; lo cual se asemeja a lo obtenido por Sifuentes *et al.*, (2013) en el Valle del Fuerte, además, se obtuvieron tubérculos más uniformes y de mejor calidad, debido a que se realizaron aplicaciones de nutrientes con fuentes que permiten la fácil obtención de estos en la plantas durante todo el desarrollo del cultivo, lo cual permitirá llegar a tener un mayor estímulo (pago) económico para los productores (Aghdam *et al.*, 2012; Paniagua *et al.*, 2013; Ciccarese *et al.*, 2013; Yara, 2019).

VII. CONCLUSIONES

Las formulaciones Yara permiten incrementar el número de tubérculos y el rendimiento en ambas variedades, mientras que la formulación testigo solo lo consigue en la variedad FL-1867.

Las formulaciones Yara y la utilizada por el productor producen tubérculos con calidad en las cultivares Atlantic y FL-1867.

Las concentraciones de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio y boro en el peciolo consideradas como óptimas, para el desarrollo y crecimiento de la planta, se obtienen con todas las formulaciones en las variedades Atlantic y FL-1867.

VIII. RECOMENDACIONES

Debido a que no fue posible realizar un segundo ciclo, ya que se presentaron condiciones climáticas atípicas como lluvias abundantes en el último cuatrimestre del 2018, las cuales no permitieron organizar de manera correcta una segunda prueba; por lo cual se recomienda repetir el experimento para corroborar los resultados obtenidos.

IX. LITERATURA CITADA.

- Aghdam, M. S., B. Hassanpouraghdam, M., G. Paliyath, and B. Farmani. 2012. The language of calcium in postharvest life of fruits, vegetables and flowers. *Scientia Horticulturae* 144 (Supplement C): 102–15. doi:10.1016/j.scienta.2012.07.007
- Agusti, M. 2010. *Fruticultura*. 2nd ed. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa; 507 p.
- Alarcón, N. 2000. Efecto del potasio en la calidad de la papa para Industria. *In: Papas Colombianas*, 2000. 3(1-2): 78-84.
- Arsenault, W. J. and Cristie, B. R. 2004. Effect of whole seed tuber size and pre-plant storage conditions on yield and tuber size distribution of Russet Burbank. *American Journal of Potato Research* 81: 371-376.
- Bari, M. S., G. Rabbani M., S. Rahman M., J. Islam M. M. and R. Hoque T. 2001. Effect of zinc, boron, sulphur and magnesium on the growth and yield of potato. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 4(9): 1090-1093.
- Barry, G. H., y P. Bower. 1997. Manipulation of fruit set and stylar-end fruit split in ‘Nova’ mandarin hybrid. *Scientia Horticulturae*. 70(2–3): 243–50. doi:10.1016/S0304-4238(97)00025-3.
- Belanger, G., J. R. Walsh, J. E. Richards, P. H. Milburn and N. Ziadi. 2002. Nitrogen fertilization and irrigation effects tuber characteristics of two potato cultivars. *American Journal Potato Res.*79:269-279.
- Bennett, W.F. 1993. Plant Nutrient Utilization and Diagnostic Plant Symptoms. En: Bennett W.F. 1993. *Nutrient Deficiencies & Toxicities in Crop Plants*. 1st Edition. APS Press. Minnesota. USA: 1-7.
- Bernal, J. y Espinosa, J. 2003. *Manual de nutrición y fertilización de pastos*. Instituto de la Potasa y el fósforo. INPOFOS. Quito, Ecuador. 45 p.

- Bertsch, F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 307 p.
- Blevins, D. G., and Lukaszewski, K. M. 1998. Boron in plant structure and function. *Annual Review of Plant Biology*, 49(1): 481-500.
- Boeger, A. 1992. El fósforo en el sistema suelo-planta. *Revista Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) Inv. Agr.* 1(1): 45-60
- Brown, P. H., N. Bellaloui, A. Wimmer, M., S. Bassil, E., J. Ruiz., H. Hu., H. Pfeffer, F. Dannel and V. Römheld. 2002. Boron in plant biology. *Plant Biology* 4(2): 205-223.
- Busse, J. S. and Palta, J. P. 2006. Investigating the in vivo calcium transport path to developing potato tuber using ^{45}Ca : a new concept in potato tuber calcium nutrition. *Physiologia Plantarum*. 128: 313-323.
- Cakmak, I. and V. Romheld. 1997. Boro deficiency-induced impair me cellular functions in plants. *Plant Soil*, 193: 71-83.
- Cardona, L. y Zapata, J. 2016. Efecto del hidróxido de calcio sobre la brotación, tizón tardío y rendimiento en papa "criolla". *Rev. Temas Agrarios*, 21(1): 65-76.
- Castro, H. 2005. Balance y prospectiva de la investigación en el campo de la fertilización para el sistema de producción de papa en Colombia. pp 31-43. *In: Memorias. I Taller Nacional sobre suelos, fisiología y nutrición vegetal en el cultivo de la papa. Centro Virtual de Investigación de la Cadena Agroalimentaria de la Papa (CEVIPAPA). Bogotá, Colombia.*
- Ciccarese, A., M. Stellacci, A., G. Gentile and P. Rubino. 2013. Effectiveness of pre- and post-veraison calcium applications to control decay and maintain table grape fruit quality during storage. *Postharvest Biology and Technology*. 75 (Supplement C):135–41. doi: 10.1016/j.postharvbio.2012.08.010

- Correndo, A., y F. García. 2012. Concentración de nutrientes en planta como herramienta de diagnóstico. *Informaciones Agronómicas Hispanoamérica* #14-Marzo. International Plant Nutrition Institute (IPNI).
- Echeverría, H. E. 2005. Papa. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. *In: Echeverría, H. E.; y García, F.O (eds.)*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires. Argentina. pp. 365 - 378.
- Echeverria, H. E. y Sainz Rozas. 2007. Nitrógeno. Pp: 69-97. *In: Echeverria H. E., y O. García F. O. (Eds)*. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina. pp. 69-97.
- Emana, B., and Nigussie, M. 2011. Potato value chain analysis and development in Ethiopia. Case of Tigray and SNNP Regions. International Potato Center (CIP-Ethiopia), Addis Ababa, Ethiopia.
- Fallas, R. y F. Bertsch, F. 2014. Análisis del estado nutrimental del cultivo de la papa en Costa Rica con base en información existente. *Agronomía Costarricense* 38(1): 199-206. ISSN: 0377-9424/2014.
- Fundación Produce Sinaloa. 2008. Nuevas variedades de papa en el norte de Sinaloa. Ficha técnica. 29 p. (Consulta, diciembre 2017).
- Girma, C., C. Abebe and O. Zeleke. 2017. Response of applied phosphorus fertilizer rate and plant spacing for potato (*Solanum tuberosum* L.) production on nitisols in central highland of Ethiopia. *Greener Journal of Agricultural Sciences*, 7, 255–262. doi:10.15580/GJAS
- Goffart, J. P., M. Olivier, y M. Frankinet, 2008. Potato crop nitrogen status assessment to improve N fertilization management and efficiency. *Past-Present- Future. Potato Research*. 51:355-383.
- Guerrero, R. 1998a. Fertilización de cultivos de clima frío. 2da edición. Monómeros Colombo Venezolanos. Santa Fe de Bogotá. 425 p.

- Guerrero, R. 1998b. La fertilización con azufre para el cultivo de la papa en Colombia. *In: Fertilización de cultivos de clima frío. Segunda Edición. Monómeros Colombo Venezolanos, Colombia. 370 p.*
- Guerrero, R., V. Montenegro V.y YM. , Ross M. 2000. Fertilización con Magnesio para más y mejores rendimientos en papa. *En In: Papas colombianas 2000. Revista Ventana al Campo Andino. 3: 96-99.*
- Havlin, J. L., S. L. Tisdale, W. L. Nelson, and J. D. Beaton. 1999. Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. Prentice-Hall. Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- Hopkins, B. G., Jolley, V. D., Web, B. L., Ellsworth, J. W., Callahan, R. K. 2007. Boron fertilization in potato. Western Nutrient Management Conference. Vol. 7. Salt Lake City, U. pp. 215-218.
- Horneck, D. y Rosen, C. 2008. Measuring nutrients accumulation rates of potatoes too for better management. 92: 1-4.
- Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). 2009. Las papas nativas y su importancia en la salud y alimentación. Disponible en: www.iniap.gob. (Consulta, noviembre 2017).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2009. Prontuario de información municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Disponible en: http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/25/25011.pdf (Consulta, noviembre 2017).
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2000. Manual para la producción de papa en las sierras y valles altos del centro de México. Libro técnico N^o 1, División agrícola México. 38 p.
- Jones, B. J. R. 2003. Plant Nutrition Manual. CRC Press LLC. Florida, U.S.A. p. 149.

- Klikocka, H., S. Haneklaus, E. Bloem, and E. Schnug. 2005. Influence of sulfur fertilization on infection of potato tubers with *Rhizoctonia solani* and *Streptomyces scabies*. *Journal. Plant Nuture*. 28:819-833.
- Lalitha, B. S., K. H. Nagaraj and T. N. Anand, 2002. Effect of source propagation, level of potassium and sulphur on potato (*Solanum tuberosum* L.). *Mys. Journal of Agricultural Science.*, 36: 148-153.
- Lora, R. 2001. Los elementos secundarios Ca, Mg, S y el Silicio en la Agricultura. Bogotá: S.C.C.S cap. Cundinamarca. 176 p.
- Lynch D., R. Kozub, G. C., and M. Kawchuk, L. 2001. The relationship between yield, mainstem number, and tuber number in five maincrop and two early-maturing cultivars. *American Journal of Potato Research* 78: 83-90.
- Malavolta, E., Vitti, G. C., y A. de Oliveira, S. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: Pprincípios e aplicações. 2da Ed.. rev e atual. POTAFOS. Piracicaba-SP. 319 p.
- Marouani, Amel y Harbeoui, Youcef. 2016. Eficiencia de uso de nitrógeno en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Acta Agronómica*, 65 (2): 164-169.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2ª edición. Editorial Academic Press Limited. London. pp. 21-40.
- Morales H. J. L., J. Hernández, M. y S. Rebollar R. 2013. Rendimiento de papa con fuentes de fertilización mineral en un Andosol del Estado de México. *Ciencias Agrícolas*. 4(6): 881-893.
- Mulder, A. and Turkensteen, L. 2005. Potassium deficiency. *In: Mulder, A. and Turkensteen, L. (Eds.) Potato diseases: diseases, pests and defects*. NIVAP, Holland. 209-2011 pp.
- Nasreen, S., S. M. I. Haq and M. A. Hossain, 2003. Sulphur effects on growth responses and yield of onion. *Asian Journal. Plant Sciences.*, 2: 897-902.

- Novoselov, S. I. y V. Ivanova, A.V. 2020. Sulfur-containing fertilizers influence on sulfur balance at potato cultivation. IOP Conf. Ser: Earth Environmental Science 421: 032031.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Historia de la papa. 2008. Disponible en: <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/origenes.html> (Consulta, Noviembre 2017).
- Osman K. 2013. Soils: Principles, Properties and Management. 260 p.
- Oyarzún, P., F. Chamorro, J. Córdova, F. Merino, F. Valverde y J. Velázquez. 2002. El cultivo de la papa en Ecuador. Manejo agronómico. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) – Centro Internacional de la Papa (CIP). 3(1): 51-84.
- Palacios, J. 2005. Citricultura. Buenos Aires, Argentina: Hemisferio Sur. 518 p.
- Paniagua, A. C., R. East, A., P. Hindmarsh, J., and A. Heyes, J. 2013. Moisture loss is the major cause of firmness change during postharvest storage of blueberry. *Postharvest Biology and Technology*. 79: 13–9. doi:10.1016/j. postharvbio.2012.12.016
- Pérez, D. J., M. Gómez, T., A. M., González, A., O. Franco., M., O. Rubí, M., F. Gutierrez, F. y R. Serrato. 2013. Calidad de plántula en cinco cultivares de papa determinada por la intensidad de luz blanca y tipo de propagación. *Ciencia Ergo Sum*, 20 (2): 138-147.
- Rincón, A. y Martínez, E. 2015. Funciones del calcio en la calidad postcosecha de frutas y hortalizas : Una Revisión. *Alimentos Hoy* 24: 13–25.
- Rodríguez, S. F. 1996. Fertilizantes-Nutrición Vegetal. AGT editor. S. A. México, D.F. 157 p.
- Sandhu, A., Sharma, S., Bhutani, R., and S. Khurana. 2014. Effects of planting date and fertilizer dose on plant growth attributes and nutrient uptake of potato (*Solanum tuberosum* L.). *International Journal of Agricultural Sciences*, 4, 196–202.

- Schachtman, D. P., R. J. Reid y S. M. Ayling. 1998. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiology* 116(1): 447- 453.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA:SICDE). 2016. El cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). Disponible:https://sicde.agricultura.gob.mx/portal/bin/boletinDetalle.php?from=0&accion=buscar&subrutina=pagina_1&column=2&busqueda=&orderBy=Boletines.Fecha&order=ASC&fecha=&boletinId=3707443714b7c25fbb51b9 (Consulta noviembre 2017).
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). 2009. Producción de semilla de papa en Baja California. Disponible en: http://www.oeidrus-bc.gob.mx/oeidrus_bca/pdf/biblioteca/agropecuaria/DocumentoPAPA.pdf (Consulta diciembre 2017).
- Sifuentes, E. y Macías, J. 2014. Requerimientos nutricionales de las principales variedades de papa en Sinaloa. SAGARPA-FPS-INIFAP. Ficha técnica 13 p.
- Sifuentes, E., Ojeda, W., Mendoza, C., Macías, J., Rúelas, J. R. e Inzunza., M. A. 2013. Nutrición del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) considerando variabilidad climática en el “Valle del Fuerte” Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 4: 585-597.
- Steenjberg, F. 1954. Weathering of minerals as indicated by plants. *Journal of Soil Science* 5: 205-213.
- Sud, K. C. y R. C. Sharma, 2002. Sulphur needs of potato under rainfed conditions in Shimla Hills. *In: Potato Global Research and Development*, Paul Khurana, S. M., G. S. Shekhawat, S. K. Pandey and B.S. Singh (Eds.). 2: 889-899.
- Tantawy, A. S., A. M. R. Abdel-Mawgoud., M. A. El-Nemr and Y. Ghorra-Chamoun, 2009. Alleviation of salinity effects on tomato plants by application of amino acids and growth regulators. *European Journal of Scientific Research*, 30(3): 484-494.

- Tapia-Torres, Y., F. Yunuen y F. García-Oliva. 2013. La disponibilidad del fósforo es producto de la actividad bacteriana en el suelo en ecosistemas oligotróficos: una revisión crítica. *Terra Latinoamericana*, vol. 31 , núm. (3), pp. 231-242
- Walworth, J. L., y Sumner, M. E. 1987. The Diagnosis and Recommendations Integrated System (DRIS). *In: Advances in Soil Science*, Stewart B. A. (Ed.). Springer-Verlag. NY, USA: 6:149-188.
- White, P. J., E. Whcatley, R., P. Hammond, J. and Zhang, K. 2007. Minerals, soils and roots. *In: Vreugdenhil, D. (ed.). Potato biology and biotechnology, advances and perspectives*. Elsevier Amtersdan. pp. 739-752.
- Yara. 2019. P-Extend, Fósforo de máxima eficiencia. Disponible en: [https://www.yara.es/noticias-y-eventos/noticias/p-extend-fosforo-de maxima-eficiencia/](https://www.yara.es/noticias-y-eventos/noticias/p-extend-fosforo-de-maxima-eficiencia/) Consultado: 15 de enero de 2020.
- Yfran, M, D., M. Chabbal., A. Piccoli., I. Giménez I. A. Rodríguez, V. y C. Martínez, G. 2017. Fertilización foliar con potasio, calcio y boro. Incidencia sobre la nutrición y calidad de frutos en mandarina nova. *Cultivos Tropicales*. 38 (4): 22-29.