

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMÍA



“FUENTES FOSFATADAS EN UNA ROTACIÓN DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) Y QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

PAOLA YANAYACO ROMERO

LIMA – PERÚ

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

“FUENTES FOSFATADAS EN UNA ROTACIÓN DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) Y QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO”

Presentada por:

PAOLA YANAYACO ROMERO

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

Sustentada y Aprobada ante el siguiente jurado:

Dra. Luz Gómez Pando
PRESIDENTE

Dr. Guillermo Aguirre Yato
ASESOR

Ing. Mg. Sc. Gilberto Rodríguez Soto
MIEMBRO

Ing. Mg. Sc. Luis Tomassini Vidal
MIEMBRO

LIMA – PERÚ

2018

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a mi familia, estoy inmensamente agradecida con ellos por su amor y por el apoyo incondicional que siempre me brindan. Los amo.

Mi admiración es hacia ellos; a mi padre Sergio por su perseverancia y puntualidad, a mi madre Rafaela por su noble corazón y cariño, a mi hermana Jery por su carácter indomable y colaboración para con los demás, a mi hermano Henry por la responsabilidad y rectitud que lo caracteriza y a mi abuelo Nieves por su chispa innata y buen ánimo, que mantuvo aún a sus 105 años.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Dios por permitirme llegar hasta donde estoy y sobre todo por permitirme estar junto a mis seres queridos, también por permitirme ser parte de la Universidad Nacional Agraria La Molina y culminar con éxito mi estancia en ella, en él me apoyo para afrontar cualquier obstáculo y seguir adelante en busca de mis sueños.

Un agradecimiento especial al Dr. Guillermo Aguirre Yato, patrocinador de la tesis, por su tiempo, su apoyo incondicional, sus enseñanzas, sus consejos y su orientación para culminar satisfactoriamente este trabajo de investigación. Agradecer también la disposición que tuvo para con sus alumnos, siempre tendré presente la gran persona que fue.

Agradezco también el tiempo brindado y las observaciones de mi Jurado de Tesis, los profesores: Dra. Luz Gómez Pando, Mg.Sc. Luis R. Tomassini Vidal y Mg.Sc. Gilberto Rodríguez Soto.

A los señores Mario Jiménez y Oscar Sigil, encargados del Laboratorio e Invernadero de Fertilidad del Suelo “Sven Villagarcía Hermosa” de la Universidad Nacional Agraria La Molina, muchas gracias por su apoyo incondicional hacia mi persona y hacia todos los tesisistas y alumnos que pasan por esas instalaciones, gracias por todo.

Y muchas gracias a todos mis mejores y grandes amigos, a mis compañeros y conocidos, a todas las bellas personas que me brindan su amistad y que contribuyeron directa o indirectamente con la motivación necesaria para poder llevar a cabo la realización de mi tesis, en especial a Davis H. Agama Gastelo.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
	2.1 Papa	3
	2.1.1 Importancia, distribución y descripción	3
	2.1.2 Requerimientos climáticos	4
	2.1.3 Suelos	5
	2.1.4 Fertilizantes	5
	2.1.5 Concentración de nutrientes (N y P) en papa	6
	2.1.6 Época de siembra	7
	2.1.7 Variedad: Canchán	8
	2.2 Quinua	9
	2.2.1 Distribución, origen y descripción	9
	2.2.2 Requerimientos climáticos	10
	2.2.3 Suelos	11
	2.2.4 Fertilización	11
	2.2.5 Concentración de nutrientes (N y P) en quinua	12
	2.2.6 Siembra y época de siembra	12
	2.2.7 Variedad: Pasankalla	12
	2.3 Fósforo	13
	2.3.1 Importancia	13
	2.3.2 El Rol del fósforo en la planta	14
	2.3.3 Formas de fósforo en el suelo	15
	2.3.4 El Ciclo del fósforo	17
	2.3.5 Deficiencias de fósforo	20
	2.4 Importaciones de fertilizantes fosfatados	21
	2.5 Rotación de cultivos	21
	2.6 Fuentes fosfatadas usadas	25
	2.6.1 Superfosfato triple de calcio ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$)	25

2.6.2 Fosfato diamónico ((NH ₄) ₂ HPO ₄)	25
2.6.3 Fosfato monoamónico (NH ₄ H ₂ PO ₄)	26
2.6.4 MicroEssentials SZ®	27
2.6.5 Agriphos®	27
2.6.6 Roca fosfórica	27
2.7 Experiencias de fertilización en papa y quinua	28
2.8 Efecto residual del fósforo	30
III. MATERIALES Y MÉTODOS	32
3.1. Ubicación del experimento	32
3.2 Datos meteorológicos	32
3.3 Materiales empleados	32
3.3.1 Del sustrato	32
3.3.2 Agua	34
3.3.3 De los fertilizantes	35
3.3.4 De los cultivos indicadores	36
3.4 Materiales diversos	37
3.5 Variables de evaluación	37
3.5.1 Altura de planta	37
3.5.2 Acumulación de biomasa	37
3.5.3 Extracción de nutrientes (N y P)	37
3.6 Diseño experimental	38
3.7 Fechas de actividades	40
3.7.1 Actividades en invernadero	40
3.7.2 Actividades de laboratorio	46
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
4.1 Datos meteorológicos	47
4.2 Datos generales	49
4.3 Altura de planta	51
4.3.1 Papa	51
4.3.2 Quinua	53
4.4 Biomasa	56
4.4.1 Papa	56
4.4.2 Quinua	59

4.5 Extracción de nitrógeno y fósforo	61
4.5.1 Papa	61
4.5.2 Quinoa	64
4.6 Tendencia entre la extracción de fósforo y biomasa total	68
4.6.1 Papa	68
4.6.2 Quinoa	70
4.7 Efecto residual de las fuentes de P	72
V. CONCLUSIONES	74
VI. RECOMENDACIONES	75
VII. BIBLIOGRAFÍA	76
VIII. ANEXOS	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Dosis de NPK para papa	6
Tabla 2: Zonas de producción y campañas agrícolas	7
Tabla 3: Los sistemas de rotación de cultivos, en layme o aynoqa en Puno	24
Tabla 4: Análisis físico – químico de suelo del sustrato	34
Tabla 5: Leyes de las fuentes fosfatadas utilizadas en el trabajo de investigación	35
Tabla 6: Productos de solubilidad de algunos ortofosfatos presentes en suelos a 25°C ...	35
Tabla 7: Tratamientos y dosis de nutrientes en (ppm)	39
Tabla 8: Fechas de actividades durante la parte experimental del trabajo de investigación	40
Tabla 9: Información meteorológica de T °C y HR durante la realización del trabajo de investigación (año 2014)	48
Tabla 10: Comparación de medias de las distintas variables de los tratamientos en el cultivo de la papa, mediante la prueba Tukey	50
Tabla 11: Comparación de medias de las distintas variables de los tratamientos en el cultivo de la quinua, mediante la prueba Tukey	50
Tabla 12: Comparación de las medias de las alturas de los tratamientos mediante la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$, en el cultivo de papa	52
Tabla 13: Comparación de las medias de las alturas de los tratamientos mediante la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$, en el cultivo de quinua	54
Tabla 14: Comparación de las medias de la biomasa total de los tratamientos, mediante la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$ en el cultivo de papa	56
Tabla 15: Comparación de las medias de la biomasa total de los tratamientos, mediante la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$ en el cultivo de quinua	59
Tabla 16: Comparación de las medias de las extracciones de nitrógeno de los tratamientos, mediante la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$ en el cultivo de papa	61
Tabla 17: Comparación de las medias de las extracciones de fósforo de los tratamientos, mediante la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$ en el cultivo de papa	62
Tabla 18: Concentración de P en la parte aérea en el cultivo de papa	64
Tabla 19: Comparación de las medias de las extracciones de nitrógeno de los tratamientos, mediante la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$ en el cultivo de quinua....	65

Tabla 20: Comparación de las medias de las extracciones de fósforo de los tratamientos, mediante la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$ en el cultivo de quinua ...	66
Tabla 21: Concentración de P en la parte aérea y raíces del cultivo de la quinua	67
Tabla 22: Valores de extracción de P y biomasa en papa	69
Tabla 23: Valores de extracción de P y biomasa en quinua	70
Tabla 24: Valores de extracción de P (mg/maceta) en el cultivo de papa y de quinua	72
Tabla 25: Superficie cosechada, rendimientos y producción de papa en el Perú a nivel nacional	83
Tabla 26: Superficie cosechada, rendimientos y producción de quinua en el Perú a nivel nacional	83
Tabla 27: Rendimiento de quinua por departamentos (kg/ha)	84
Tabla 28: Ranking de productos enero – diciembre (2014/2013) miles USD FOB	86
Tabla 29: Volumen de importaciones (t) de principales fertilizantes en el Perú; período 1993-2012	87
Tabla 30: Valores de altura, biomasa, extracción de N y P	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Especies cultivadas de papa	4
Figura 2: Ciclo del fósforo en los suelos	19
Figura 3: Semilla agronómica de papa, variedad Cancán	36
Figura 4: Uniformización del sustrato y tapado de macetas	41
Figura 5: Llenado de macetas dependiendo de cada tratamiento	42
Figura 6: Siembra de papa (a) y siembra de quinua (b)	42
Figura 7: Algunas labores realizadas en los cultivos de papa y quinua	43
Figura 8: Abertura de huecos y puesta de plato para el drenaje	43
Figura 9: Etapa en jaula y cambio de jaula	44
Figura 10: Productos químicos utilizados: Lannafarm y Ridomil	45
Figura 11: Raíces y tubérculos en cosecha y después del lavado	46
Figura 12: Raíces de quinua en cosecha y después del lavado	46
Figura 13: Daños de mildiu en el cultivo de la quinua	47
Figura 14: Curva de variación de temperatura (°C) de La Molina	49
Figura 15. Comparación de las medias de las alturas de papa	52
Figura 16: Altura de las plantas de papa a los 50 dds, una repetición por cada tratamiento, 14 días antes del inicio de la cosecha	53
Figura 17: Comparación de las medias de las alturas de plantas de quinua	55
Figura 18: Altura de las plantas de quinua a los 56 dds	55
Figura 19: Comparación de biomاسas totales en el cultivo de la papa	56
Figura 20: Partes de la biomasa total en papa	57
Figura 21: Tubérculos producidos al final de la cosecha	58
Figura 22: Tubérculos y raíces de los tratamientos FDA y TP	58
Figura 23: Comparación de biomاسas totales en el cultivo de la quinua	59
Figura 24. Comparación del desarrollo alcanzado por las quinuas en los tratamientos RF y TP	60
Figura 25: Comparación de las medias de las extracciones de nitrógeno en el cultivo de la papa	61
Figura 26: Comparación de las medias de las extracciones de fósforo en el cultivo de la papa	63

Figura 27: Comparación de las medias de las extracciones de nitrógeno en el cultivo de la quinua	65
Figura 28: Comparación de las medias de las extracciones de fósforo en el cultivo de la quinua	67
Figura 29: Gráfica de dispersión, regresión entre la extracción de P y la biomasa en el cultivo de papa	69
Figura 30: Gráfica de tendencia entre la extracción de P y la biomasa en el cultivo de Papa	70
Figura 31: Gráfica de dispersión, regresión entre la extracción de P y la biomasa en el cultivo de quinua	71
Figura 32: Gráfica de tendencia entre la extracción de P y la biomasa en el cultivo de quinua	71
Figura 33: Gráfica de tendencia entre la extracción de P en papa y en quinua en todos los tratamientos	72
Figura 34: Exportaciones de quinua (Miles US\$ FOB), evolución en 10 años	85
Figura 35: Perú: Exportaciones de quinua, crecimiento ascendente	85
Figura 36. Procedimiento para la determinación del nitrógeno total, digestión antes de la destilación	94
Figura 37: Destilación de la solución digestada	95
Figura 38: Preparación del extracto de las muestras	96
Figura 39: Dilución y filtrado del extracto de cada muestra	97
Figura 40: Preparación de muestras	99
Figura 41: Gráfica de tendencia entre la altura, biomasa, extracción de N y P en todos los tratamientos en quinua	111

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Superficie cosechada, rendimiento y producción de papa y quinua en el Perú	83
Anexo 2: Exportaciones de quinua	85
Anexo 3: Volumen de importaciones de fertilizantes	87
Anexo 4: Análisis de suelo	88
Anexo 5: Datos meteorológicos abril – noviembre	89
Anexo 6: Resultados de biomasa (materia seca g/planta) en la parte aérea, raíces y tubérculos en el cultivo de la papa	91
Anexo 7: Resultados de biomasa (materia seca g/planta) en la parte aérea y raíces en Cultivo de la quinua	92
Anexo 8: Determinación del nitrógeno total	93
Anexo 9: Obtención del extracto húmedo para la determinación de fósforo total	96
Anexo 10: Preparación de muestra para la lectura de fósforo en el colorímetro	98
Anexo 11: Análisis de varianza de las diferentes variables en el cultivo de papa y quinua	100
Anexo 12: Concentración de nitrógeno (%) en papa (parte aérea, raíces y Tubérculos)	102
Anexo 13: Extracción de nitrógeno (%) en papa (parte aérea, raíces y tubérculos)	103
Anexo 14: Concentración de fósforo (%) en papa (parte aérea, raíces y tubérculos)	104
Anexo 15: Extracción de fósforo (mg) en papa (parte aérea, raíces y tubérculos)	105
Anexo 16: Concentración de nitrógeno (%) en quinua (parte aérea y raíces)	106
Anexo 17: Extracción de nitrógeno (mg) en quinua (parte aérea y raíces)	107
Anexo 18: Concentración de fósforo (%) en quinua (parte aérea y raíces)	108
Anexo 19: Extracción de fósforo en plantas de quinua (parte aérea y raíces)	109
Anexo 20: Aplicaciones de fertilizantes en el cultivo de papa y quinua	110
Anexo 21: Tendencia de altura, biomasa, extracción de N y P en quinua	111

RESUMEN

Siendo el fósforo un recurso no renovable, se pretende confirmar que una sola fertilización fosfatada es suficiente para abastecer los requerimientos de P de dos cultivos, rescatando el principio del efecto residual y así realizar un uso eficiente del P. Para ello se estudió el efecto residual del P en una rotación de cultivos -papa y quinua- bajo condiciones de invernadero en la Universidad Nacional Agraria La Molina. Se evaluaron seis fuentes de P y un tratamiento control sin fertilización fosfatada (TP), las variables fueron altura de planta, biomasa total y extracción de P y N. El diseño estadístico empleado fue un DCA con siete tratamientos y tres repeticiones. Se utilizaron fertilizantes altamente solubles como fosfato diamónico (FDA), fosfato monoamónico (FMA), entre otros, y uno poco soluble como la roca fosfórica (RF). Las dosis utilizadas en papa fueron 400, 150 y 100 mg/kg de P₂O₅, N y K₂O respectivamente; y en quinua, 50 mg N/kg suelo. Para altura de planta y biomasa total en el cultivo de papa, las mejores fuentes fueron FMA y FDA y para el cultivo de quinua, el mayor resultado fue obtenido con RF. Las mayores extracciones de N y P en papa; y P en quinua se obtuvieron con FMA, FDA, MicroEssentials SZ® (MZ) y Superfosfato triple (ST). Finalmente, para el cultivo de papa, la extracción de P mostró la misma tendencia que la producción de biomasa; mientras que, para el cultivo de la quinua, la extracción de P no tuvo la misma tendencia que la producción de biomasa. Se corroboró el efecto residual de todas las fuentes de fósforo en el segundo cultivo, la solubilidad de RF fue suficiente para suplir P a la rotación y obtener la mayor producción de biomasa en quinua y en la rotación total.

Palabras clave: Papa, quinua, fertilización fosfatada, extracción de nutrientes, rotación de cultivos.

ABSTRACT

Being phosphorus is a non-renewable resource, it is intended to confirm that a single phosphate fertilization is enough to supply the P requirements of two crops, rescuing the principle of residual effect and thus to make efficient use of P. For this purpose, it was studied the residual effect of P in a crop rotation -potato and quinoa- under greenhouse conditions at the La Molina National Agrarian University. Six sources of P and a control treatment without phosphate fertilization (TP) were evaluated, the variables were plant height, total biomass and extraction of P and N. The used statistical design was a DCA with seven treatments and three repetitions. Highly soluble fertilizers such as diammonium phosphate (FDA), monoammonium phosphate (FMA), among others, and a poorly soluble one like phosphate rock (RF) were used. Doses used in potatoes were 400, 150 and 100 mg / kg of P_2O_5 , N and K_2O respectively; and in quinoa, 50 mg N / kg soil. For plant height and total biomass in potato crop, the best sources were FMA and FDA and for quinoa crop, the highest result was obtained with RF. The highest extractions of N and P in potato; and P in quinoa were obtained with FMA, FDA, MZ and ST. Finally, for potato crop, P extraction showed the same tendency as biomass production; otherwise, for quinoa crop, P extraction did not have the same trend as biomass production. The residual effect of all phosphorus sources in the second crop was corroborated, RF solubility was enough to supply P to rotation and obtain the highest biomass yield in quinoa and in total rotation.

Keywords: Potato, quinoa, phosphate fertilization, nutrient extraction, crop rotation.

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación relaciona tres aspectos importantes; el cultivo de la papa, el de la quinua y la fertilización fosfatada, estos cultivos tienen alto valor nutritivo y son sembrados por el agricultor peruano, en cuanto al fósforo, éste se encuentra disponible en cantidades relativamente pequeñas en los suelos, por ello es necesario aplicarlo mediante una fertilización externa.

La papa a nivel mundial es el cuarto principal producto alimenticio y en el Perú es considerado uno de los principales cultivos por sus amplias extensiones sembradas, contribuye también con la alimentación de la población peruana especialmente de la sierra del Perú y en la mayoría de los sistemas de rotación es considerada cultivo de cabecera. Asimismo, la quinua ha venido incrementando su hectareaje de siembra debido a la mayor demanda en su consumo, tanto interna como externa, la cual se ve reflejada en las exportaciones que siguen manteniéndose con incremento sostenido. Este cultivo es sembrado ampliamente en la región andina, aunque en los últimos años también está siendo cultivada en la costa. Por otro lado, la fertilización fosfatada se hace indispensable ya que gran parte de nuestros suelos son deficientes en fósforo, nutriente que favorece el crecimiento radicular, entre otros. Año a año se observa un incremento en el consumo mundial del fósforo y como es un recurso no renovable se debe tratar de optimizar su uso en la agricultura.

Por lo expuesto anteriormente, en el presente trabajo de investigación se evaluó el efecto de diferentes fuentes de P (fuentes solubles y poco solubles) en una rotación de cultivos papa y quinua, cultivos cuya rotación es usada en algunas zonas del País. Se pretende confirmar también la posibilidad de que una sola aplicación de fertilizante fosfatado es suficiente para abastecer los requerimientos de fósforo de ambos cultivos, rescatando el principio del efecto residual y así poder hacer un uso eficiente del fósforo.

Con este propósito se plantean los siguientes objetivos:

- Evaluar el efecto de seis fuentes fosfatadas sobre la altura y el rendimiento de biomasa total en una rotación de papa y quinua, respecto al testigo parcial en condiciones de invernadero.
- Evaluar los niveles de extracción de fósforo y nitrógeno en ambos cultivos, bajo condiciones de manejo en invernadero.
- Comprobar que la extracción de fósforo tiene la misma tendencia en la producción de biomasa total.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Papa

2.1.1 Importancia, distribución y descripción

A nivel mundial la papa (*Solanum tuberosum* L.) es el cuarto principal producto alimenticio, después del trigo, el arroz y el maíz. En el Perú, es considerado como uno de los principales cultivos por sus amplias hectáreas instaladas (ver Anexo 1, Tabla 25), las cuales se distribuyen en 19 departamentos del Perú, concentrándose aproximadamente el 96 por ciento de la superficie sembrada de papa en la Sierra del país (MINAGRI, 2013a). Según el IV CENAGRO 2012, la papa representa el 8.8 por ciento de la superficie agrícola bajo cultivos (4 155 678 hectáreas), lo que equivale aproximadamente a 367.7 mil hectáreas (INEI & MINAGRI, 2013).

La papa tiene una importancia social y económica en la alimentación de la población peruana especialmente de la sierra (Aguirre, 2007), garantiza la seguridad alimentaria de todos los peruanos sobre todo del poblador andino y es sin duda una de sus principales fuentes de trabajo e ingresos.

La mayoría de los productores utilizan métodos tradicionales para la producción de papa, en la Sierra se utiliza más el sistema bajo seco, en cambio en la Costa se utiliza un sistema de cultivo más tecnificado, lo que origina una productividad mucho mayor que en la Sierra. Esto se ve reflejado en que las principales regiones de mayor producción son: Puno, Huánuco, Junín, Cuzco, entre otros, mientras que las regiones que tienen mayores rendimientos son: Ica, Arequipa y Lima (MINAGRI, 2013a).

La región andina sobre todo el sur del Perú y la región colindante de Bolivia son el principal centro de domesticación de las diferentes especies de papas (Tapia & Fries, 2007). Dentro de las especies cultivadas de papa encontramos a ocho que han sido clasificadas por su haploidía, en la Figura 1 se muestran las ocho especies cultivadas.

<p>Diploides: <i>S. stenotomum</i> <i>S. goniocalyx</i> <i>S. phureja</i> <i>S. x ajanhuiri</i></p> <p>Triploides: <i>S. x chaucha</i> <i>S. x juzepczukii</i></p> <p>Tetraploides: <i>S. tuberosum</i></p> <p>Pentaploides: <i>S. x curtilobum</i></p>

Figura 1: Especies cultivadas de papa

Fuente: Adaptado de Egúsquiza 2008.

En cuanto a su descripción botánica, es una planta de tipo herbáceo, su tamaño varía de 0.30 a 1.0 m de alto, lo cual depende de las variedades, presenta un crecimiento erecto o semierecto, consta de un sistema aéreo y un sistema subterráneo. Egúsquiza (2000) indica que la planta de papa es un conjunto de tallos especializados para sostener hojas y flores (tallos aéreos), transportar azúcares (estolones) y almacenar almidones (tubérculos), estos últimos constituyen la semilla agronómica de donde se origina una nueva planta. Tiene hojas compuestas, su raíz forma un sistema fibroso, la flor es bisexual, el fruto es una baya generalmente de color verde oscuro que contiene semillas botánicas.

2.1.2 Requerimientos climáticos

La papa es el cultivo que probablemente tenga la mayor versatilidad climática y ecológica, ya que abarca casi todas las latitudes y continentes, además cuenta con adaptaciones altitudinales de hasta los 4 300 msnm (Tapia & Fries, 2007).

En cuanto a temperatura, las inferiores a 10 °C y superiores a 30 °C inhiben decididamente el desarrollo del tubérculo, mientras que la mejor producción ocurre cuando la temperatura promedio diaria se mantiene entre 18 y 20 °C, también se menciona que el tubérculo en latencia, inicia su brotación y emergencia en forma lenta a 5 °C y se maximiza a los 14 y 16 °C (MINAGRI, 2013a).

Dentro de las condiciones para la tuberización, Egúsqüiza (2000) menciona; que la planta debe haber desarrollado una cantidad suficiente de follaje para que se produzcan los excedentes de azúcares que serán traslocados hacia los tubérculos, para ello debe haber un estímulo de temperaturas bajas comprendidas entre 10 °C y 20 °C ya que a estas temperaturas la respiración es todavía baja y para que haya una adecuada producción de tubérculos la fotosíntesis debe ser mayor que la respiración.

2.1.3 Suelos

Las papas pueden crecer en casi todos los tipos de suelos, salvo en aquellos que son muy salinos o alcalinos, se considera ideal un pH de 5.2 a 7.5 en el suelo, en general se requiere de suelos profundos, aireados, de textura media, con niveles de materia orgánica que favorezcan el crecimiento radicular (MINAGRI, 2013a). Por ello independientemente del tipo de suelo lo importante es hacer una adecuada preparación del terreno para asegurar buenas relaciones con el agua, mejorar la aireación y reducir la presencia de malezas (Egúsqüiza, 2000).

2.1.4 Fertilización

Las recomendaciones de abonamiento y fertilización se centran mayormente en el nitrógeno, fósforo y potasio (NPK), en cuanto al momento de aplicación del abono o fertilizante es recomendable que la mayor parte de estos sean aplicados al momento de la siembra, sobre todo el fósforo y el potasio, en cuanto al nitrógeno se recomienda un fraccionamiento, una parte al momento de la siembra y la otra parte antes o durante el aporque.

Se menciona que el uso de abonos orgánicos debe ser indispensable ya que con ellos se mejora la textura del suelo, el contenido de sólidos totales (materia seca) y la palatabilidad (sabor) de los tubérculos. (DIACONIA, 2011).

Tapia & Fries (2007) mencionan que un campo con una producción de 20 a 30 t/ha debe tener una restitución mínima de 160 kg de nitrógeno, 40 kg de fósforo y 80 kg de potasio.

Egúsquiza & Catalán (2011) mencionan que las dosis de fertilización más usadas varían en los rangos de (180 - 200 kg/ha) para nitrógeno, (140 - 200 kg/ha) para fósforo y (120 - 160 kg/ha) para potasio.

Egúsquiza (2000) señala que tras varios experimentos han demostrado que las dosis necesarias de NPK para el cultivo de papa en los diferentes suelos y climas del Perú varían en las siguientes cantidades, ver Tabla 1.

Tabla 1: Dosis de NPK para papa

Nutrientes	Costa	Sierra
N (kg/ha)	120 - 180	120 - 200
P₂O₅ (kg/ha)	60 - 100	80 - 200
K₂O (kg/ha)	0 - 80	40 - 160

2.1.5 Concentración de nutrientes (N y P) en papa

Las concentraciones de nutrientes comúnmente encontrados para plantas de papa en el Plant Analysis Handbook, indican que a nivel foliar las concentraciones de N se encuentran en un rango de 3.0 a 5.0 por ciento y las concentraciones de P se encuentran en un rango de 0.20 a 0.40 por ciento (College of Agricultural & Environmental Sciences University of Georgia, 2017a).

Alvarado et al. (2009) mencionan que:

Se recomienda utilizar el análisis foliar entre los 40 y 60 días después de la germinación, como herramienta de diagnóstico para conocer los niveles adecuados de P en papa. Se considera que los valores adecuados de P foliar se encuentran entre 0.23 – 0.37 por ciento MAG (1991), datos similares a los mencionados por Castro (1985) y Bertsch (1998), quienes determinaron el rango de valores adecuados entre 0.29 – 0.50 por ciento.

2.1.6 Época de siembra

Las épocas de siembra varían según la zona agroecológica. Las siembras tempranas se efectúan entre mayo y junio, con riego inicial de instalación y las siembras grandes, en secano, se realizan entre septiembre y principios de noviembre según las lluvias.

Benites (2008) señala que en Costa existe un total de 23 valles que participan en la producción de papa y que generalmente se realiza una sola campaña de papa, iniciándose las siembras en el mes de abril, pudiendo durar hasta junio (épocas de bajas temperaturas de Costa, entre 16 a 22 °C).

Egúsquiza (2000) simplifica este tema indicando que la altitud sobre el nivel del mar determina la presencia de tres zonas de producción, las que a su vez determinan tres “campañas agrícolas” que se diferencian por la oportunidad de siembra y cosecha (ver Tabla 2).

Tabla 2: Zonas de producción y campañas agrícolas

Meses principales de siembra y cosecha en las zonas de producción			
Campaña agrícola	Zonas de producción	Meses Siembra	Cosecha
C. de costa	Costa	abr. – jul.	jul. – nov.
C. chica	Sierra media	jul. – ago.	dic. – feb.
C. grande	Sierra alta	sept. – nov.	mar. – jun.

Fuente: Adaptado de Egúsquiza 2000.

En cuanto al tipo de variedades de papa que se siembran en la Costa, Benites (2008) indica que se siembra exclusivamente variedades de papa blanca, tales como: Canchán, Perricholi y Única, reportadas como las variedades de papa blanca más consumidas en Lima.

En el país se usan semillas agronómicas de diferentes tamaños, Egúsqiza (2000) indica que el efecto de diferentes tamaños de semilla sobre el rendimiento es positivo, a mayor tamaño de semilla hay un mayor rendimiento y viceversa, pero también menciona que no siempre se cumple esto, pues si las semillas son más pequeñas estas se siembran a menor distanciamiento y el rendimiento final podrá ser mayor que con semillas más grandes.

2.1.7 Variedad: Canchán

En (INIA, 2012) se menciona que:

La variedad Canchán es el resultado del trabajo conjunto realizado por el Centro Internacional de la Papa (CIP) y el Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA [...] proviene del cruzamiento de (BI-1)2 progenitor femenino con Murillo III-80 progenitor masculino que, por sus progenitores, aporta tolerancia a heladas y resistencia de campo a la ranca. Esta variedad se adapta a condiciones de Sierra media (2 000 a 3 500 msnm) y de Costa central.

Fue liberada por el INIA en 1990 y es una de las variedades muy comercializadas en el Perú.

Bustamante (2007) menciona que Egúsqiza y Apaza, refieren que los agricultores prefieren sembrar esta variedad por su buena aceptación en el mercado, por su apariencia comercial y contenido de sólidos y su menor período vegetativo.

La papa Canchán, también llamada rosada por el color de su cáscara tiene mejor textura y sabor que la papa blanca, es una papa excelente para pollerías y se encuentra en el mercado prácticamente todo el año porque se cultiva tanto en la Costa como en la Sierra.

Egúsquiza (2000); Egúsquiza & Catalán (2011); Giráldez (2009); INIA (2012), describen las características más sobresalientes de esta variedad:

- Período vegetativo: aproximadamente 120 días.
- Planta de porte mediano: altura media 90cm.
- Buen vigor de planta.
- Tallo y hojas: color verde claro.
- Flores color lila, con escasa floración y fructificación.
- Tubérculos redondeados con ojos superficiales.
- Buena apariencia comercial (color rojizo en la piel y pulpa blanca amarillenta).
- Buen potencial productivo en Costa y Sierra.
- Período vegetativo de 4.0 a 4.5 meses.
- Resistente a la Mancha (*Phytophthora infestans*), medianamente susceptible a Rizoctonias (*Rhizoctonia solani*) y a pierna negra (*Erwinia* sp.), aunque puede ser susceptible a la Mancha debido a la aparición de nuevas razas del patógeno.

2.2 Quinua

2.2.1 Distribución, origen y descripción

La distribución de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), por siglos, ha sido desde el sur de Colombia hasta el norte de Argentina e incluso se extiende al sur de Chile, desde el nivel del mar hasta los 4 000 msnm, se menciona que existen diferentes posibles centros de origen y de domesticación y es gracias a esto que existe una alta diversidad de quinuas. Muchos autores coinciden en que hasta la fecha se considera que el principal centro de origen es la región del altiplano alrededor del Lago Titicaca del Perú y Bolivia, sobre los 3 800 msnm (Tapia *et al.*, 2014).

La quinua se usa en la alimentación desde aproximadamente 3 000 años, además tolera condiciones marginales y posee un alto contenido de aminoácidos esenciales en especial la lisina y la metionina (Tapia & Fries, 2007), es cultivada ampliamente en la región andina,

aunque en los últimos años también está siendo cultivada en la Costa, se están incrementando sus hectáreas de siembra (ver Anexo 1. Tabla 26) debido tal vez a la mayor demanda en su consumo, tanto interna como externa, la cual se refleja en las exportaciones que siguen manteniéndose fuertes (ver Anexo 2). Los mayores rendimientos se observan en Costa, principalmente en Arequipa y esto se debe, entre otros; a que el riego es tecnificado, el fertilizante es aplicado en forma localizada y no hay inclemencias meteorológicas (Redagráfica, 2014). Ver Anexo 1. Tabla 27.

En referencia a las exportaciones, según el ranking de productos enero – diciembre (2014/2013) la quinua ocupó el sexto lugar (ver Anexo 2, Tabla 28), logrando exportar un total de USD 196.6 millones de dólares con más de 36 mil toneladas sobrepasando así en 147 por ciento a las exportaciones de quinua en el 2013, los principales destinos son Estados Unidos, seguido de lejos por Canadá, Países Bajos, Australia, Reino Unido y Alemania respectivamente (ADEX, 2015).

Referente a la descripción botánica de la quinua, es una planta rústica, herbácea, de crecimiento erecto, que llega a alcanzar diferentes alturas que varían de 0.2 a 3.0 m, dependiendo de la variedad, cultivar, factores climáticos y edáficos. Las plantas pueden presentar diversos colores que van desde verde, morado a rojo y colores intermedios a estos, su tallo principal puede ser ramificado o no, las hojas son de carácter polimórfico siendo grandes romboidales en la base y lanceoladas o triangulares en la parte superior generalmente alrededor de la panoja, además presentan en su superficie unos gránulos que contienen células ricas en oxalato de calcio capaces de retener una película de agua disminuyendo así la transpiración (FAO, 2011). Presenta raíz pivotante, su inflorescencia es racimosa y se denomina panoja, sus flores se ubican en grupos formando glomérulos, son pequeñas y pueden ser hermafroditas, pistiladas o macho estériles, finalmente el fruto es un aquenio que encierra una sola semilla (Tapia et al., 2014).

2.2.2 Requerimientos Climáticos

La quinua tiene una extraordinaria adaptabilidad a diferentes pisos agroecológicos, se adapta a diferentes climas desde caluroso y seco como el de la costa, hasta climas templados como el de los valles interandinos y fríos como los del altiplano (FAO, 2011) .

Las humedades relativas con las que se desarrolla el cultivo varían desde 40 % hasta 88 % de humedad, y la temperatura adecuada para el cultivo es de 15 a 20 °C, pero puede soportar temperaturas desde -4 °C hasta 38 °C, aunque Tapia et al. (2014) mencionan que la mejor producción se obtiene con una temperatura media de 5 a 14 °C. Es una planta eficiente al uso de agua, es tolerante y resistente a la falta de humedad del suelo, obteniéndose producciones aceptables con precipitaciones de 100 a 200 mm (FAO, 2011).

2.2.3 Suelos

Tolera suelos de diferente textura, aunque prefiere suelos francos con buen contenido de materia orgánica y que no se inunden puesto que el exceso de humedad afecta el desarrollo de la planta (Tapia & Fries, 2007). Los suelos muy pesados (alto contenido de arcilla) no son adecuados por la falta de aireación que puede producir la alta humedad.

Se menciona que los suelos arenosos son también apropiados, siempre que exista una fuente permanente de dotación de agua, sobre todo en los primeros estadios del cultivo.

Mujica (1995), citado por Tapia & Fries (2007) señala que el pH debe ser neutro o ligeramente alcalino, aunque hay variedades de los salares en Bolivia que pueden soportar hasta un pH de 8, también indicó que se ha encontrado quinua de suelos ácidos (pH 4.5) en Cajamarca. En (MINAGRI, 2014b) se indica que los granos andinos son cultivos que se adaptan muy bien a un amplio rango de pH que varía de 5.5 a 8.5.

2.2.4 Fertilización

Tapia & Fries (2007) señalan que en la práctica los campesinos no fertilizan la quinua ya que aprovechan los nutrientes aplicados al cultivo anterior, generalmente la papa, sin embargo, en esos casos se recomienda aplicar por lo menos 5 t/ha de estiércol de corral.

Anahui (2014) menciona que los suelos de la zona andina tienen un nivel de fertilidad medio que es muy favorable para la quinua, se necesita hacer una fertilización complementaria pudiendo usar la fórmula 80 – 40 – 00 de nitrógeno y fósforo respectivamente. En cambio, en suelos de costa de escasa estructura la cantidad de materia orgánica es muy bajo, de

manera que es necesario usar fórmulas de fertilización más elevadas; se sugiere el uso de 200 – 100 – 120 – 20 – 20 unidades de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio respectivamente.

2.2.5 Concentración de nutrientes (N y P) en quinua

El contenido de nutrientes de las plantas en el Plant Analysis Handbook, indican que a nivel foliar el nivel crítico de N en muchas plantas esta alrededor de 3.0 por ciento y para las concentraciones de P, se indica que para algunos cultivos de hortalizas los valores críticos se presentan de 0.25 a 0.30 por ciento (College of Agricultural & Environmental Sciences University of Georgia, 2017b).

Según datos encontrados en Nishikawa (2012), el contenido de P en las raíces de quinua a los 67 dds fue de 0.26 por ciento y el contenido de P en la parte aérea (hojas, tallos y panoja), en promedio fue de 0.39 por ciento. Estos datos se obtuvieron con experimentos en campo, en la provincia de Huamanga.

2.2.6 Siembra y época de siembra

La quinua se siembra generalmente al voleo, pero dependiendo de la localidad y variedad también se siembra en golpes y en hoyos o en surcos. La época depende de la presencia de lluvias, pero como estas son variables, se puede sembrar a partir de septiembre hasta principios de noviembre; esta última fecha es adecuada para las variedades precoces (Tapia & Fries, 2007).

2.2.7 Variedad: Pasankalla

En (INIA, 2006) se menciona que:

La variedad INIA 415-Pasankalla tiene origen en la accesión Pasankalla, conocida en la región con los nombres “Kcoitu pasankalla”, aku jiura, pasankalla, kañiwa quinua y kañiwa jiura, colectada el año 1978 en la

localidad Caritamaya (Ácora, Puno). El proceso de selección de la variedad se inició el año 2000 hasta el 2005, en el ámbito de la Estación Experimental Agraria Illpa – Puno.

El lugar y año de liberación fue en la Región Puno en el 2006.

Apaza *et al.* (2013) mencionan que la variedad INIA 415-Pasankalla, presenta adaptación a zonas agroecológicas del Altiplano, Valles interandinos y Costa. Sus principales usos son para consumo tradicional en sopas, ensaladas (hojas), guisos, postres, panecillos (K'ispiño) y bebidas y en la agroindustria presenta un adecuado comportamiento en el proceso de expandido, tostado y extrusión.

En base a Apaza *et al.* (2013), INIA (2006), se citan características propias de esta variedad:

- Período vegetativo en promedio: 150 días, para condiciones de costa son 105 días.
- Altura de planta: entre 110 - 140 cm.
- Color de la panoja: púrpura.
- Tamaño de grano: medio.
- Días a la primera floración: 70
- Tolerante a mildiu.
- Contenido de saponina: bajo.
- Rotación: preferentemente después de papa.
- Siembra: recomiendan su siembra durante el mes de octubre hasta el 10 de noviembre.

2.3 Fósforo

2.3.1 Importancia

El fósforo ha sido llamado “la llave de la vida” porque está directamente implicado en la mayoría de los procesos vitales, al fósforo sólo le precede como fertilizante el nitrógeno y la mayor parte de los abonos contienen ambos elementos o uno de los dos (Thompson, 1988).

López (s.f.), menciona que en suelos altamente meteorizados de las zonas tropicales húmedas el fósforo es el principal elemento limitante, ya que las formas más disponibles de éste se transforman en complejos altamente insolubles. También señala que:

El aumento de áreas sometidas a agricultura tecnificada hace que el consumo mundial de fosfato se incremente anualmente, de manera tal, que no es exageración señalar que uno de los retos que tendrán las generaciones futuras y en particular, el mundo en desarrollo de las zonas tropicales altamente pobladas, será la carencia general de fuentes de fertilizantes y dentro de estas, las de fosfatos quizás sean las más críticas.

En el mismo sentido, Aguirre (1999) indica que uno de los factores limitantes de la producción agrícola en el Perú lo constituye la escasa fertilidad de los suelos, teniendo al fósforo como el elemento más deficiente en la Sierra.

2.3.2 El Rol del fósforo en la planta

Tiene un rol vital, se menciona que una semilla debe contener el suficiente fósforo y demás compuestos vitales para abastecer la plántula hasta que hayan formado raíces capaces de aprovisionarse del suelo (Salgado & Núñez, 2010; Thompson, 1988). Las semillas tienen como fuente de reserva de fósforo insoluble a los fitatos, al momento de la germinación y por la activación de las fitasas intrínsecas de la semilla, este fósforo se hace disponible, representando entre el 50 y 80 por ciento del fósforo total durante la germinación (López-Gonzales *et al.*, 2009).

El desarrollo radicular se ve beneficiado por una buena alimentación de fósforo al inicio del ciclo vegetativo, de esta manera se activa el desarrollo inicial y se tiende a acortar el ciclo vegetativo, favoreciendo la maduración por ello se le considera como un factor de precocidad. Además, se indica que la riqueza media, en P_2O_5 , en la materia seca de los vegetales es del 0.5 al 1.0 por ciento (Gros & Domínguez, 1992).

El fósforo interviene activamente en la mayor parte de las reacciones bioquímicas complejas de la planta que son la base de la vida: respiración, síntesis y descomposición de glúcidos,

síntesis de proteínas, de grasas, intervienen en la división celular, en la actividad de las diastasas, etc., es componente esencial del material genético del núcleo celular.

Tiene un papel fundamental en la acumulación de energía (con los compuestos ATP y NADP), y en las transferencias de energía ya que los iones fosfatos son capaces de recibir energía luminosa y trasportarla a través de la planta (Gros & Domínguez, 1992).

El fósforo también juega un importante papel en el proceso de fijación biológica del nitrógeno (Jaramillo, 2010), ya que es un ingrediente esencial para que la bacteria *Rizhobium* convierta el nitrógeno atmosférico (N_2) a amonio (NH_4^+), así mismo incrementa el crecimiento de las raíces, incrementa el número y tamaño de los nódulos, y reduce el tiempo en que estos se vuelven activos (IPNI, s.f.b.).

Referente al cultivo de la papa, Aguirre (2007) menciona que el fósforo es un elemento esencial durante el período inicial de desarrollo de la planta, lo mismo que durante la tuberización. La mayor cantidad de fósforo se trasloca de la planta hacia los tubérculos, por lo que la planta tiene que extraer considerable cantidad de fósforo del suelo.

2.3.3 Formas de fósforo en el suelo

Fuentes (2002), en el suelo hay suficiente cantidad de fósforo para satisfacer las necesidades de los cultivos durante muchos años, sin necesidad de hacer aportaciones, pero el único fósforo que puede ser asimilado por las plantas es el fósforo soluble contenido en la solución del suelo, y este representa una parte muy pequeña del total.

El fósforo se presenta en el suelo casi exclusivamente como ortofosfato y **todos los compuestos son derivados del ácido fosfórico H_3PO_4** (Fassbender, 1975), se presenta tanto en forma orgánica como inorgánica. En la materia orgánica el fósforo se halla unido a la estructura de los compuestos y es inaccesible a las plantas hasta que el material orgánico se descomponga. El fósforo inorgánico proviene, sobre todo, del mineral apatito disperso en la mayoría de las rocas ígneas, en unas pocas áreas del mundo este apatito se presenta en forma de roca (*fosfato natural* o *fosforita*) las cuales son explotadas y se utilizan como materia prima para la fabricación de compuestos de fósforo (Thompson, 1988).

El fósforo se encuentra en cantidades muy pequeñas en forma de ácido fosfórico en la solución del suelo, tras su disociación predominan iones monovalentes H_2PO_4^- (fosfato monobásico) se ve favorecido en un medio más ácido, entre pH 2 y 7, y los iones bivalentes HPO_4^{2-} que se ven favorecidos por encima de pH 7 (entre pH 7 y 12) (Fassbender, 1975; Tisdale & Nelson, 1991), los cuales son disponibles para las plantas y una vez absorbidos el fósforo circula y se traslada en el vegetal como fosfato monobásico, siendo interiormente un elemento muy móvil (Salgado & Núñez, 2010). La absorción del fósforo es muy activa durante el período máximo de crecimiento y se reduce a partir de la floración (Gros & Domínguez, 1992), se acumula principalmente en los tejidos activos (síntesis y respiración), los meristemos (puntos de división celular) y semillas y frutos (Salgado & Núñez, 2010).

(Gros & Domínguez, 1992) mencionan que la riqueza del suelo en P_2O_5 total, comprende el conjunto de las formas en que este se encuentra en el suelo, se mencionan cinco formas principales de P_2O_5 en el suelo:

- **P_2O_5 insoluble de la roca madre o retrogrado;** representa la gran mayoría del P_2O_5 total del suelo, es la reserva general a partir de la cual una pequeña parte pasa a la solución del suelo al final del proceso. Los minerales fosfatados insolubles en el suelo son principalmente fosfatos tricálcicos, fosfatos magnésicos y fosfatos de hierro y de aluminio.
- **P_2O_5 precipitado o formando compuestos poco solubles;** bajo ciertas condiciones el fósforo forma compuestos insolubles; en suelos ácidos altamente meteorizados predominan las formas inorgánicas asociadas al Fe y Al, es así que en estos suelos es muy posible la precipitación de los fosfatos de hierro y aluminio, mientras que en suelos ligeramente ácidos o calcáreos, predominan las formas del P asociadas al Ca, dándose la precipitación de fosfato de cal (Fuentes, 2002; Gros & Domínguez, 1992; López, s.f.).

Aun así, no son formas insolubles indefinidamente, diversos factores (como las variaciones del pH, la acción de la materia orgánica) pueden hacer que los fosfatos intervengan en la alimentación fosfatada de las plantas.

- **P₂O₅ orgánico**; representa una reserva que se moviliza fácilmente por mineralización del humus, que libera P₂O₅ en forma mineral. Hay una inmovilización provisional por acción de microorganismos que corresponde a una protección contra la fijación por parte del suelo. Por ejemplo, se produce la formación de humofosfatos que protegen a los iones PO₄ de la fijación más o menos irreversible por el suelo.
- **P₂O₅ fijado en las arcillas y los óxidos de hierro y aluminio**; los iones fosfatos pueden fijarse al complejo arcillo húmico, sobre todo en las arcillas, por medio del calcio, de esta manera el suelo deja en reserva una parte del P₂O₅ de los abonos y lo devuelve después a la solución del suelo. La cantidad de P₂O₅ adsorbido depende de la cantidad de iones Ca presentes en la arcilla.

En suelos ácidos hay hidróxidos de hierro y aluminio, que se comportan como coloides electropositivos y pueden fijar iones PO₄, que también pasarán a la solución del suelo, pero más lentamente que los que se fijan sobre la arcilla. El P₂O₅ adsorbido constituye la mayor parte del P₂O₅ asimilable o cambiante.

- **P₂O₅ en la solución suelo**; esta es la fracción menor y la más importante del P₂O₅ para la planta, ya que estos iones son los que absorbe la planta principalmente. Existe un estado de equilibrio permanente y rápido entre los iones disueltos en la solución suelo y los iones adsorbidos, **en su conjunto estos representan la reserva alimenticia que corresponde al P₂O₅ asimilable o cambiante**. Cuando se incorpora un abono fosfórico se incrementa la concentración de la solución; entonces para que la concentración de iones se mantenga constante es preciso que el exceso de estos, en la solución, sea adsorbido por el complejo de cambio (Fuentes, 2002).

2.3.4 El Ciclo del fósforo

Los procesos que sufren los fosfatos en el **sistema fertilizante-suelo-planta** son dinámicos, es así que la aparición de los iones fosfatos en la solución del suelo, de donde la planta se nutre, se debe a: la disolución de los fertilizantes aplicados (V₁), disolución de fosfatos nativos inorgánicos (V₂) y a la mineralización de fosfatos orgánicos (V₃), en este último aspecto intervienen microorganismos que pululan la rizósfera y producen la liberación de

ácido fosfórico que se disocia en iones fosfatos y son directamente aprovechables por la planta.

Dentro de este sistema también se cuentan las incorporaciones de restos vegetales (V₈) después de la cosecha, donde los fosfatos orgánicos presentes son mineralizados. Para explicar la Figura 2, donde se muestra el ciclo del P, cabe mencionar que parte de los iones fosfatos absorbidos por la planta son excretados por la misma (V₇).

Al disolverse los fertilizantes en el suelo, presentan una serie de interacciones una de las cuales es la retención o fijación del P por los componentes del suelo, dos mecanismos de reacción se han propuesto para explicar esta retención:

a) uno es la precipitación (V₅) de ortofosfatos en formas complejas y esto se da cuando la solución suelo esta super saturada con diferentes compuestos de P, los cuales empiezan a precipitar como nuevas fases y los compuestos que se formen dependerán del tipo de cationes y aniones que predominen en la solución, estos productos representan luego fuentes secundarias de P para las plantas.

b) y otro es la adsorción (V₄), la cual se da en superficies adsorbentes como óxidos hidratados de Fe y Al, aluminosilicatos que contienen moléculas de agua e iones hidróxidos los cuales son capaces de intercambiarse con los iones ortofosfatos, todo ello depende del pH, se debe tener presente que la adsorción ocurre junto con la precipitación de fosfatos y no se pueden diferenciar.

Con estos dos mecanismos de retención los ortofosfatos se mantienen temporalmente insolubles, pero en forma intercambiable a la espera de formar parte de la solución suelo y poder ser absorbidos por las plantas (Fassbender, 1975).

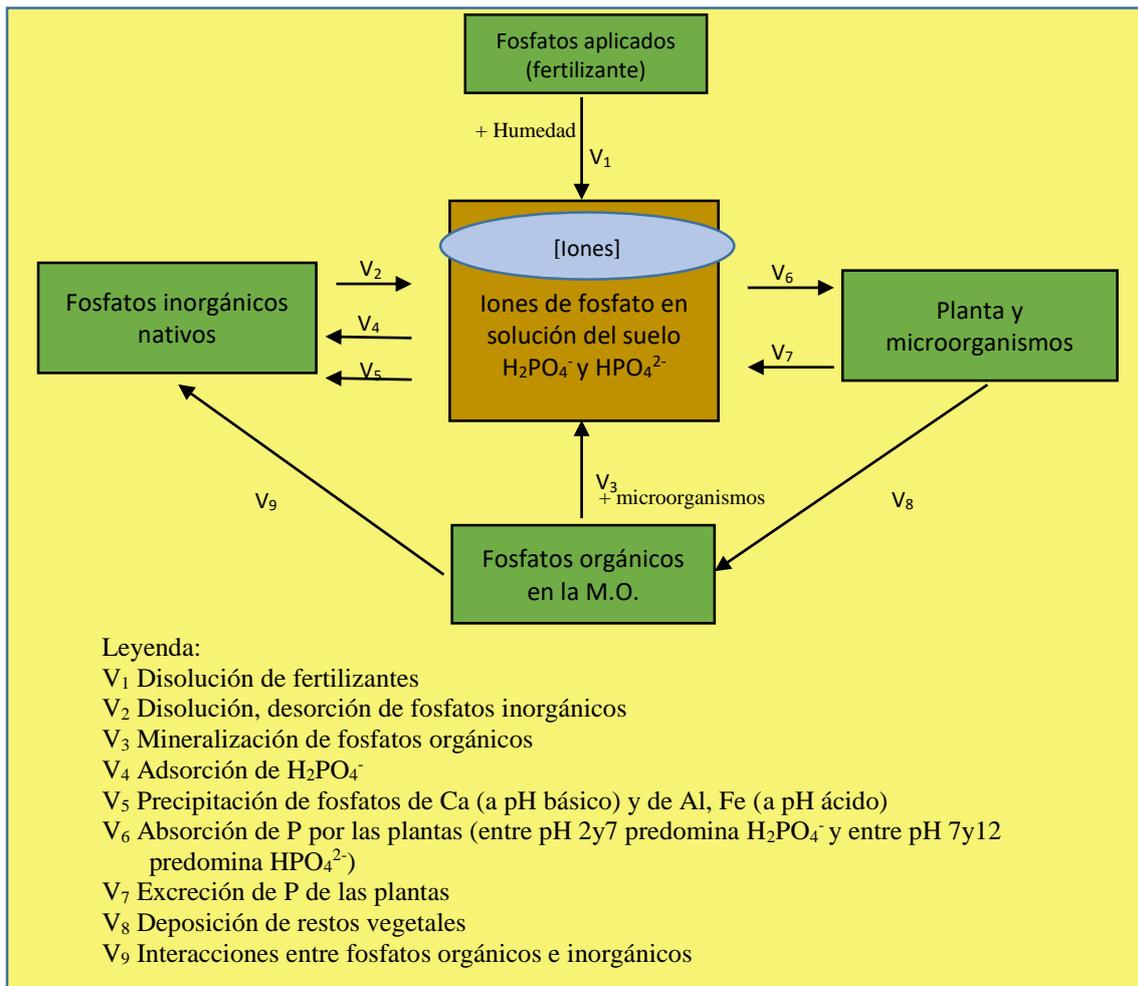


Figura 2: Ciclo del fósforo en los suelos

Fuente: Adaptado de Fassbender 1975: 284-285.

La riqueza de la solución del suelo en ácido fosfórico es siempre muy pequeña y representa 0.2 a 0.5 kg de P_2O_5 por hectárea, cuando la planta absorbe iones fosfatos, $H_2PO_4^-$ y HPO_4^{2-} (V_6), la concentración de iones fosfatos de la solución suelo tiende a permanecer constante, en otras palabras a medida que la planta baja su concentración, absorbiendo estos iones, los coloides del suelo ceden a la solución una parte de los iones fijados en su superficie, para reestablecer de esta manera el equilibrio roto (Gros & Domínguez, 1992).

Las plantas pueden absorber pequeñas cantidades de P_2O_5 por intercepción radicular, pero la mayor parte del P_2O_5 , lo toman de la solución en forma de iones fosfatos por difusión gracias a la corriente que crea la transpiración de la planta que hace posible que estos iones se desplacen desde las raíces hasta las hojas (Gros & Domínguez, 1992).

2.3.5 Deficiencias de fósforo

Su deficiencia produce grandes trastornos fisiológicos en la planta, por ejemplo:

- Se menciona que la alimentación insuficiente en fósforo se manifestará en el análisis de la planta por un contenido menor de fósforo en los órganos verdes. La deficiencia de este elemento origina crecimiento y desarrollo lento de las plantas, las hojas más viejas son las que presentan mayores síntomas de deficiencia (por tanto, se observa senescencia en las partes bajas de la planta), hay amarillamiento y secado de la punta de las hojas, se presenta un follaje de color verde oscuro casi azulado, pobre floración y fructificación y retraso en la madurez (Fuentes, 2002; Gros & Domínguez, 1992; Jaramillo, 2010; Salgado & Núñez, 2010).
- No se sintetizan proteínas ya que no hay energía para sintetizar las uniones peptídicas, de esta manera puede haber mucho nitrógeno asimilable presente, pero sin ser utilizado eficientemente por la planta.
- No se establece un equilibrio entre los azúcares y almidones, acumulándose los primeros y produciendo así la formación de antocianina que da las tonalidades púrpuras en las hojas.
- Cuando hay deficiencia de fósforo en papa las plantas tienen apariencia atrofiada y un color verde más oscuro que las plantas en el mismo suelo sin deficiencia de P. A medida que la severidad de la deficiencia aumenta, las hojas principalmente viejas se enrollan hacia arriba exponiendo su superficie inferior y pueden desarrollar puntos necróticos en los márgenes (IPNI, s.f.a.).
- Cuando hay deficiencia de fósforo en la quinua las plantas muestran un crecimiento retardado con hojas de color azulado, morados, también este color se puede observar en los tallos, las raíces tienen un desarrollo pobre y el llenado de granos es también deficiente (Calla, 2012).

2.4 Importaciones de fertilizantes fosfatados

La fertilización fosfatada adquiere especial importancia primero porque muchos de los suelos son pobres en fósforo y segundo porque una buena cantidad de fertilizantes fosfatados consumidos en el país son importados. Como muestra de ello tenemos que entre el 2008 y 2012 se importó 672 976 toneladas de fosfato de amonio y 11 914 toneladas de superfosfatos, se observa que en cinco años se importaron más de medio millón de toneladas en estos dos fertilizantes, sin incluir los otros fertilizantes fosfatados (MINAGRI & OEEE, 2013). Ver Anexo 3.

De acuerdo con estudios realizados por la FAO, Félix (2013) menciona que: “La demanda mundial de fertilizante de fosfato aumentó de 40.6 millones de toneladas en 2011 a 41.5 millones de toneladas en 2012 [...] se espera que alcance las 45.0 millones de toneladas en 2016”. También indica que del aumento total de la demanda de P_2O_5 entre 2012 y 2016, el 24 por ciento será de América.

2.5 Rotación de cultivos

Al respecto Taboada (2011), señala que la rotación de cultivos es la sucesión recurrente o renovación regular de los cultivos en un mismo terreno, consiste en instalar secuencialmente, en una misma parcela, cada uno de los cultivos en las diferentes campañas agrícolas. Es una práctica muy antigua que controla la erosión y mantiene la productividad de los terrenos, se adopta sobre todo para mejorar la estabilidad estructural, para darle resistencia a los agregados con respecto a la erosión hídrica, para mejorar la capacidad de infiltración del suelo, así como también mejorar las propiedades químicas y biológicas del mismo.

Dentro de los criterios técnicos a utilizar se tiene, por ejemplo:

Alternar cultivos que ofrecen distintos grados de protección contra la erosión, con otros que sí brindan buena protección.

Alternar cultivos de raíces superficiales con cultivos de raíces profundas.

Alternar cultivos que ofrecen distinta resistencia a enfermedades y plagas.

Alternar cultivos exigentes en nutrientes con aquellos que incrementan la fertilidad química (Taboada, 2011).

En Puno, por lo general, el ciclo anual de rotación se inicia con el cultivo de papa “cabecera de la rotación”, principal cultivo de rotación, seguido por quinua, cañihua, cebada o avena forrajera, habas o tarwi, y luego ingresan a un período de descanso de tres a ocho años en función a la ubicación (Tapia, 1990, 2007; citado por Soto *et al.*, 2012).

Tapia *et al.* (2014) mencionan que el cultivo de la quinua en el altiplano de Puno se efectúa mayormente en rotación con la papa y utiliza la fertilización que se ha aplicado a dicho tubérculo, también se aprovecha lo desmesurado del terreno. Por su parte Aguirre (2007) señala que el agricultor acostumbra a ser generoso en sus niveles de abonamiento de la papa y reduce las dosis, especialmente de fósforo y potasio, para los cultivos subsiguientes.

En la región central y sur de los Andes en el Perú y en el altiplano boliviano, se practica la rotación sectorial de los cultivos con la participación colectiva, en terrenos comunales, donde se respetan períodos de descansos variables entre tres a siete años. Estos terrenos son denominados aynoqa (en aymara) y layme, «suertes» o muyuy (en quechua). (Tapia & Fries, 2007)

El Sr. Cesar Inga (comunicación personal), como agricultor, comenta que ese tipo de rotación de cultivos (papa - quinua) generalmente se realiza en Sierra, por ejemplo, en Puno es muy usada esta rotación ya que ahí no se desarrolla muy bien el maíz, por el tema de altitud. En cuanto a los meses de siembra para condiciones de Jauja, las papas se siembran de julio a septiembre y se cosechan en enero, mayo o hasta junio del siguiente año, en ocasiones se puede dejar descansando el terreno de dos o tres meses antes de sembrar el siguiente cultivo, comúnmente las quinuas tardías o semitardías se siembran a finales de noviembre hasta fines de diciembre y las precoces hasta quincena de enero. Las variedades de papa a sembrar dependen del mercado, pero generalmente son Yungay y Canchán.

Manifiesta también que no es tan viable sembrar quinua orgánica ya que los terrenos disponibles muchas veces han sido sembrados con papa y las plagas fueron controladas con pesticidas etiqueta roja por ende los suelos están contaminados, finalmente indica que los fertilizantes más usados son la urea y el fosfato diamónico, algunas dosis usadas en papa sería 300 – 300 – 180 kg/ha y 200 – 200 – 100 kg/ha y para la quinua en ocasiones se aplica 80 – 60 – 00 kg/ha, ello depende del análisis de suelo, el potasio y los micronutrientes lo aplican generalmente vía foliar.

En la Tabla 3 observamos que la práctica papa-quinua, como rotación, es muy usada en Puno. Esto se corrobora con la información proporcionada por Soto *et al.* (2012), en donde se menciona que los dos patrones de rotación más usados en zonas del altiplano son: a) primer año papas, segundo año quinua, tercer año cebada, cuarto a sexto año descanso; b) primer año papas, segundo año cebada, tercer año habas, cuarto año descanso de la tierra para empezar de nuevo con papas. Cerca de la mitad de los campesinos hacen descansar la tierra después de cultivarla por tres o cuatro años consecutivos (Carter y Mamani, 1982; Tapia, 1990; Ccama, 1991 citado por Soto *et al.*, 2012).

La rotación que se sugiere en el altiplano es papa-quinua-habas (tarwi) cebada (avena)-forrajes (pastos cultivados). En condiciones de costa utilizar la rotación: papa – quinua - maíz (trigo) - hortalizas-alfalfa.

Con ello se comprueba el uso tradicional de este tipo de rotación en nuestro país.

Tabla 3: Los sistemas de rotación de cultivos, en layme o aynoqa en Puno

Zona agroecológica	Estado del suelo	Fertilidad	Años de rotación				
			1	2	3	4	5
Circunlacustre , Terraza baja o pampa	Rompe	Media	Papa	Quinoa	Cereal	Habas	Barbecho
		Alta	Papa	Quinoa	Trigo	Habas	Barbecho
Terraza media y alta	Rotación sectorial	Media	Papa	Quinoa	Cebada	Avena	Barbecho
	Rompe	Media	Papa	Quinoa	Cebada	Oca+TA	Haba
		Alta	Papa	Quinoa	Trigo	Oca+TA	Haba
	Rotación sectorial	Media	Papa	Quinoa	Cebada	Oca+TA	Haba
Suni altiplano A	Rompe	Alta	Papa	Qañihua	Ceb/Avena	Oca+TA	Pasto
	Rotación sectorial	Media	Papa	Qañihua	Cebada	Barbecho	Barbecho
Suni altiplano B (sobre todo laderas)	Rotación	Media	Papa	Cebada	Qañihua	Barbecho	Barbecho
			Papa amarga	Pastos cultivados	-----		
Puna	Rotación	Media/Alta	Papa amarga		Descanso	Pastos nativos	

TA=Tubérculos andinos

Canahua, 2002.

Fuente: Tomado de Tapia y Fries, 2007:19.

2.6 Fuentes fosfatadas usadas

2.6.1 Superfosfato triple de calcio ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$)

Su ley es de 42 – 50 por ciento P_2O_5 total, el que se comercializa en el Perú contiene 46 por ciento de P_2O_5 soluble en agua y 17 por ciento expresado como CaO , su presentación es generalmente granular (Villagarcía & Aguirre, 2014). Tiene el mayor contenido de P de los fertilizantes sólidos que no contienen nitrógeno y es usado en las mezclas físicas de fertilizantes (IPNI, s.f.e.).

Técnicamente se conoce como fosfato monocálcico, se obtiene tratando la roca fosfórica (fosfatos naturales) con ácido fosfórico. En el suelo la molécula de fosfato monocálcico se desdobra en fosfato dicálcico y ácido fosfórico, por lo que el pH alrededor del granulo puede bajar hasta 1.8 (Salgado & Núñez, 2010).

Fuentes (2002) indica que no conviene mezclar los superfosfatos con abonos que lleven cal activa, los mejores resultados de los superfosfatos se obtienen en suelos neutros o ligeramente ácidos. Los superfosfatos son los abonos por excelencia de las tierras neutras y calizas y junto con el fosfato amónico son los que la planta utiliza más rápidamente.

2.6.2 Fosfato diamónico ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$)

Es el fertilizante fosfatado más utilizado en el mundo, sus nutrientes principales son nitrógeno y fósforo presentando un grado estándar de 18 – 46 – 0, tiene presentación granular, el pH que se desarrolla alrededor de los gránulos en disolución es alcalino de 7.5 a 8, condición que cambia con el tiempo debido a que el amonio presente en este fertilizante es convertido gradualmente en nitrato por las bacterias del suelo, resultando en una posterior disminución del pH (IPNI, s.f.c.).

Cuando se aplica en banda al momento de la siembra, puede causar daños en la germinación ya que se genera una rápida liberación de amoníaco que puede ser tóxico para semillas en germinación, por lo tanto, no debe colocarse cerca de la semilla (Salgado & Núñez, 2010), este daño es más común cuando el pH del suelo es superior a 7, condición común en los

gránulos en disolución, se aplica directamente al suelo y es recomendado para todo tipo de cultivo (IPNI, s.f.c.).

2.6.3 Fosfato monoamónico (NH₄H₂PO₄)

Posee nutrientes principales como nitrógeno (N):11 por ciento y fósforo (P₂O₅): 52 por ciento, su uso recomendado es para todo tipo de cultivos, en los últimos años su utilización ha crecido rápidamente. Tiene un índice de acidez de 55.

Se obtiene mediante la amonificación del ácido fosfórico, se hace reaccionar una relación de uno a uno de amoníaco (NH₃) y ácido fosfórico (H₃PO₄), generalmente tiene una presentación granular y posee el más alto contenido de P entre los fertilizantes sólidos más comunes. El pH de la solución alrededor del gránulo es muy fuertemente ácida, cerca de 4.0, haciéndolo un fertilizante deseable en suelos con pH neutros y alcalinos. (IPNI, s.f.d.; Salgado & Núñez, 2010).

Fuentes (2002) indica que los fertilizantes que aportan nitrógeno y fósforo, como es el caso de los fosfatos amónicos (FMA y FDA), son una fuente excelente de fósforo, pues está demostrado que la presencia del ion amonio favorece la absorción del fósforo por la planta, además los fosfatos amónicos son compuestos totalmente solubles en agua y tienen un efecto residual ácido sobre los suelos, son adecuados para suelos alcalinos o neutros; en cambio, no deben utilizarse en suelos ácidos, salvo que vayan acompañados de materiales que aportan cal.

En referencia al ion amonio (NH₄⁺), al estar en altas concentraciones en la solución suelo reduce las reacciones de fijación de P incrementando su disponibilidad, otra ventaja de tener N en forma de ion amonio es que al convertirse en nitrato (NO₃⁻) en las raíces (nitrificación) se liberan H⁺, los cuales acidifican el medio y favorecen la liberación de iones fosfato que podrán ser absorbidos por las plantas (PPI, 1997).

2.6.4 MicroEssentials SZ®

Es una mezcla química de fosfato monoamónico con azufre y zinc, el azufre disponible está en forma de sulfato y azufre elemental, que brinda en la zona de aplicación una reducción de alcalinidad, sus nutrientes principales son nitrógeno (N: 12 por ciento), fósforo (P_2O_5 : 40 por ciento), azufre total 10 por ciento, sulfato ($SO_4^{=}$: 5 por ciento), azufre elemental (S: 5 por ciento), zinc (Zn: 1 por ciento).

Jaramillo (2010) señala que en ensayos de Ecuador y Colombia se han obtenido incrementos en el rendimiento de arroz, maíz y banano, esto se atribuye al probable efecto sinérgico del P y Zn en la formación de raíz.

2.6.5 Agriphos®

Abono granulado que contiene en su composición 21 por ciento de P_2O_5 .

2.6.6 Roca fosfórica

La roca mineral constituye la principal fuente del fósforo que se utiliza en la industria y en la agricultura (Villagarcía & Aguirre, 2014). Así mismo Fuentes (2002), señala que la materia prima que se utiliza para la fabricación de fertilizantes fosforados es el fosfato natural, mineral de muy baja solubilidad. Esta roca es extraída de los yacimientos, es triturada, luego es concentrada por flotación y se obtiene la roca fosfatada concentrada de 60 mesh de tamiz y cuando ésta es finamente molida y pasa tamices de hasta 300 mesh se denomina roca fosfatada molida (Villagarcía & Aguirre, 2014).

Es fuente de P de prolongado efecto residual, la solubilidad del P de éstas aumenta en forma exponencial al disminuir el pH del suelo, estas características indican que en suelos ácidos se puede esperar un buen efecto de las rocas fosfatadas finamente molidas y aplicadas como fertilizantes, su eficacia también aumenta si los suelos son ricos en materia orgánica. En la actualidad es la principal materia prima en la síntesis de los fertilizantes fosfatados (Salgado & Núñez, 2010).

Los fosfatos naturales que más se acomodan al empleo directo son los fosfatos naturales blandos y molidos, son interesantes especialmente como abono de fondo en suelos con pH menores a 6 (Villagarcía & Aguirre, 2014).

Perú cuenta con yacimientos de roca fosfórica blanda en Bayóvar-Sechura, estos fosfatos fueron concesionados a inversionistas brasileños, debido a esto; el fosfato natural que actualmente se utiliza en el Perú es el fosfato natural no procesado o no concentrado cuya riqueza fluctúa de 18 a 20 por ciento de P_2O_5 (Villagarcía & Aguirre, 2014). En el mercado se encuentran empresas que comercializan roca fosfórica de aplicación directa con valores de por ciento P_2O_5 que varían entre 18 y 24 por ciento; sin embargo, en este trabajo de investigación se utilizó una roca fosfórica concentrada de 30 por ciento P_2O_5 proveniente de Bayovar – Sechura.

2.7 Experiencias de fertilización en papa y quinua

Narrea (1998) evaluó el efecto de seis fuentes fosfatadas (Superfos-24, Super triple, fosfato diamónico, roca fosfórica molida, roca fosfatada sin moler y Bayomix), en Huandoval a 3 800 msnm con un pH de 5.2 y la fuente que permitió obtener los mejores rendimientos fue el fosfato diamónico con un nivel de 160 kg P_2O_5 /ha.

Aguirre (1999) evaluó el efecto de diferentes fuentes de fósforo en el rendimiento del cultivo de la papa en suelos de pH 5.6 y 5.7 de la localidad de Chinchero, usó fuentes solubles de amplia difusión comercial, entre ellas: fosfato diamónico (FDA), Superfosfato triple de calcio (ST), Superfosfato Hiperusa, comparándolas con fuentes poco solubles: roca fosfatada (RF) de Bayóvar molida y sin moler y fuentes orgánicas como Guano de islas y «Fosfohumus», todas las fuentes fueron aplicadas a 160 kg de P_2O_5 /ha y con aportes de N y K_2O de 160 y 120 kg/ha respectivamente.

En sus resultados Aguirre (1999), encontró superioridad de las fuentes solubles, el (FDA) en la Var. CICA presentó un incremento en el rendimiento de 132 por ciento y en la Var. Perricholi el (ST) mostró un incremento de 143 por ciento más respecto del testigo sin P. Tanto la RF de Bayóvar como el guano de islas y Fosfohumus tuvieron similar efecto, representando incrementos en un rango de 48 hasta 68 por ciento con respecto al Testigo sin

P, de esta manera confirmó la superioridad de las fuentes solubles con respecto a las fuentes poco solubles y a las fuentes orgánicas.

Aguirre (2007) afirma que no se puede prescindir de la fertilización nitro-fosfo-potásica en el cultivo de papa si se desea obtener resultados aceptables. Respecto a las fuentes de fósforo, las fuentes solubles como el superfosfato simple de calcio, el superfosfato triple de calcio y el fosfato diamónico, generan mejores rendimientos que la roca fosfatada.

Orsag *et al.* (2013) realizaron un estudio durante el período 2009-2010 en campos de tres comunidades de Oruro en las zonas intersalares de Bolivia: Bengal Vinto, Quillacas e Irpani, allí evaluaron suelos de parcelas sometidas a labranza convencional bajo cultivos de quinua y suelos de parcelas en descanso, se pretendió, entre otras cosas estimar la dinámica de la materia orgánica N, P y S.

En los resultados Orsag *et al.* (2013) manifiestan que el fósforo disponible (ppm) en las parcelas del estudio se encontró entre contenidos muy bajos a moderados, se menciona que el fósforo no es absorbido en grandes cantidades por la quinua, pero es importante para el crecimiento de raíces, formación de granos, entre otros. El contenido de fósforo encontrado, así como el contenido de materia orgánica y humedad fue mayor en las parcelas con cultivo de quinua que en las parcelas en descanso especialmente en Quillacas y Bengal Vinto, esto debido al estiércol incorporado para cada campaña de quinua.

Aguirre (2007) menciona que Susanivar, 1979, encontró superioridad de la mezcla de la roca bruta de Bayóvar (20 por ciento P_2O_5) con superfosfato simple (50:50 de P_2O_5) frente a la roca bruta de Bayóvar sola y a las mezclas de roca bruta: materia orgánica (50:50 por ciento), se indica que puede deberse a que la planta toma en su primera fase de crecimiento el P inmediatamente soluble en agua para el desarrollo del sistema radicular, en las posteriores fases van a utilizar la fuente menos soluble (roca bruta).

Gagliardo, 1968, citado por Pérez (1987) indica que la traslocación de la materia seca desde las hojas hacia los órganos de reserva o tubérculos de la papa se da aproximadamente a los 70 días, antes de este tiempo la planta se dedica a acumular sólidos en el follaje para luego traslocarlos.

2.8 Efecto residual del fósforo

Gros & Domínguez (1992) indicaron respecto a la fertilización externa con P, que en la mayoría de los casos el rendimiento de los abonos aplicados en cada campaña es muy bajo y que la cantidad absorbida por los cultivos, procedente del fertilizante, puede oscilar entre el 5 y el 30 %, por ello se puede esperar un efecto residual en un segundo cultivo, ello dependerá de la capacidad de suministro del suelo en función de las reservas del mismo.

Casanova y Avilan, 1982, citado por Gros & Domínguez (1992) hacen mención al efecto residual del P:

El problema mayor ocurre con los suelos que fijan altas cantidades de P, es difícil decidir en estos casos, cual es la mejor estrategia de fertilización, si al voleo, con una dosis sustancial original que luego libere fósforo por efecto residual o en bandas.

Aguirre (2007) menciona que es importante resaltar el enorme efecto residual que deja el abonamiento a la papa, razón por la cual el agricultor acostumbra a ser generoso en los niveles de abonamiento de la papa y reducir el abonamiento sobre todo de fósforo y potasio para los cultivos subsiguientes.

Algunos estudios muestran que en suelos que retienen altas cantidades de P, el efecto residual no es evidente, tal vez porque las cantidades aplicadas no son suficientes para contrarrestar el efecto de la retención de fósforo, tal es el caso del estudio realizado por Alvarado *et al.* (2009) quienes instalaron varias parcelas y evaluaron dos campañas del cultivo de papa, a un grupo le aplicaron cuatro diferentes dosis (150, 300, 450 y 600 kg/ha) de superfosfato triple de calcio más un testigo (00 kg/ha) pero sólo se aplicó en la primera campaña y para la siguiente campaña ya no se aplicó; y a otro grupo le aplicaron las mismas dosis pero en ambas campañas. Los resultados mostraron que las parcelas a las que se le aplicó fertilizante sólo durante la primera campaña, tuvieron menores rendimientos y no hubo efecto residual con ninguna de las dosis de fósforo aplicadas, no hubo respuesta del cultivo frente al incremento de dosis de fósforo, en cambio para las parcelas fertilizadas durante las dos campañas la respuesta fue creciente y significativa.

Se concluyó que la cantidad de nutrientes extraídos por la papa fueron mayores cuando se fertilizó por dos años consecutivos (debido a que se obtuvieron rendimientos de materia seca superiores) que cuando únicamente se fertilizó en el primer cultivo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del experimento

El experimento se llevó a cabo en el Laboratorio e Invernadero de Fertilidad del Suelo “Sven Villagarcía Hermoza” de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Ubicado en el distrito de La Molina, provincia y departamento de Lima.

La ubicación geográfica es:

Latitud: 12°04'46”S

Longitud: 76°56'46”W

Altitud: 243 msnm

3.2 Datos meteorológicos

La información meteorológica como temperatura y humedad relativa se obtuvo del observatorio meteorológico "Alexander Von Humboldt" ubicado en el campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Los datos se muestran en los resultados.

La parte experimental del trabajo de investigación inició en mayo del 2014.

3.3 Materiales empleados

3.3.1 Del sustrato

Se utilizó arena de río proveniente del distrito de Pullo, provincia de Parinacochas, en el departamento de Ayacucho. Se sometió al sustrato a un análisis de caracterización de suelo (Anexo 4) realizado en El Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) perteneciente al Departamento de Suelos de la Facultad de Agronomía.

De acuerdo con los resultados del análisis de suelo (Tabla 4), se trata de un suelo con reacción ligeramente alcalina, sin problemas de salinización ya que el contenido de sales solubles, C.E. ≈ 0.30 dS/m, es calificado como muy ligeramente salino (teniendo en cuenta la relación empírica de C.E. $(1:1)*2 \approx$ C.E. (pasta saturada)). No hay presencia de material calcáreo (CaCO_3), en cuanto a la concentración de la materia orgánica, la concentración de nitrógeno total, la concentración del fósforo y potasio disponible en este suelo, es muy baja, así mismo la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) se considera muy baja y siendo esta un estimador de la fertilidad de los suelos se puede afirmar que la fertilidad natural de este suelo también es baja.

Referente a las relaciones catiónicas, algunos especialistas no las consideran como una herramienta de ayuda porque no muestran con claridad si la cantidad de cada ion es la ideal, de todas maneras los datos de las relaciones catiónicas del análisis de este suelo se han comparado con los rangos planteados para quinua en (MINAGRI, 2014b) y se obtuvo que la relación Ca/Mg fue igual a 3.79 (rango sugerido de 5.0 - 8.0), la relación Ca/K fue 19.6 (rango sugerido de 14.0 - 16.0) y la relación Mg/K fue 5.2 (rango sugerido de 1.8 – 2.5). Como se observa hay ciertos desbalances, la primera relación es hipocálcica y las dos últimas son hipopotásicas, por tanto, podría existir competencia por el sitio de absorción en la planta.

Tabla 4: Análisis físico-químico de suelo del sustrato

Características	Valor	Interpretación	Método de Análisis
pH	7.64	Ligeramente alcalino	Método del potenciómetro
C.E. (dS/m)	0.15	Muy ligeramente salino	Lectura del extracto (suelo-agua), método del conductímetro
CaCO ₃ %	0.00	No hay presencia	Método gaso-volumétrico
M.O. %	0.17	Baja	Método de Walkley y Black
P ppm	2.9	Baja	Método de Olsen Modificado
K ppm	46	Baja	Extracto de acetato de amonio
Clase textural		Arena	Método del hidrómetro
Arena %	97		
Limo %	3		
Arcilla %	0		
CIC (meq/100g)	3.20	Muy baja	Método del Acetato de Amonio
Cationes cambiabiles			
Calcio (meq/100g)	2.35		Espectrofotometría de absorción atómica
Magnesio (meq/100g)	0.62		Espectrofotometría de absorción atómica
Potasio (meq/100g)	0.12		Espectrofotometría de absorción atómica
Sodio (meq/100g)	0.11		Espectrofotometría de absorción atómica
Al ³⁺ + H ⁺ (meq/100g)	0.00	No ácido	Método de Yuan
Suma de cationes	3.20		
Suma de bases	3.20		
Saturación de bases %	100		

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, plantas, aguas y fertilizantes (LASPAF) de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima Perú.

La condición de que este suelo sea pobre en fósforo, fue idónea para observar el efecto directo de las diferentes fuentes de fósforo utilizadas en este trabajo de investigación. Gros & Domínguez (1992) mencionan que cuanto más pobre sea el nivel de reservas que tenga el suelo tanto más se alimentará la planta a partir del abono.

3.3.2 Agua

El agua que se usó para realizar los riegos y las fertilizaciones durante la conducción del trabajo de investigación provino de la localidad de Huachipa, es clasificada como C3S1, se puede emplear en grandes volúmenes en suelos de buen drenaje (como los suelos arenosos) y con un cultivo tolerante. Su nivel de sodio es bajo, por tanto, no presentará alguna restricción para el desarrollo de los cultivos, tampoco ocasionará deterioro o destrucción de la estructura del suelo.

3.3.3 De los fertilizantes

La descripción de las fuentes de fertilizantes fosfatados utilizados como tratamientos se muestra en la Tabla 5, así como también se muestran sus respectivas leyes. Las dosis aplicadas fueron 400 ppm de P₂O₅. De las seis fuentes, las cinco primeras son fuentes solubles de P, su solubilidad es alta y la última, RF, es una fuente poco soluble.

Tabla 5: Leyes de las fuentes fosfatadas utilizadas en el trabajo de investigación

Fuentes	Siglas	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	CaO (%)
Superfosfato triple de calcio	ST		46	17
Fosfato diamónico	FDA	18	46	
Fosfato monoamónico	FMA	11	52	
MicroEssentials SZ®	MZ	12	40	
Agriphos®	AG		21	
Roca fosfórica	RF		30	

En la Tabla 6, se muestran los pK (constante de disociación ácida) de algunos fosfatos, es la medición de cuan fuerte es un ácido en solución, esto nos ayudará a comprender que fertilizantes serán más solubles y quienes menos solubles, según el tipo de fosfato que contenga cada fertilizante.

Tabla 6: Productos de solubilidad de algunos ortofosfatos presentes en suelos a 25°C

	Fosfato	Fórmula	pK	Relación Cation/P
ST, FMA	Monocálcico anhidro	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	2,03	1:2
	Monocálcico hidratado	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·2H ₂ O	1,14	1:2
FDA	Dicálcico anhidro	CaHPO ₄	6,66	1:1
	Dicálcico dihidratado	CaHOP ₄ ·2H ₂ O	6,56	1:1
	Dimagnésico	MgHPO ₄ ·3H ₂ O	5,82	1:1
	Octacálcico	Ca ₈ H ₂ (PO ₄) ₆ ·5H ₂ O	46,90–47,90	4:3
RF	Apatita hidroxidada	Ca ₁₀ (PO ₄) ₆ (OH) ₂	111,82–115,00	5:3
	Apatita fluorada	Ca ₁₀ (PO ₄) ₆ F ₂	120,86	5:3
	Alumínico (variscita)	AlPO ₄ ·2H ₂ O	21,5–22,5	1:1
	Férrico (estregita)	FePO ₄ ·2H ₂ O	35,35	1:1
	Alumínico cálcico	CaAlH(PO ₄) ₂ ·6H ₂ O	39,0	–
	Alumínico potásico	KAl ₂ (PO ₄) ₂ OH·2H ₂ O	55,1	–
	Taranakita potásica	H ₆ K ₃ Al ₅ (PO ₄) ₈ ·18H ₂ O	178,7	8:13
	Taranakita amónica	H ₆ (HN ₄) ₃ Al ₅ (PO ₄) ₈ ·18H ₂ O	175,5	8:13

Fuente: Tomado de Fassbender 1975:277.

Con esto se esperaría que el ST y el FMA sean los más solubles, seguidos del FDA, se aprecia también que el fosfato contenido en la RF es casi insoluble.

Otros fertilizantes comerciales utilizados:

Nitrato de amonio ($\text{NO}_3 \text{NH}_4$): 33 por ciento de N, tiene reacción acida su Índice de acidez = 60.

Cloruro de Potasio (CIK): 60 por ciento de K_2O , tiene reacción neutra.

Estos fertilizantes fueron aplicados de manera homogénea en todos los tratamientos. Las cantidades de nutrientes incorporados al suelo durante la conducción del experimento fue de 150 ppm de N y 100 ppm de K_2O para la papa y 50 ppm de N para la quinua.

3.3.4 De los cultivos indicadores

Papa:

La semilla agronómica de papa que se empleó corresponde a la variedad "Canchán", fueron semillas básicas provenientes del Centro Internacional de la Papa (CIP), ver Figura 3.



Figura 3: Semilla agronómica de papa, variedad Canchán

Se realizó la siembra el 14 de mayo, según Benites (2008) en Costa se inician las siembras en abril, pudiendo durar hasta junio.

Quinua:

La variedad de quinua que se utilizó fue la variedad "Pasankalla" proveniente del Programa de Cereales y Granos Nativos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Se realizó la siembra el 30 de agosto, según Tapia & Fries (2007) la quinua se puede sembrar a partir de septiembre hasta principios de noviembre.

3.4 Materiales diversos

Materiales de invernadero: 21 macetas de plástico de 4 kg de capacidad con sus respectivos platos de plástico, mesas y jaulas de invernadero, baldes, vasos precipitados, cámara fotográfica, pizarra con medidas para registrar alturas, cinta métrica, libreta de apuntes, lapicero, tijera de podar, bolsas de papel y de plástico, papel toalla.

Materiales de laboratorio: Balanza de precisión, estufa, molino eléctrico, cinta adhesiva, campana extractora para digestión, equipo de micro kjeldahl, colorímetro, vasos medidores, fiolas, balones, reactivos y ácidos, papel filtro, frascos de plástico, etc.

3.5 Variables de evaluación

3.5.1 Altura de planta

Se midieron las alturas al momento de la cosecha en cada uno de los cultivos. Esto sirvió para conocer con qué tratamiento se obtuvo un mayor desarrollo vegetativo.

3.5.2 Acumulación de biomasa

La materia seca del material de cada órgano se obtuvo después de ser sometido a secado en una estufa a una temperatura de 50 °C - 60 °C hasta asegurarse que el peso este constante (durante 72 h).

3.5.3 Extracción de nutrientes (N y P)

Primero se halló la concentración de N y P absorbidos del suelo por las plantas a nivel foliar, de raíz (papa - quinua) y de tubérculos (papa). Posteriormente se reemplazaron estos datos de concentración en la siguiente ecuación:

$$\text{Mat. Seca} * \text{Concentración} * 10 = \text{Extracción (mg)}$$

A partir de la concentración de nutrientes (N, P) y la masa seca de cada órgano de la planta, se determinó la masa total de nutrientes extraídos por la planta durante su desarrollo fenológico. El procedimiento realizado para la obtención de la concentración tanto de nitrógeno como de fósforo se detalla en los Anexos 8 y 9.

3.6 Diseño experimental

Se utilizó el Diseño estadístico Completamente al Azar (DCA) con siete tratamientos y tres repeticiones, la unidad experimental estuvo constituida por una maceta de 4 kg, estas unidades experimentales fueron homogéneas y los tratamientos se asignaron aleatoriamente sin ninguna restricción por lo que cada unidad tuvo la misma probabilidad de recibir un tratamiento.

6 tratamientos

1 adicional

7 tratamientos x 3 repeticiones = 21 unidades experimentales

El Modelo Aditivo Lineal fue:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : Es la variable respuesta de la j-ésima repetición sujeta al i-ésimo tratamiento.

μ : Media general.

τ_i : Es el efecto del i-ésimo tratamiento.

ϵ_{ij} : Es el verdadero efecto aleatorio del error muestral en la j-ésima unidad experimental sujeta al i-ésimo tratamiento.

Para evaluar las diferentes variables, se obtuvo datos por cada repetición, se evaluaron tres repeticiones, y para procesarlos se usó el programa estadístico SAS versión 8.0, donde se realizó el ANOVA y las comparaciones múltiples con la prueba de Tukey para cada variable. Se eligió la prueba de Tukey ya que permite hacer todas las posibles comparaciones entre las medias de los tratamientos, de dos en dos, y considera la totalidad de los tratamientos para dar los resultados (Wong-González, 2010).

TRATAMIENTOS

La descripción de cada uno se detalla en la Tabla 7.

Tabla 7: Tratamientos y dosis de nutrientes en (ppm)

Tratamiento	Fuente	N (ppm)	P₂O₅ (ppm)	K₂O (ppm)
T1	Superfosfato triple de calcio (ST) Fosfato diamónico	150	400	100
T2	(FDA) Fosfato monoamónico	150	400	100
T3	(FMA)	150	400	100
T4	MicroEssentials SZ® (MZ)	150	400	100
T5	Agriphos® (AG)	150	400	100
T6	Roca fosfórica (RF)	150	400	100
T7	Testigo parcial (TP)	150	0	100

3.7 Fechas de actividades

Tabla 8: Fechas de actividades durante la parte experimental del trabajo de investigación

	Fechas	Actividades
2014	13-may.	Riego con 720 mL/maceta
	14-may.	Siembra de tubérculos de papa
	09-jun.	Primera fertilización de N (200 mg/maceta = 50 ppm N)
	11-jun.	Aplicación de Lannafarm (dosis: 1 g/L)
	11-jun.	Aporque de papa
	14-jun.	Segunda fertilización de N (400 mg/maceta = 100 ppm N)
	16-jun.	Primera fertilización de K (200 mg/maceta = 50 ppm K ₂ O)
	26-jun.	Segunda fertilización de K (200 mg/maceta = 50 ppm K ₂ O)
	17-jul.	Inicio de cosecha de papa (64 dds)
	23-jul.	Final de cosecha de papa (70 dds)
	Ago.	Secado y molido de muestras (papa)
	Ago.	Proceso de muestras para determinación de N (papa)
	30-ago.	Siembra de semillas de quinua
	20-sept.	Desahíje
	04-oct.	Aporque de quinua
	11-oct.	Primera fertilización de N (200 mg/maceta = 50 ppm N)
	2015	11-oct.
25-oct.		Inicio de cosecha de quinua (56 dds)
28-oct.		Final de cosecha de quinua (59 dds)
Nov.		Preparación de extractos húmedos para P (papa)
Nov.		Secado de muestras (quinua)
Feb.		Molido de muestras (quinua)
Mar.		Proceso de muestras para determinación de N (quinua)
Jul.		Preparación de extractos húmedos para P (quinua)
	Ago.	Lectura, determinación de concentración de P (quinua)
	Sept. - ...	Procesamiento de datos

3.7.1 Actividades en invernadero

La conducción experimental fue la siguiente:

a. Instalación

El sustrato para utilizar se tamizó, se uniformizó y se procedió a pesar 4 kg los cuales fueron depositados en cada maceta, los orificios de drenaje de las macetas fueron previamente

cerrados con cinta adhesiva para evitar el escape de la arena en los primeros días de riego. Ver Figura 4.



Figura 4: Uniformización del sustrato y tapado de macetas

Ya listas las unidades experimentales se realizó una randomización asignando al azar los tratamientos para cada maceta, se hizo el rotulado para distinguir los tratamientos y una vez identificada la unidad experimental se procedió a separar arena en un vaso precipitado, de 250 mL de capacidad, que fue guardado en bolsas de plástico rotuladas, a la espera de ser utilizadas en el aporque.

Los fertilizantes fosfatados se molieron, tamizaron y luego de hacer los cálculos correspondientes, fueron pesados y guardados hasta ser mezclados homogéneamente con el sustrato.

Para el llenado de macetas, dependiendo de los tratamientos, primero se realizó la incorporación de cada uno de los fertilizantes al sustrato; para ello antes de mezclar se dejó una porción del sustrato en la maceta (aprox. 2 cm de altura) así como también se separó un poco del mismo y se vertió el resto del contenido en una bandeja de plástico para proceder a mezclar de una manera más homogénea con el fertilizante, finalmente se volvió a verter en las macetas y se tapó con la arena separada antes de mezclar (ver Figura 5).



Figura 5: Llenado de macetas dependiendo de cada tratamiento

Cabe recalcar que, para ver el efecto residual de las fuentes, esta fue la única aplicación de P que se hizo en la rotación de cultivos, en la quinua ya no se fertilizó con P, ahí se utilizó el efecto residual.

Finalmente se procedió a la siembra de la papa (ver Figura 6a), después de la cosecha de la misma, se mezcló homogéneamente el sustrato para nuevamente ser vertido en las macetas debidamente tapadas con cinta adhesiva, luego de ello se sembró la quinua (ver Figura 6b), antes de la siembra también se tuvo en cuenta separar un poco del sustrato para el aporque de la quinua.



Figura 6: Siembra de papa (a) y siembra de quinua (b)

Algunas labores que se hicieron en el caso de la papa fue el aporque y el tutorado, y en el caso de la quinua fue el desahije a 5 plantas por maceta y el aporque (Figura 7).



Figura 7: Algunas labores realizadas en los cultivos de papa y quinua

En ambos cultivos, después de tener un crecimiento inicial, se realizó la abertura de huecos y puesta de plato para el drenaje (ver Figura 8), así mismo ambos tuvieron una etapa en jaula y después fuera de jaula (ver Figura 9).



Figura 8: Abertura de huecos y puesta de plato para el drenaje



Figura 9: Etapa en jaula y cambio de jaula

Se hicieron riegos interdiarios o diarios dependiendo del estado seco o húmedo del sustrato, se trató de mantener el contenido hídrico del suelo en valores cercanos a la capacidad de campo.

b. Fertilizaciones después de instalado el cultivo

Se aplicaron dosis de nitrógeno de manera fraccionada para evitar pérdidas por lavado. Las dosis aplicadas fueron de 50 y 100 ppm respectivamente y la fuente utilizada fue nitrato de amonio.

Para la fertilización potásica, se utilizó cloruro de potasio y se fraccionó en dos partes, cada aplicación fue de 50ppm.

c. Evaluaciones

Las evaluaciones visuales y fotográficas se realizaron a lo largo del desarrollo de los cultivos y se observó que hubo presencia de áfidos en papa y mildiu en quinua, la medida correctiva que se tomó fue aplicar productos químicos: Lannafarm a los 28 dds, para los áfidos y Ridomil a los 42 dds, para el mildiu (Figura 10).



Figura 10: Productos químicos utilizados: Lannafarm y Ridomil

d. Cosecha

La cosecha, en el caso de la papa, se realizó cuando se observó el decaimiento del follaje luego de la formación de tubérculos y en el caso de la quinua cuando se observó un apreciable desarrollo foliar, ya que sólo se buscó corroborar que había reservas de fósforo provenientes de la primera y única aplicación fosfatada en el primer cultivo, aplicación que debió contribuir con el desarrollo de la quinua.

Primero se cosechó la parte aérea, se picó, se registró el peso fresco y se colocó en bolsas de papel para ser sometidos a un tratamiento en la estufa y poder obtener el peso seco. Segundo se cosecharon las raíces, estas fueron lavadas, secadas a temperatura ambiente, pesadas y puestas a la estufa en bolsas de papel para obtener el peso seco. Finalmente, tras cosechar los tubérculos (ver Figura 11), se lavaron, se registró el peso, se cortaron y se dispusieron en latas que fueron puestas a estufa para luego obtener el peso seco.

Para la cosecha de la quinua, el estado fenológico en el que se encontraba era panojamiento. La cosecha fue similar para el follaje y las raíces, se consideró como follaje: al tallo, hojas y a la inflorescencia. En la Figura 12, se puede observar la cosecha de raíces.



Figura 11: Raíces y tubérculos en cosecha y después del lavado



Figura 12: Raíces de quinua en cosecha y después del lavado

3.7.2 Actividades de laboratorio

Concentración y extracción

Después de extraídas las plantas para la determinación de materia seca, se evaluaron los niveles nutricionales de N y P en cada órgano. El método que se empleó para determinar la concentración de nitrógeno fue el de micro Kjeldahl (ver Anexo 8) y para determinar la concentración del fósforo se realizó una digestión húmeda mediante los ácidos nítrico y perclórico, posteriormente el fósforo fue determinado por colorimetría (ver Anexos 9 y 10).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Datos meteorológicos

Los datos meteorológicos entre el 14 de mayo y el 28 de octubre del 2014, período en el que se llevó a cabo la parte experimental del trabajo de investigación, fueron favorables para el desarrollo de la papa y quinua, también fue favorable para la proliferación de pulgones en ambos cultivos y del mildiu en el cultivo de la quinua (ver Figura 13). La información total de los datos meteorológicos se muestra en el Anexo 5.

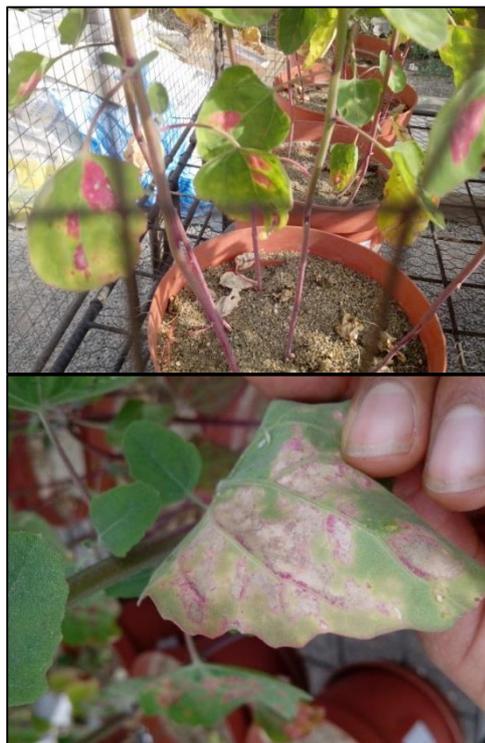


Figura 13: Daños de mildiu en el cultivo de la quinua

El período que abarcó el desarrollo de la papa, tuvo las siguientes características: temperatura promedio de 18.3 °C, con un máximo de 23.4 °C y un mínimo de 14.7 °C y humedad relativa promedio de 87 por ciento. Ver Tabla 9. Y el período que abarcó el desarrollo de la quinua, tuvo las siguientes características: temperatura promedio de 17.1 °C,

con un máximo de 21.1 °C y un mínimo de 14.4 °C y humedad relativa promedio de 88 por ciento. Ver Tabla 9.

Tabla 9: Información meteorológica de T °C y HR durante la realización del trabajo de investigación (año 2014)

Cultivo	Mes	Temperatura °C			HR %		
		Máx.	Mín.	Prom.	Prom. Gral	Prom.	Prom. Gral
	May.	23.4	18.5	19.8		85	
Papa	Jun.	20.5	17.4	19.0	18.3	85	87
	Jul.	17.6	14.7	16.2		90	
	Ago.	18.2	14.4	16.4		90	
Quinua	Sept.	21.1	14.8	16.7	17.1	88	88
	Oct.	20.6	16.5	18.3		87	

Fuente: Datos obtenidos del observatorio meteorológico "Alexander Von Humboldt" ubicado en el campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Según (MINAGRI, 2013a), las temperaturas óptimas para el desarrollo del cultivo de la papa se dan entre 18 y 20 °C, como se observa en la Tabla 9 las temperaturas fueron favorables para el desarrollo de la papa.

Las humedades relativas con las que se desarrolla el cultivo de la quinua varían desde 40 por ciento hasta 88 por ciento de humedad, y la temperatura adecuada es de 15 a 20 °C (FAO, 2011), como se observa los datos registrados de temperatura y humedad relativa durante el desarrollo de la quinua, le fueron favorables para su instalación y desarrollo.

En la Figura 14, se muestra la curva de variación de la temperatura (°C), con los picos más altos y bajos a lo largo de la conducción del trabajo de investigación.

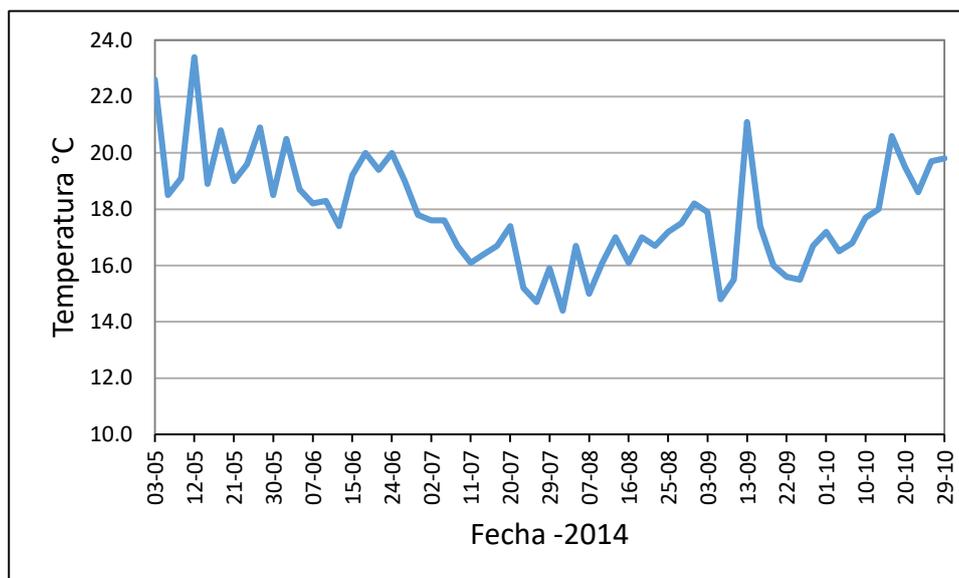


Figura 14: Curva de variación de temperatura (°C) de La Molina

Fuente: Datos obtenidos del observatorio meteorológico “Alexander Von Humboldt ubicado en el campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

4.2 Datos generales

Con los datos obtenidos en cada variable, se realizó un DCA, los resultados mostrados en los Análisis de Varianza (ANOVA) para cada variable en los dos cultivos (ver Anexo 11), muestran que para los tratamientos usados sí hubo diferencias significativas, al menos uno de los tratamientos es diferente a los demás.

Así mismo los coeficientes de variación (C.V), cuyos valores fluctúan entre 3.63 por ciento y 12.63 por ciento, indican que los datos generados en este estudio son confiables, ya que se menciona que para experimentos en invernadero el coeficiente de variación debería ser menor al 20 por ciento (Vásquez citado por Vilca, 2013).

Y para identificar en qué tratamientos se produjeron las diferencias se realizó la Prueba de Tukey, en esta prueba se hicieron las comparaciones de las medias entre todos los tratamientos, para saber cuáles pueden considerarse iguales y cuales distintos.

En las Tablas 10 y 11, se presentan los resultados generales obtenidos en el cultivo de papa y quinua.

Tabla 10: Comparación de medias de las distintas variables de los tratamientos en el cultivo de la papa, mediante la prueba Tukey

N°	Trat.	Alt. Planta (cm)	Biomasa T. (g/maceta)	Extracc. N (mg/maceta)	Extracc. P (mg/maceta)
1	ST	37.6 ab	25.2 ab	573 a	66 c
2	FDA	44.7 a	28.5 a	540 ab	105 ab
3	FMA	45.2 a	27.7 a	604 a	112 a
4	MZ	43.8 a	25.3 ab	596 a	96 b
5	AG	40.2 ab	16.9 c	433 b	23 d
6	RF	31.9 ab	20.2 bc	450 b	30 d
7	TP	29.5 b	20.0 bc	456 b	23 d

Nota: Valores en cada columna que comparten una misma letra, no son significativamente diferentes de acuerdo a la Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$)

Tabla 11: Comparación de medias de las distintas variables de los tratamientos en el cultivo de la quinua, mediante la prueba Tukey

N°	Trat.	Alt. Planta (cm)	Biomasa T. (g/maceta)	Extracc. N (mg/maceta)	Extracc. P (mg/maceta)
1	ST	52.5 b	10.6 d	262 cd	88 ab
2	FDA	49.8 b	8.6 de	245 d	103 a
3	FMA	49.1 b	9.9 d	291 c	106 a
4	MZ	40.2 c	7.3 e	245 d	94 ab
5	AG	52.6 b	13.2 c	340 b	32 c
6	RF	60.8 a	20.7 a	397 a	75 b
7	TP	50.9 b	16.0 b	401 a	25 c

Nota: Valores en cada columna que comparten una misma letra, no son significativamente diferentes de acuerdo a la Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$)

En la salida del SAS Alpha = 0.05, sí se encuentran diferencias entre las medias de los tratamientos, algunos tratamientos fueron superiores a otros. En cuanto al testigo parcial no en todos los casos sus resultados fueron inferiores a los resultados obtenidos con las diferentes fuentes de fósforo.

4.3 Altura de planta

De acuerdo a los análisis de varianza (Anexo 11) y a la comparación de medias de Tukey con un nivel de significancia de 0.05, existen diferencias significativas entre los tratamientos para la variable altura, tanto para la papa como para la quinua.

4.3.1 Papa

Se comprobó que hay un efecto de las seis fuentes fosfatadas, respecto al testigo parcial, sobre la altura en las plantas de papa. En la Tabla 12, Figuras 15 y 16, se muestra que los seis primeros tratamientos no mostraron diferencias estadísticas entre ellos ya que todos presentaron la letra “a”, dentro de estos los que obtuvieron los valores más altos de altura fueron; FMA, FDA y MZ, con valores de 45.2, 44.7 y 43.8 cm, seguidos por AG, ST y RF con valores de 40.2, 37.6 y 31.9 cm. Estos tres últimos tratamientos no presentaron diferencias estadísticas con el tratamiento TP, que obtuvo un valor de 29.5 cm. En todos los casos, al TP se le asignó un índice de 100 % que permitió comparar sus resultados con los resultados de los demás tratamientos.

Estos datos indican que, en el inicio de un cultivo, las fuentes más solubles de fósforo son las que permiten e incentivan un mejor desarrollo vegetativo, dentro de estas, los fosfatos amónicos son los que tienen mejores resultados, ya que la mayoría del fósforo contenido en ellos esta inmediatamente disponible para las plantas.

Aunque no se hayan obtenido diferencias significativas en los resultados de las seis fuentes fosfatadas se observa que la fuente poco soluble, el tratamiento RF, no favoreció en gran medida el desarrollo inicial del cultivo, sus resultados no mostraron diferencias estadísticas respecto al TP que no tuvo aporte de fósforo en su fertilización.

Tabla 12: Comparación de las medias de las alturas de los tratamientos mediante la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$, en el cultivo de papa

Trat.	Alt. Planta (cm)	Índice (%)
ST	37.6 ab	127
FDA	44.7 a	152
FMA	45.2 a	153
MZ	43.8 a	148
AG	40.2 ab	136
RF	31.9 ab	108
TP	29.5 b	100

Nota: Promedios que en la columna comparten una misma letra, no tienen diferencias significativas.

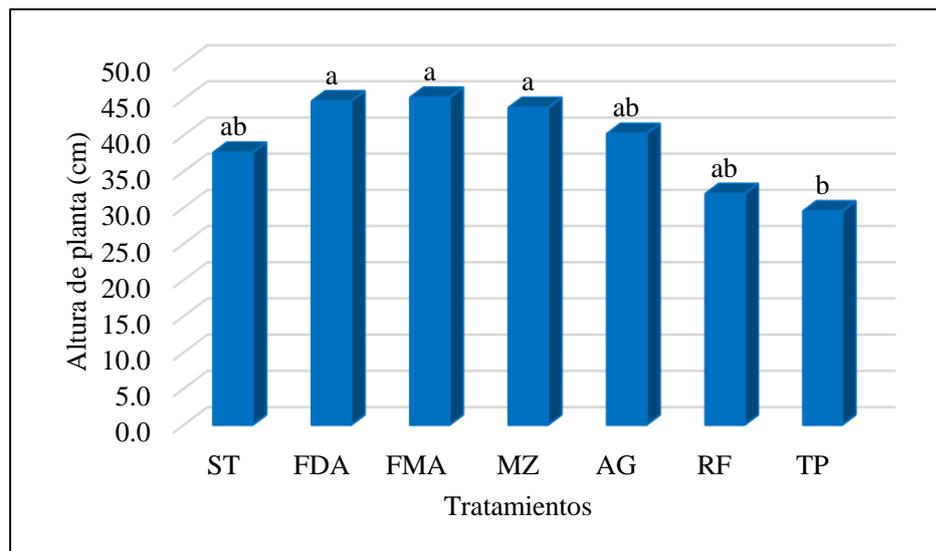


Figura 15: Comparación de las medias de las alturas de papa

En la Figura 16 se muestran las alturas de las plantas de papa, una repetición por cada tratamiento. Inicia con el ST (T1) y finaliza con el TP (T7) de izquierda a derecha, la penúltima maceta corresponde al testigo absoluto que no se tomó en cuenta para la comparación de resultados.



Figura 16: Altura de las plantas de papa a los 50 dds, una repetición por cada tratamiento, 14 días antes del inicio de la cosecha

Las plantas de papa en este trabajo de investigación tuvieron un solo tallo y un período de crecimiento más corto respecto al período promedio para esta variedad, lo cual puede ser justificado por lo que indica Egúsquiza (2000), quien hace referencia a que si la semilla tiene una brotación apical, esta inhibe el desarrollo de otros brotes y se genera un solo tallo, además si la semilla ya se encuentra un poco deshidratada (vieja) se tendrá un período más corto de crecimiento, las semillas utilizadas presentaron cierto grado de deshidratación.

4.3.2 Quinua

El tratamiento que presentó el valor más alto en altura fue RF con un valor de 60.8 cm, mantuvo una diferencia estadística altamente significativa frente a los demás tratamientos. Asimismo, AG, ST, TP, FDA y FMA, fue el grupo de tratamientos que no presentaron diferencias significativas entre ellos, con valores de 52.6; 52.5; 50.9; 49.8 y 49.1 cm, respectivamente. Seguidos del tratamiento MZ con 40.2 cm de altura, quien tuvo diferencias estadísticas respecto a los otros tratamientos. Ver Tabla 13 y Figura 17.

El haber obtenido un mayor desarrollo vegetativo, con la fuente de roca fosfórica, hace notorio su prolongado efecto residual, ya que en este segundo cultivo no se hizo ninguna

aplicación de fósforo y lo que ayudo al desarrollo de todas las quinuas, fue el efecto residual de la primera aportación en el cultivo de la papa, esto se aprecia mejor en el tratamiento RF. En este caso sorprende que parte del fósforo contenido en la roca fosfórica se haya hecho disponible y haya contribuido con el desarrollo de la quinua, a pesar de que las condiciones no le eran favorables; el pH del suelo (7.64) estaba por arriba de 6 y no había aporte de materia orgánica aspecto que mejora la disponibilidad de fósforo contenido en la roca fosfórica.

Se encontró que el TP tuvo similar comportamiento que las fuentes más solubles de fósforo a pesar de que este tratamiento no tuvo aportes externos de fósforo. Esto podría deberse a la presencia de fósforo en el sustrato, aunque se presentó en bajos niveles bien pudo contribuir, junto con el N y K, al desarrollo del cultivo.

Tabla 13: Comparación de las medias de las alturas de los tratamientos mediante la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$, en el cultivo de quinua

Trat.	Alt. Planta (cm)	Índice (%)
ST	52.5 b	103
FDA	49.8 b	98
FMA	49.1 b	96
MZ	40.2 c	79
AG	52.6 b	103
RF	60.8 a	119
TP	50.9 b	100

Nota: Promedios que en la columna compartan una misma letra, no tienen diferencias significativas.

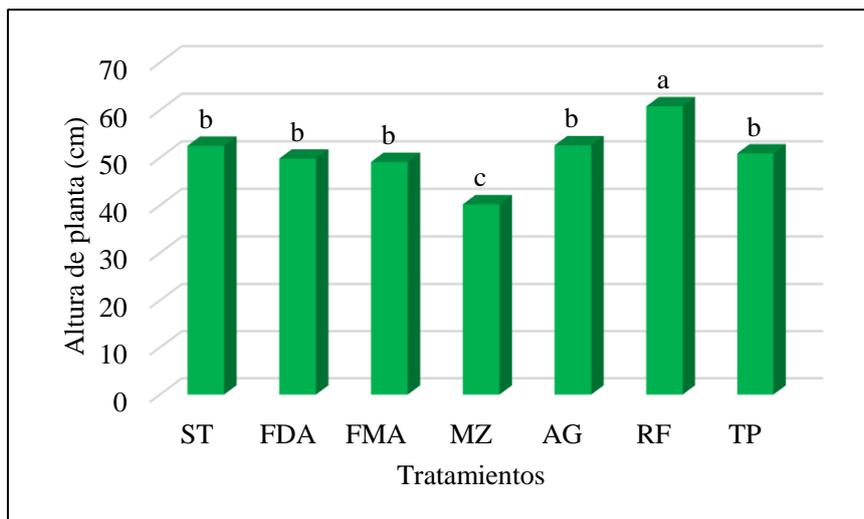


Figura 17: Comparación de las medias de las alturas de plantas de quinua

En la Figura 18 se observan las diferencias reales de las plantas de quinua a inicios de cosecha, a los 56 dds, en ella se muestra una repetición por cada tratamiento. Inicia con el ST (T1) y finaliza con el TP (T7) de izquierda a derecha, la penúltima maceta corresponde al testigo absoluto que no se tomó en cuenta para la comparación de resultados.



Figura 18: Altura de las plantas de quinua a los 56 dds

4.4 Biomasa

4.4.1 Papa

Los tratamientos que obtuvieron mayor biomasa fueron FDA y FMA, mostrando en promedio 28.5 y 27.7 g, respectivamente. Seguidos de MZ, ST, RF y el TP con valores de: 25.3; 25.2; 20.2 y 20.0 g, no mostrando diferencias estadísticas entre ellos. Quien mostro el valor más bajo fue el tratamiento AG con 16.9 g. Ver Tabla 14 y Figura 19.

Tabla 14: Comparación de las medias de la biomasa total de los tratamientos, mediante la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$ en el cultivo de papa

Trat.	Biomasa T. (g/maceta)	Índice (%)
ST	25.2 ab	126
FDA	28.5 a	143
FMA	27.7 a	139
MZ	25.3 ab	127
AG	16.9 c	85
RF	20.2 bc	101
TP	20.0 bc	100

Nota: Promedios en la columna que compartan una misma letra, no tienen diferencias significativas.

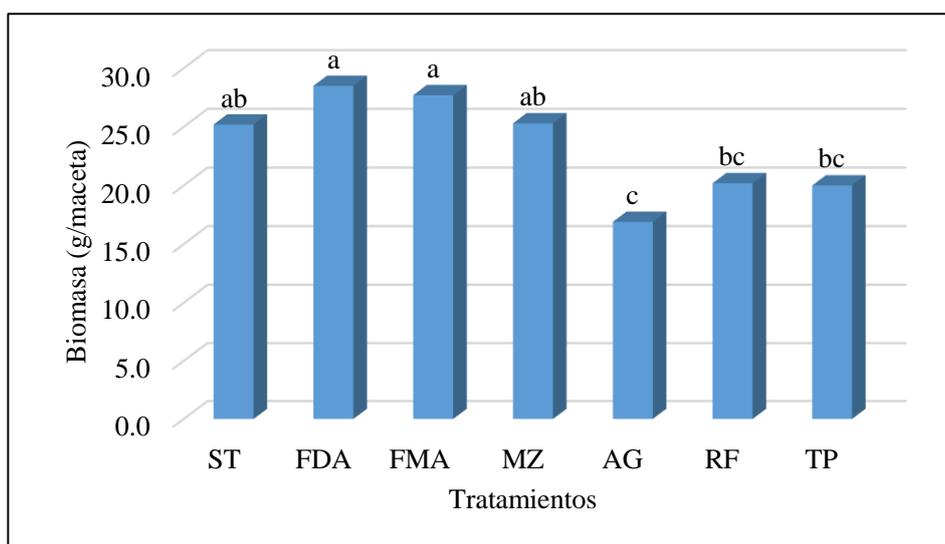


Figura 19: Comparación de biomasa total en el cultivo de la papa

Referente a la biomasa total lograda en cada uno de los tratamientos podemos apreciar que en este primer cultivo los fosfatos amónicos, así como las otras fuentes solubles de fósforo permitieron obtener un mayor desarrollo debido a que casi la totalidad del fósforo contenido en estas fuentes, se encuentra disponible para las plantas permitiendo ver una respuesta inmediata en su desarrollo.

Si un tratamiento tuvo una mayor biomasa generalmente le corresponde también un mayor rendimiento, en relación a los resultados obtenidos en este trabajo de investigación, se mencionan los resultados de Narrea (1998), quien evaluó el efecto de seis fuentes fosfatadas en el cultivo de papa Var. Liberteña, obteniendo los más altos rendimientos promedio con el fosfato diamónico. Así mismo Aguirre (1999), indica que es notoria la superioridad del fosfato diamónico (42.5 t/ha) ya que incrementó los rendimientos hasta de 232 por ciento con respecto al testigo sin P en un suelo de pH 5.65.

Las partes que componen la biomasa total son la materia seca de la parte aérea, raíces y tubérculos (ver Anexo 6), en estos resultados se observa que los tubérculos fueron los que aportaron mayor peso a la biomasa total seguidos de la parte aérea y de las raíces, esto se aprecia mejor en la Figura 20, con un gráfico de columnas apiladas.

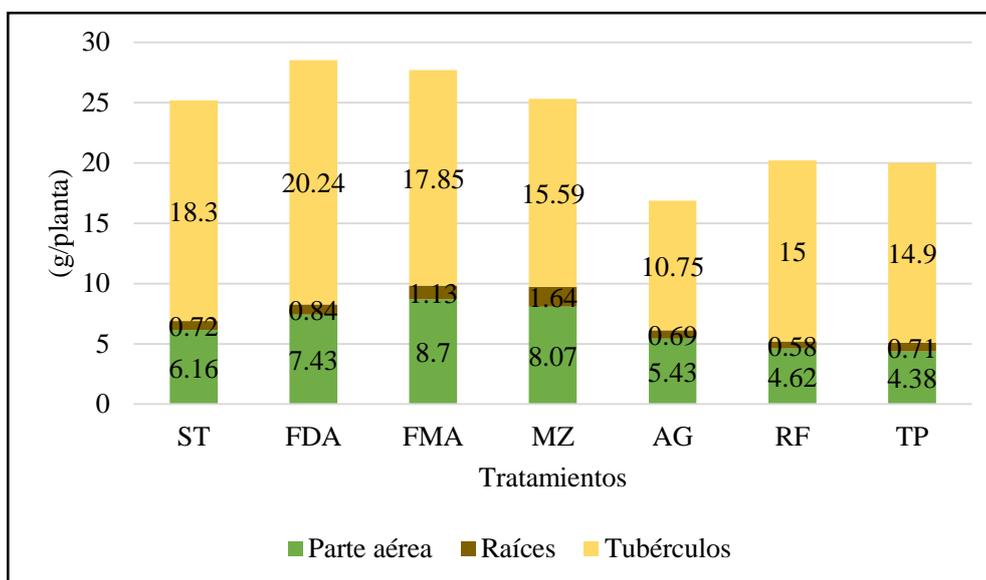


Figura 20: Partes de la biomasa total en papa

Gagliardo, 1968, citado por Pérez (1987) indica que la planta de la papa acumula sólidos en el follaje hasta los 70 días aproximadamente, después empieza la traslocación de la materia seca desde las hojas hacia los órganos de reserva o tubérculos, con ello se explica porque los tubérculos aportaron mayor materia seca.

Cabe mencionar que los tratamientos que obtuvieron mayor cantidad y peso de tubérculos fueron FDA, ST y FMA. En la Figura 21, se puede observar la producción de tubérculos correspondientes a una repetición de cada tratamiento.

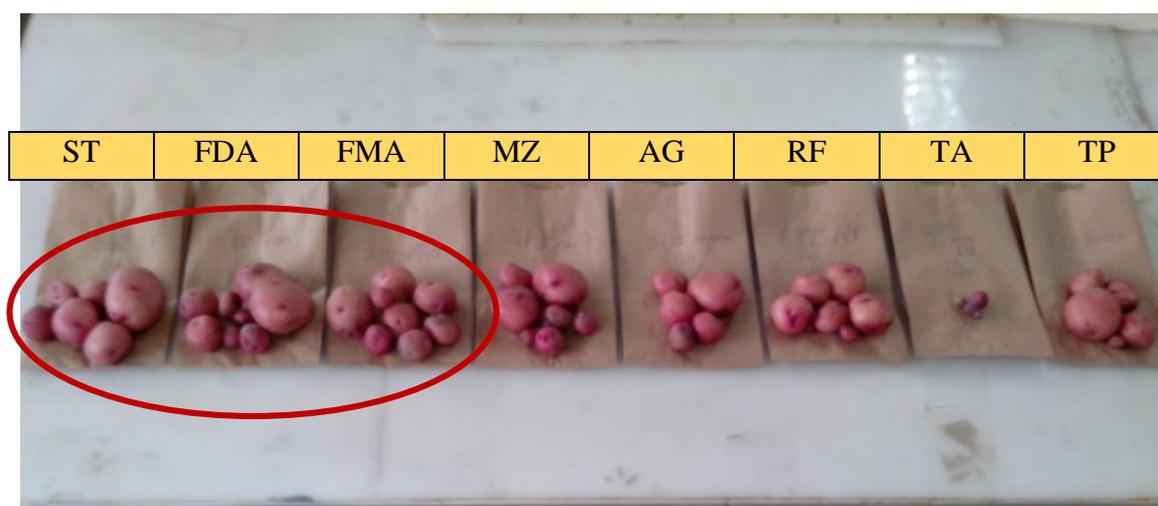


Figura 21: Tubérculos producidos al final de la cosecha

En la Figura 22, se muestra la comparación entre la producción de tubérculos y raíces de los tratamientos FDA y TP. El tratamiento FDA es el que obtuvo el mayor valor en biomasa total dando un índice de 143 por ciento en comparación con el 100 por ciento del TP.



Figura 22: Tubérculos y raíces de los tratamientos FDA y TP

4.4.2 Quinua

Como se observa en la Tabla 15 y Figura 23, los resultados de biomasa total para la quinua tuvieron un comportamiento distinto a los resultados obtenidos para la papa, en este caso fue el tratamiento RF quien obtuvo el mayor valor en biomasa total con un promedio de 20.7 g y fue el único en superar al testigo parcial que obtuvo un valor de 16.0 g, seguido de AG con 13.2 g, mostrando diferencias estadísticas entre ellos, luego están los tratamientos ST, FMA y FDA que no mostraron diferencias estadísticas entre ellos con valores de 10.6; 9.9 y 8.6 g. El valor más bajo lo obtuvo el tratamiento MZ con 7.3 g.

Tabla 15: Comparación de las medias de la biomasa total de los tratamientos, mediante la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$ en el cultivo de quinua

Trat.	Biomasa T. (g/maceta)	Índice (%)
ST	10.6 d	66
FDA	8.6 de	54
FMA	9.9 d	62
MZ	7.3 e	46
AG	13.2 c	83
RF	20.7 a	129
TP	16.0 b	100

Nota: Promedios que en la columna compartan una misma letra, no tienen diferencias significativas.

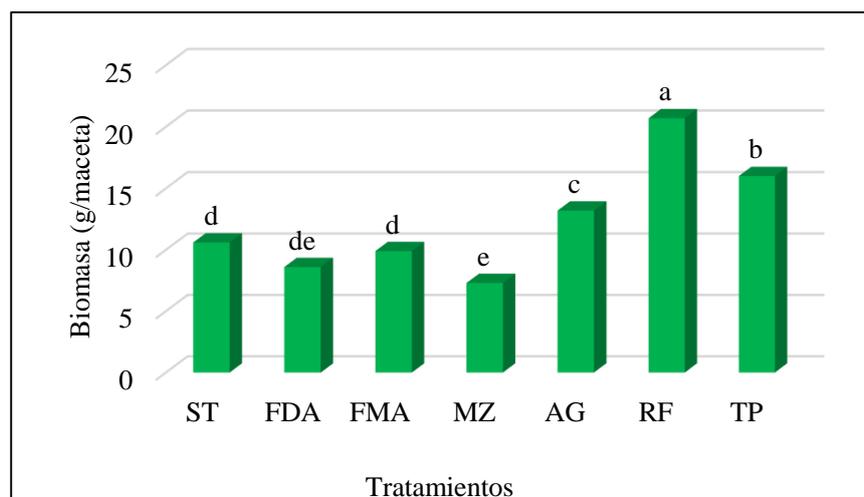


Figura 23: Comparación de biomasa total en el cultivo de la quinua

Susanivar (1979), citado por Aguirre (2007) menciona que la planta toma en su primera fase el P inmediatamente soluble en agua para el desarrollo del sistema radicular y para sus fases posteriores utiliza el P de la fuente menos soluble (roca bruta).

Se hace evidente que, en el primer cultivo, la papa tomó el fósforo inmediatamente soluble contenido en las fuentes de FDA y FMA, principalmente, mostrando con esos tratamientos los mayores valores de biomasa total, en este segundo cultivo estas fuentes tuvieron bajos valores en biomasa, haciéndose notorio que en el tratamiento RF la quinua tomó para su crecimiento el fósforo de la fuente menos soluble, con ello se corrobora un efecto residual marcado de la roca fosfórica.

El tratamiento TP, que no recibió aportes externos de fósforo, fue quien obtuvo el segundo valor más alto en biomasa total, dejando muy por debajo de sus promedios al resto de tratamientos que sí contaron con aplicaciones externas de fósforo. Esto podría deberse a que hubo presencia de fósforo, en pequeñas cantidades, en el sustrato y como la quinua es un cultivo rústico bien pudo desarrollarse bajo estas condiciones. Además, las semillas tienen en su composición a los fitatos, fuente insoluble de fósforo, que al momento de la germinación y por acción de las fitasas hacen disponible ese fósforo para asegurar el desarrollo de la futura planta, todo ello aunado al aporte de N y K pudo favorecer el desarrollo de las plantas de este tratamiento. En la Figura 24 se observa la comparación del desarrollo alcanzado por los tratamientos RF y TP a los 42 dds.



Figura 24: Comparación del desarrollo alcanzado por las quinuas en los tratamientos RF y TP

4.5 Extracción de nitrógeno y fósforo

4.5.1 Papa

- La mayor extracción de N se dio en las plantas de los tratamientos FMA, MZ, ST y FDA con valores de 604; 596; 573 y 540 mg/maceta, no mostrando diferencias significativas entre ellos, seguidos de los tratamientos TP, RF y AG con valores de 456, 450 y 433 mg/maceta. Ver Tabla 16 y Figura 25. Para mayor detalle (ver Anexo 13).

Tabla 16: Comparación de las medias de las extracciones de nitrógeno de los tratamientos, mediante la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$ en el cultivo de papa

Trat.	Extracc. N (mg/maceta)	Índice (%)
ST	573 a	126
FDA	540 ab	118
FMA	604 a	132
MZ	596 a	131
AG	433 b	95
RF	450 b	99
TP	456 b	100

Nota: Promedios que en la columna comparten una misma letra, no tienen diferencias significativas.

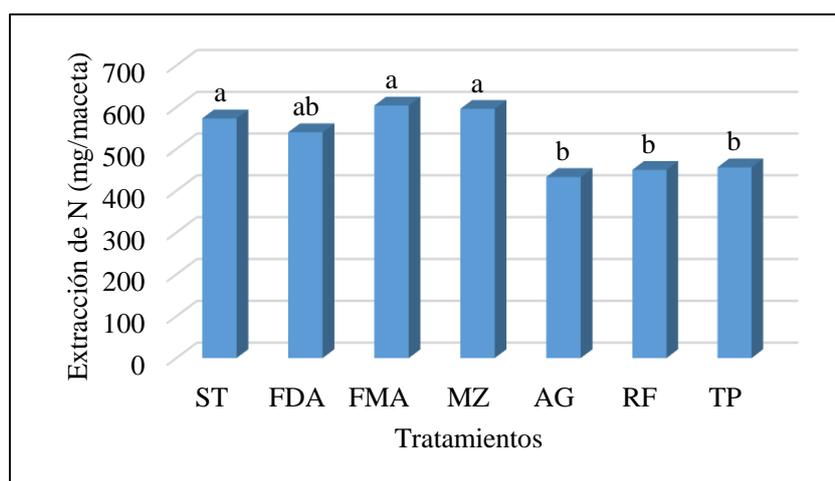


Figura 25: Comparación de las medias de las extracciones de nitrógeno en el cultivo de la papa

Las extracciones de N alcanzadas por los cuatro primeros tratamientos contribuyeron también al mayor desarrollo vegetativo obtenido por las plantas de papa de estos tratamientos.

La extracción de un nutriente se obtiene con los valores de materia seca y concentración del nutriente (%). Los datos de las concentraciones de N en la parte aérea de las plantas de papa (ver Anexo 12), están dentro del intervalo de 3.0 a 5.0 por ciento de N, intervalo reportado como las concentraciones de N comúnmente encontrados para plantas de papa en el Plant Analysis Handbook de la Universidad de Georgia, se podría asumir que no hubo deficiencia de este nutriente para el cultivo de la papa.

- Las plantas que presentaron una mayor extracción de P corresponden a los tratamientos FMA y FDA con 112 y 105 mg/maceta, los cuales no presentaron diferencias estadísticas entre ellos, estos fueron seguidos por los tratamientos MZ y ST con 96 y 66 mg/maceta respectivamente. Luego tenemos al grupo de RF, AG y TP que no mostraron diferencias estadísticas entre ellos, cuyos valores fueron 30, 23 y 23 mg/maceta. Ver Tabla 17 y Figura 26.

Tabla 17: Comparación de las medias de las extracciones de fósforo de los tratamientos, mediante la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$ en el cultivo de papa

Trat.	Extracc. P (mg/maceta)	Índice (%)
ST	66 c	287
FDA	105 ab	457
FMA	112 a	487
MZ	96 b	417
AG	23 d	100
RF	30 d	130
TP	23 d	100

Nota: Promedios que en la columna compartan una misma letra, no tienen diferencias significativas.

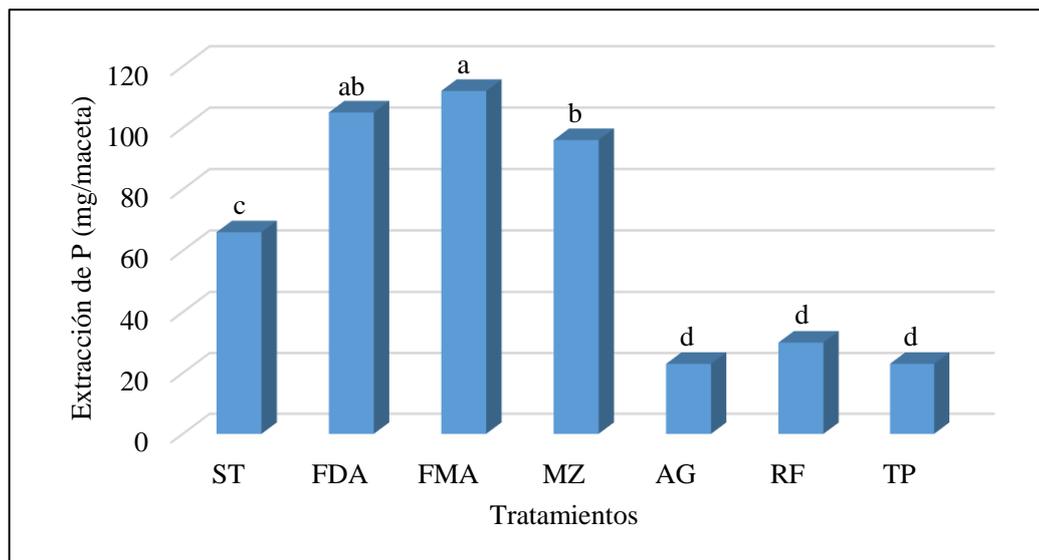


Figura 26: Comparación de las medias de las extracciones de fósforo en el cultivo de la papa

Miller (1965), citado por Thompson (1988) menciona que una pequeña cantidad de nitrógeno incluida en el fertilizante de fósforo aumenta su efectividad e incrementa la absorción del fósforo por la planta, hay un efecto combinado. En los resultados obtenidos en este trabajo de investigación se observa que las plantas absorbieron una mayor cantidad de fósforo de aquellos fertilizantes que contenían N en su composición como FDA, FMA y MZ.

La planta absorbe al fósforo en todo su desarrollo vegetativo y luego lo trasloca a sus órganos de reproducción y de reserva, esto se aprecia en los resultados de extracción, ya que las mayores extracciones de P se obtuvieron en los tubérculos y en menor cantidad en la parte aérea y en las raíces (Ver Anexo 14 y 15).

Los resultados de las concentraciones de P en la parte aérea de la papa, obtenidos en este trabajo de investigación, se muestran en la Tabla 18. Aquí se aprecia que los mayores valores en concentración de P corresponden a los cuatro tratamientos que obtuvieron el mejor desarrollo vegetativo (FDA, FMA, MZ y ST). En Alvarado et al. (2009) se menciona que para asegurar un adecuado crecimiento se requiere tener en el análisis foliar de papa un porcentaje de P que varíe entre 0.23 y 0.50, confirmando de esta manera lo antes mencionado ya que los cuatro primeros tratamientos, que fueron los que obtuvieron un mejor crecimiento, son los que están dentro de este rango.

Tabla 18: Concentración de P en la parte aérea en el cultivo de papa

Papa		% de P (parte aérea)			
Descripción	Tratam.	I	II	III	Promedio
ST	T1	0.34	0.24	0.38	0.32
FDA	T2	0.67	0.58	0.59	0.61
FMA	T3	0.57	0.56	0.66	0.60
MZ	T4	0.47	0.63	0.52	0.54
AG	T5	0.19	0.22	0.16	0.19
RF	T6	0.17	0.23	0.21	0.20
TP	T7	0.15	0.14	0.17	0.15

La mayoría de las concentraciones de las plantas de los tratamientos están dentro del intervalo de 0.2 a 0.4 por ciento de P, intervalo reportado como las concentraciones de P comúnmente encontradas para plantas de papa, en el Plant Analysis Handbook de la Universidad de Georgia, de acuerdo a estas concentraciones se asume que hubo deficiencia de P en el tratamiento TP.

4.5.2 Quinua

- En cuanto a la extracción de N por las plantas de quinua, los tratamientos que presentaron las mayores extracciones fueron TP y RF, con valores de 401 y 397 mg/maceta respectivamente. Los siguientes fueron AG, FMA, ST, FDA y MZ con 340; 291; 262; 245 y 245 mg/maceta, mostrando algunas diferencias significativas entre ellos. La significancia entre todos los tratamientos, así como los índices respecto al TP se muestran en la Tabla 19 y la Figura 27.

Tabla 19: Comparación de las medias de las extracciones de nitrógeno de los tratamientos, mediante la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$ en el cultivo de quinua

Trat.	Extracc. N (mg/maceta)	Índice (%)
ST	262 cd	65
FDA	245 d	61
FMA	291 c	73
MZ	245 d	61
AG	340 b	85
RF	397 a	99
TP	401 a	100

Nota: Promedios que en la columna comparten una misma letra, no tienen diferencias significativas.

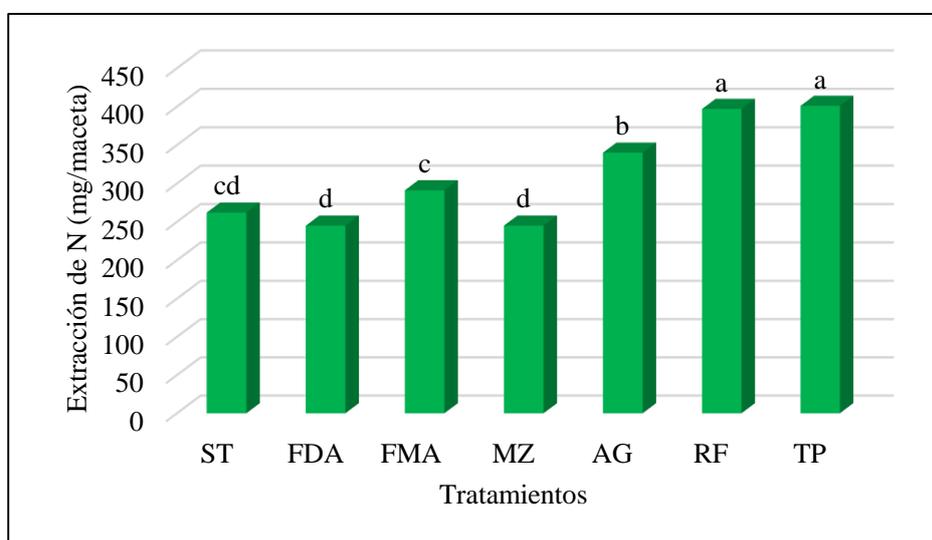


Figura 27: Comparación de las medias de las extracciones de nitrógeno en el cultivo de la quinua

Estos resultados tienen la misma tendencia tanto para las variables altura de planta como para biomasa total en quinua.

En los datos de las concentraciones de N en la parte aérea de las plantas de quinua (ver Anexo 16), se observa que las concentraciones de N de los tratamientos FDA, FMA y MZ están por encima de 3.0 por ciento de N, valor reportado como nivel crítico para muchas plantas según el Plant Analysis Handbook de la Universidad de Georgia. Se estima entonces que hubo cierta deficiencia de N para las plantas de los demás tratamientos, sin embargo, no

se aprecia esto en los resultados de las extracciones de N, así que los bajos valores de concentración podría deberse al efecto dilución originado por la mayor materia seca (biomasa) obtenida por estos mismos tratamientos.

- Los resultados para la variable extracción de P, ver Tabla 20 y Figura 28, muestra que los tratamientos que obtuvieron una mayor extracción para este elemento fueron: FMA; FDA; MZ y ST con 106; 103; 94 y 88 mg/maceta, sin diferencias significativas. Seguidos del tratamiento RF con 75 mg/maceta, quien obtuvo diferencias significativas con los tratamientos AG y TP con valores de 32 y 25 mg/maceta respectivamente.

Tabla 20: Comparación de las medias de las extracciones de fósforo de los tratamientos, mediante la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$ en el cultivo de quinua

Trat.	Extracc. P (mg/maceta)	Índice (%)
ST	88 ab	352
FDA	103 a	412
FMA	106 a	424
MZ	94 ab	376
AG	32 c	128
RF	75 b	300
TP	25 c	100

Nota: Promedios que en la columna compartan una misma letra, no tienen diferencias significativas.

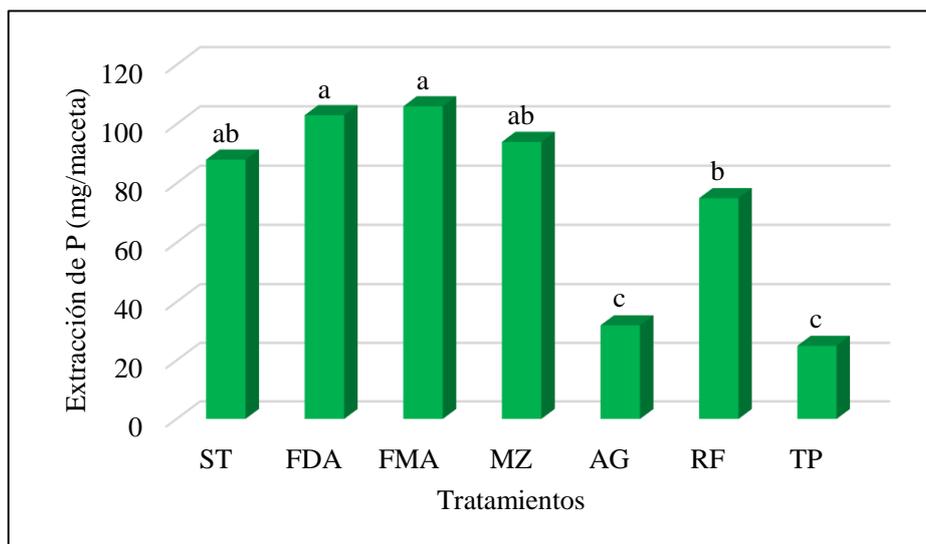


Figura 28: Comparación de las medias de las extracciones de fósforo en el cultivo de la quinua

Los resultados obtenidos de concentración de P, en este trabajo de investigación, a nivel foliar y de raíces se muestra en la Tabla 21. Ver Anexo 18.

Tabla 21: Concentración de P en la parte aérea y raíces del cultivo de la quinua

Quinua		% de P (parte aérea)				% de P (raíces)			
Descripción	Tratam.	I	II	III	Promedio	I	II	III	Promedio
ST	T1	0.97	1.02	0.83	0.94	0.21	0.26	0.25	0.24
FDA	T2	1.43	1.40	1.37	1.40	0.24	0.29	0.31	0.28
FMA	T3	1.14	1.29	1.24	1.22	0.39	0.38	0.30	0.36
MZ	T4	1.46	1.42	1.40	1.43	0.41	0.33	0.44	0.39
AG	T5	0.26	0.32	0.22	0.27	0.15	0.14	0.14	0.14
RF	T6	0.39	0.42	0.43	0.41	0.19	0.19	0.20	0.19
TP	T7	0.17	0.17	0.18	0.17	0.09	0.10	0.05	0.08

Nishikawa (2012), indica que en quinuas de 67 dds el contenido promedio de P en la parte aérea fue de 0.39 por ciento y en las raíces fue de 0.26 por ciento. De los resultados mostrados en la Tabla 21, se tiene que a los 59 dds el por ciento de P en la parte aérea de la quinua, de casi todos los tratamientos, fue mayor al valor encontrado por Nishikawa a excepción de los tratamientos AG y TP, y a nivel de raíces cuatro de los tratamientos (ST, FDA, FMA y MZ) obtuvieron valores similares o superiores a 0.26 por ciento P. Teniendo en cuenta que la

deficiencia de un nutriente se toma en base al análisis foliar y no al análisis de raíces, se podría decir que hubo deficiencia de P en los tratamientos TP y AG.

Lo observado en los datos de las variables en el cultivo de la quinua (altura de planta, biomasa total y extracción de N), mostraba una tendencia similar entre ellos, ya que en esas variables el tratamiento RF fue quien dio los mayores resultados seguido del tratamiento TP, se esperaba entonces que si estos tratamientos obtuvieron los mayores valores fue porque la planta absorbió mayor cantidad de fósforo. Sin embargo, en oposición a lo observado, se tiene que para la extracción de P fueron las fuentes fosfatadas amónicas (FMA y FDA), las que obtuvieron los mayores resultados (ver Anexo 21).

4.6 Tendencia entre la extracción de fósforo y biomasa total

Referente a la tendencia que sigue la extracción de P y la biomasa total en cada uno de los cultivos, se pretende determinar si cuando aumenta la variable extracción de P aumenta también la variable biomasa total y comprobar si tienen la misma tendencia.

4.6.1 Papa

Los valores de extracción de P y biomasa del cultivo de papa, se muestran en la Tabla 22. En la Figura 29 se muestra la gráfica de dispersión de la extracción de P y de la biomasa total, en esta gráfica el coeficiente de determinación (R^2) indica que el 90 % de los cambios en la biomasa son provocados por los cambios en la extracción de P, también se observa que el coeficiente de regresión ($\beta_1=0.1044$), pendiente del ajuste lineal entre la extracción de P y la biomasa, es positivo. Se comprueba entonces que la biomasa aumenta a medida que aumenta la extracción de P, en la Figura 30 se pueden observar mejor las tendencias de las variables.

Tabla 22: Valores de extracción de P y biomasa en papa

	Extrac. de P (mg/maceta)	Biomasa (g/maceta)
ST	66	25.2
FDA	105	28.5
FMA	112	27.7
MZ	96	25.3
AG	23	16.9
RF	30	20.2
TP	23	20.0

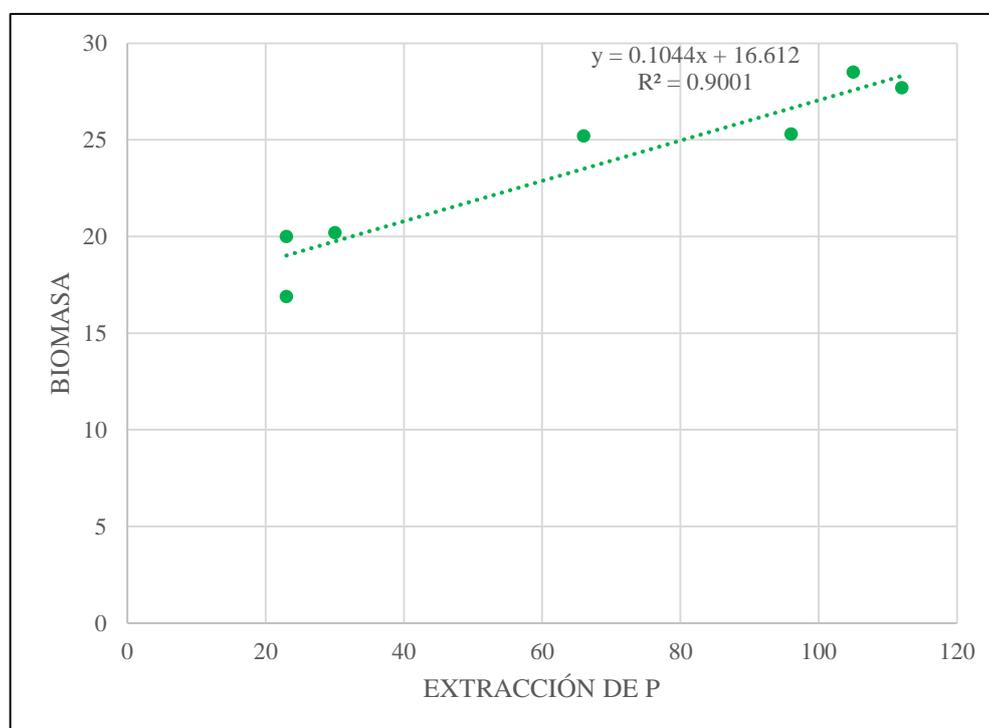


Figura 29: Gráfica de dispersión, regresión entre la extracción de P y la biomasa en el cultivo de papa

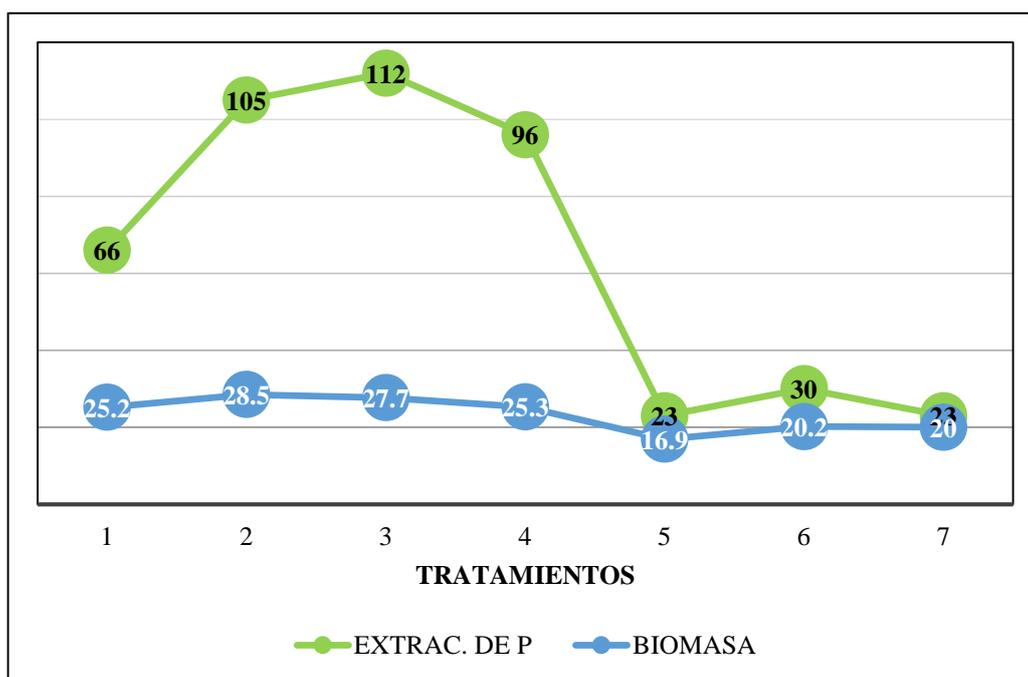


Figura 30: Gráfica de tendencia entre la extracción de P y la biomasa en el cultivo de papa

4.6.2 Quinua

En la Figura 31 se muestra la gráfica de dispersión de la extracción de P y de la biomasa total, en este segundo cultivo se observa que la extracción de P no tiene la misma tendencia que la biomasa total ya que el coeficiente de determinación (R^2) indica que el 30 % de los cambios en la biomasa son provocados por los cambios en la extracción de P y tienen una relación inversa. La Tabla 23 muestra los valores de extracción de P y biomasa del cultivo de quinua.

Tabla 23: Valores de extracción de P y biomasa en quinua

	Extrac. de P (mg/maceta)	Biomasa (g/maceta)
ST	88	10.6
FDA	103	8.6
FMA	106	9.9
MZ	94	7.3
AG	32	13.2
RF	75	20.7
TP	25	16.0

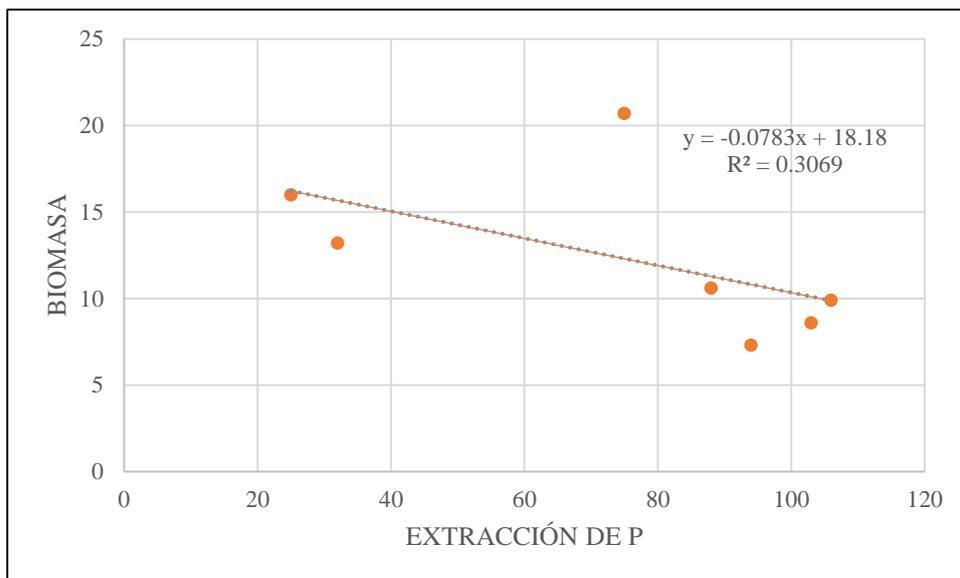


Figura 31: Gráfica de dispersión, regresión entre la extracción de P y la biomasa en el cultivo de quinua

En la Figura 32 se muestran las tendencias de las variables, se observa que, a una mayor extracción de P, no le corresponde necesariamente una mayor biomasa.

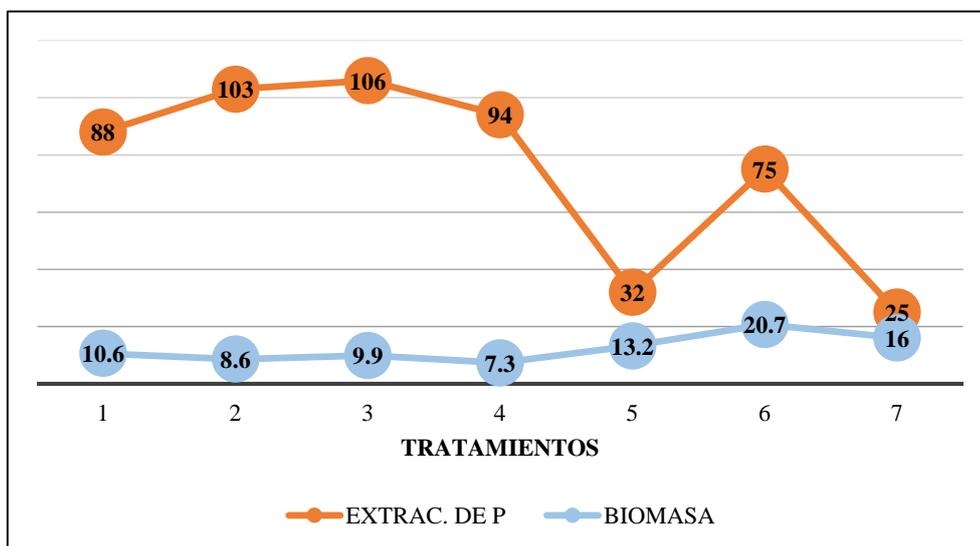


Figura 32: Gráfica de tendencia entre la extracción de P y la biomasa en el cultivo de quinua

4.7 Efecto residual de las fuentes de P

Por otro lado, sí se comprobó el efecto residual de todas las fuentes de fósforo en este segundo cultivo (quinua), ello se aprecia en la Tabla 24 y Figura 33, donde se evidencia que sin haber tenido aportaciones de fósforo las plantas de quinua tuvieron una apreciable extracción de P, incluso hubo un efecto residual del tratamiento RF a pesar de las condiciones no favorables (pH alto y la no presencia de materia orgánica).

Tabla 24: Valores de extracción de P (mg/maceta) en el cultivo de papa y de quinua

	Papa	Quinua
ST	66	88
FDA	105	103
FMA	112	106
MZ	96	94
AG	23	32
RF	30	75
TP	23	25

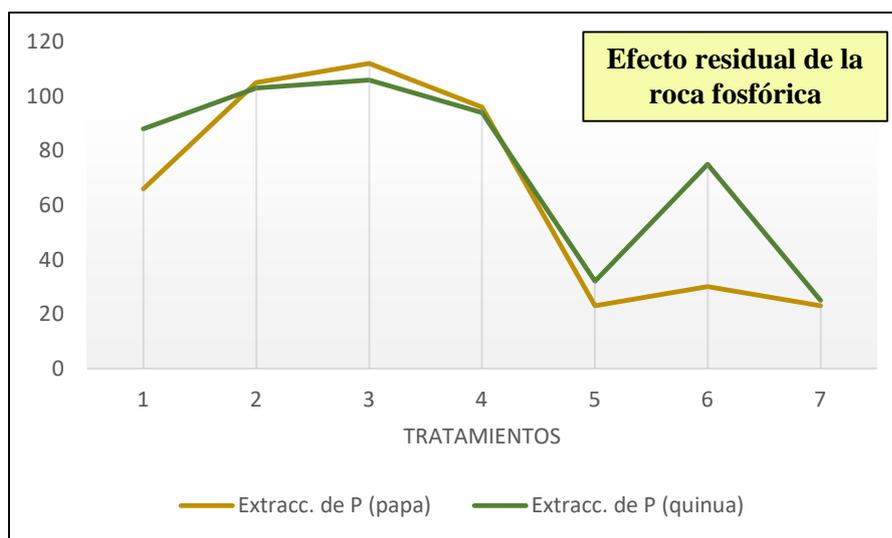


Figura 33: Gráfica de tendencia entre la extracción de P en papa y en quinua en todos los tratamientos

El efecto residual de la RF pudo verse favorecido por la acidez generada por el nitrato de amonio, además en el sustrato sí hubo presencia de M.O., aunque en bajas cantidades, también hubo pequeños restos vegetales dejados por la papa y en la descomposición de la M.O. se liberan H^+ y se generan ácidos orgánicos que pudieron contribuir en solubilizar el P contenido en la RF.

Estos resultados son referenciales, ya que fue un trabajo de investigación en macetería y no en campo. Con todas las fuentes hubo residualidad pero sobre todo con las fuentes FDA, FMA y ST, por lo tanto con estas fuentes se esperaría tener resultados óptimos al manejar estos cultivos en campo.

Tomando en cuenta las zonas que producen papa variedad Canchán y que coinciden con las zonas donde se produce quinua, este tipo de rotaciones se puede recomendar para zonas como Lima, Ica, Junín, Huánuco, Ayacucho, Huancavelica, Arequipa y Apurímac, principalmente.

V. CONCLUSIONES

1. Se concluye que las fuentes más solubles de fósforo (FMA, FDA) permitieron obtener una mayor altura y mayor biomasa total en el cultivo de papa y en el cultivo de quinua la fuente menos soluble (RF), fue quien permitió lograr la mayor altura de planta y la mayor biomasa total, expresándose el efecto residual en este cultivo.
2. Las mayores extracciones de P y N, en papa, fueron obtenidas por los cuatro primeros tratamientos (FMA, FDA, MZ y ST) cuyas concentraciones a nivel foliar estuvieron en un rango de 0.32 a 0.61 por ciento para P y de 3.13 a 4.09 por ciento para N. Para el cultivo de quinua las mayores extracciones de P también correspondieron a los cuatro primeros tratamientos, con concentraciones de P a nivel foliar de 0.94 a 1.43 por ciento, los tratamientos TP y RF obtuvieron las mayores extracciones de N. Se corroboró el efecto residual de todas las fuentes de fósforo en el segundo cultivo.
3. En el cultivo de papa se comprobó que a mayor extracción de P se obtuvo una mayor producción de biomasa, sí mostraron la misma tendencia, para el cultivo de la quinua la extracción de P no tuvo la misma tendencia que la producción de biomasa.

VI. RECOMENDACIONES

- En trabajos futuros se sugiere dejar que la quinua complete su desarrollo fenológico, de esa manera la comparación de la altura final y contenido de macronutrientes en la materia seca se podrá comparar con los datos encontrados en otros trabajos de investigación.
- Se recomienda realizar un análisis de suelo de cada tratamiento al término de la fase experimental.
- Replicar el ensayo en condiciones de campo.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, G. (1999). Evaluación de fuentes de fósforo en el rendimiento del cultivo de papa, con énfasis en roca fosfatada y fuentes orgánicas. *Anales Científicos*, 38: 223–232.
- Aguirre, G. (2007). Fertilización del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en una zona altoandina del Cusco (Chincho, 3800 msnm). (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Alvarado, A., Iturriaga, I., Smyth, J. T., Ureña, J. M., & Portuguese, E. (2009). Efecto de la fertilización con fósforo sobre el rendimiento y la absorción de nutrientes de la papa en un andisol de Juan Viñas, Costa Rica. *Revista Agronomía Costarricense*, 33(1): 45–61. Recuperada de <http://www.redalyc.org/pdf/436/43612054005.pdf>
- Anahui, J. J. (2014). Cultivo de quinua *In* SEPA (Seminarios de Especialización en Procesos Agrícolas). Arequipa, Perú. 1 Disco compacto.
- Apaza, V., Cáceres, G., Estrada, R., & Pinedo, R. (2013). Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú. Lima, Perú. p. 34–37. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-as890s.pdf>
- Asociación de Exportadores (ADEX), Gerencia de Agroexportaciones. (2015). Boletín Sectorial (en línea). Boletín N° 15-02 - Data a diciembre 2014 en español. (23 p.). Recuperado de <http://www.adexdatatrade.com/Boletines.aspx?g=4&a=2015>
- Benites, P. (2008). Producción de papa en la costa. ¿Una buena alternativa? *Revista Agronegocios*, 2(3): 3–4.
- Bustamante, N.A. (2007). Control químico del tizón tardío de la papa (*Phytophthora infestans* Mont. De Bary) en la variedad Canchán en Huasahuasi, Junín (Tesis para optar Título de Ing. Agrónomo). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

- Calla, J. (2012). Guía técnica “Análisis de suelos y fertilización en el cultivo de quinua orgánica”. Chucuito - Puno, Perú. Agrobanco. Recuperado de <http://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/038-a-quinua.pdf>
- College of Agricultural & Environmental Sciences University of Georgia. (2017a). Plant Analysis Handbook – Commonly Found Nutrient Concentration Ranges. Recuperado de <http://aesl.ces.uga.edu/publications/plant/contable.asp#vege>
- College of Agricultural & Environmental Sciences University of Georgia. (2017b). Plant Analysis Handbook – Nutrient Content of Plants. Recuperado de <http://aesl.ces.uga.edu/publications/plant/Nutrient.asp#N>
- DIACONIA. (2011). Manejo integrado del cultivo de la papa. Humalíes - Huánuco. Recuperado de <http://docplayer.es/10517964-Manejo-integrado-del-cultivo-de-la-papa-huamalties-huanuco.html>
- Egúsqiza, R. (2000). La papa producción, transformación y comercialización. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Egúsqiza, R. (2008). La papa en el Perú presente y futuro. Recuperado de http://www.psi.gob.pe/wp-content/uploads/2016/03/biblioteca_exposiciones_Papa_En_EL_Peru.pdf
- Egúsqiza, R., & Catalán, W. (2011). Guía técnica curso – taller manejo integrado de papa. Cuzco, Perú. Agrobanco. Recuperado de <https://docplayer.es/7524259-Guia-tecnica-curso-taller-manejo-integrado-de-papa.html>
- Fassbender, H.W. (1975). Química de suelos. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Félix, E.I. (2013). Tendencias actuales de los fertilizantes y perspectivas para 2016. Revista Claridades Agropecuarias, 237: 40–48.
- Fuentes, J. L. (2002). Manual práctico de manejo del suelo y de los fertilizantes. Madrid, España : Mundi Prensa, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentacion.
- Giráldez, L.M. (2009). Influencia de la temperatura, precipitación y fotoperíodo en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) var. Canchán y Yungay en los distritos de El Tambo y El Mantaro (Tesis para optar Título de Ing. Agrónomo). Universidad Nacional del Centro del Perú, Junín, Perú.

- Gros, A., & Domínguez, A. (1992). *Abonos. Guía práctica de la fertilización*. (8a ed. rev. y ampl.). Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2015). *El mercado y la producción de quinua en el Perú*. Recuperado de <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/2652/BVE17038730e.pdf;jsessionid=BD19D941066CD9EC868D318FF4E4764A?sequence=1>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), & Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2013). *Resultados Definitivos IV Censo Nacional Agropecuario 2012*. Recuperado de <http://proyectos.inei.gob.pe/web/DocumentosPublicos/ResultadosFinalesIVCENAGRO.pdf>
- Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). (2006). *Quinua INIA 415 Pasankalla. Plegable N° 9*. Estación Experimental Agraria Illpa-Puno. Recuperado de <http://www.granosandinos.com/uploads/2/9/7/8/29785781/f-quinua-inia-415-pasankalla.pdf>
- Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). (2012). *Papa INIA 303-Canchán. Plegable N° 2*.
- International Plant Nutrition Institute (IPNI). (s.f.-a.). *Aumenta el rendimiento de papas con un buen manejo del potasio y el fósforo*. Recuperado de [http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/71D30F4EF12615F906256B8E007A3D9E/\\$file/Aumenta+el+rendimiento++de+papas+con+un+buen+manejo+d+el+potasio+y+el+fósforo.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/71D30F4EF12615F906256B8E007A3D9E/$file/Aumenta+el+rendimiento++de+papas+con+un+buen+manejo+d+el+potasio+y+el+fósforo.pdf)
- International Plant Nutrition Institute (IPNI). (s.f.-b.). *Efectos del fósforo en la fijación del nitrógeno. Informaciones agronómicas N°56*. Recuperado de [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/2B95EE7B43067D3F852579A300744608/\\$FILE/Efecto del Fósforo en la Fijación del Nitrógeno.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/2B95EE7B43067D3F852579A300744608/$FILE/Efecto%20del%20Fósforo%20en%20la%20Fijación%20del%20Nitrógeno.pdf)
- International Plant Nutrition Institute (IPNI). (s.f.-c.). *Fuentes de nutrientes específicos: Fosfato diamónico. N° 17*. Recuperado de [https://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/3D71CA0246B0EA8E85257BBA0059CD97/\\$FILE/NSS-ES-17.pdf](https://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/3D71CA0246B0EA8E85257BBA0059CD97/$FILE/NSS-ES-17.pdf)

- International Plant Nutrition Institute (IPNI). (s.f.-d). Fuentes de nutrientes específicos: Fosfato monoamónico. N° 9. Recuperado de [https://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/5941C29125DA441485257BBA0059B952/\\$FILE/NSS-ES-09.pdf](https://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/5941C29125DA441485257BBA0059B952/$FILE/NSS-ES-09.pdf)
- International Plant Nutrition Institute (IPNI). (s.f.-e). Fuentes de nutrientes específicos: Superfosfato Triple. N°. 14. Recuperado de [https://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/A9E420198D408C1985257BBA0059C636/\\$FILE/NSS-ES-14.pdf](https://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/A9E420198D408C1985257BBA0059C636/$FILE/NSS-ES-14.pdf)
- Jaramillo, R. (2010). Manejo de fertilizantes fosfatados - Simposio Internacional sobre Manejo y Uso de Fertilizantes. Lima, Perú: International Plant Nutrition Institute. Recuperado de [http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/0/095799B3072C911305257ACB006E00A1/\\$FILE/Manejo de fertilizantes fosfatados pdf.pdf](http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/0/095799B3072C911305257ACB006E00A1/$FILE/Manejo de fertilizantes fosfatados pdf.pdf)
- López-Gonzales, A.A., Grases, F., Costa-Bauzá, A., Monroy, N., Vicente Herrero, M.T., & Jaume, M.A. (2009). Fitato y su utilidad en la práctica clínica. *Medicina Balear*, 24(2): 39–46. ISSN 1579-5853. Recuperado de http://ibdigital.uib.es/greenstone/collect/medicinaBalear/archives/Medicina/_Balear_/2009v24n/2p039.dir/Medicina_Balear_2009v24n2p039.pdf
- López, I.D. (s.f.). La química del fósforo y el uso eficiente de fertilizantes. Memoria. I Seminario de fósforo en la agricultura venezolana, Caracas del 25 al 27 de enero de 1989. Sociedad venezolana de la ciencia del suelo. p. 12–24. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (s.f.). Series históricas de producción agrícola - Compendio Estadístico. Recuperado de http://frenteweb.minag.gob.pe/sisca/?mod=consulta_cult
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2013a). PAPA Principales aspectos agroeconómicos. Perú. Recuperado de http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/agroeconomia/2014/papa_2014.pdf
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2013b). Políticas de desarrollo productivo que promueven la cadena de valor agroalimentario de la quinua: Mejorando la competitividad de la oferta peruana. Recuperado de [http://www.sierraexportadora.gob.pe/todoquinua/convencion_quinua/Presentacion MINAGRI \[Modo de compatibilidad\].pdf](http://www.sierraexportadora.gob.pe/todoquinua/convencion_quinua/Presentacion MINAGRI [Modo de compatibilidad].pdf)

- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2014a). Comercio Exterior Agrario. Boletín electrónico. Recuperado de http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/boletines/boletineselectronicos/comercioexterior/exportaciones/2014/exp_agra_enero14.pdf
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2014b). Manual técnico: Manejo y fertilidad de suelos cereales y granos andinos. Lima - Perú.
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), & Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos, (OEEE). (2013). Insumos y Servicios Agropecuarios 2012. p. 10–11. Recuperado de <http://siea.minagri.gob.pe/siea/?q=insumos-y-servicios-agropecuarios>
- Narrea, M. (1998). Evaluación del efecto de fuentes y niveles de fertilización fosfatada en el rendimiento del cultivo de papa (var. Libertena) en Huandoval - Pallasca a 3 800 msnm (Tesis para optar Título de Ing. Agrónomo). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Nishikawa, J. (coord.). (2012). Manual de nutrición y fertilización de la quinua. Recuperado de <http://www.care.org.pe/wp-content/uploads/2015/06/Manual-de-Fertilizacion-de-La-Quinua.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2011). Agronomía y su potencial de adaptabilidad de la quinua. In *La quinua: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial* (p. 21–23). Informe Técnico. Recuperado de http://www.fao.org/fileadmin/templates/aiq2013/res/es/cultivo_quinua_es.pdf
- Orsag, V., León, L., Pacosaca, O., & Castro, E. (2013). Evaluación de la fertilidad de los suelos para la producción sostenible de quinua. *T'inkazos*, (33): 89–112. ISSN 1990-745. Recuperado de <http://www.scielo.org.bo/pdf/rbcst/v16n33/v16n33a06>
- Pérez, J.P. (1987). Dos ensayos sobre el efecto del fósforo y potasio en el crecimiento y calidad de la papa (*S. tuberosum* cv. Tomasa Condemayta) (Tesis para optar Título de Ing. Agrónomo). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Potash & Phosphate Institute (PPI). (1997). Manual Internacional de fertilidad de suelos, versión en español. Item # SP-5070. Referencia # 96207.

- Redagícola. (2014). Arequipa y el boom de la quinua. Recuperado de http://quinua.pe/wp-content/uploads/2015/01/RED_AGRICOLA_QUINUA.pdf
- Salgado, S., & Núñez, R. (2010). Manejo de fertilizantes químicos y orgánicos. México. Mundi-Prensa México. ISBN 978-607-7699-05-7.
- Soto, J., Valdivia, E., Valdivia, R., Cuadros, A., & Bravo, R. (2012). Descripción de sistemas de rotación de cultivos en parcelas de producción de quinua en cuatro zonas (siete distritos) del altiplano peruano. *Journal de Ciencia y Tecnología Agraria*, 2(3) s.p. ISSN 2072-1404. Recuperado de http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2072-14042012000100007&script=sci_arttext
- Taboada, L. (2011). Prácticas agro-culturales de conservación de suelos. Boletín N° 02: Rotación de cultivos. Recuperado de <http://es.scribd.com/doc/74061037/ROTACION-DE-CULTIVOS#scribd>
- Tapia, M.E., Canahua, A., & Ignacio, S. (2014). Razas de quinuas del Perú. ANPE Perú y CONCYTEC. Lima, Perú.
- Tapia, M.E., & Fries, A.M. (2007). Guía de campo de los cultivos andinos. Lima, Perú: FAO y ANPE.
- Thompson, L.M. (1988). Los suelos y su fertilidad. (4a ed.). Barcelona. Reverté.
- Tisdale, S.L., & Nelson, W.L. (1991). Fertilidad de los suelos y fertilizantes. México. Limusa.
- Vilca, R.C. (2013). Evaluación de tres cultivos para su uso como plantas trampa del nemátodo quiste de la papa *Globodera spp.* en invernadero (Tesis para optar Título de Ing. Agrónomo). Universidad Nacional del Altiplano - Puno, Perú.
- Villagarcía, S., & Aguirre, G. (2014). Manual de uso de fertilizantes para las condiciones del Perú. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Wong-González, E. (2010). ¿Después de un análisis de variancia... qué? Ejemplos en ciencia de alimentos. *Agronomía Mesoamericana*, 21(2): 349–356. ISSN: 1021-7444. Recuperado de http://www.mag.go.cr/rev_meso/v21n02_349.pdf

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Superficie cosechada, rendimientos y producción de papa y quinua en el Perú

Tabla 25: Superficie cosechada, rendimientos y producción de papa en el Perú a nivel nacional

Año	Superf. Cosechada	Rendimiento	Producción
	Hectáreas	(kg/ha)	Toneladas
2004	246 771	12 190	3 008 159
2005	264 055	12 458	3 289 699
2006	260 847	12 453	3 248 416
2007	268 160	12 616	3 383 020
2008	278 546	12 914	3 597 091
2009	282 356	13 335	3 765 289
2010	289 873	13 159	3 814 373
2011	296 440	13 738	4 072 455
2012	312 370	14 325	4 474 713
2013	317 044	14 413	4 569 629
2014	318 380	14 778	4 704 987

Fuente: Elaborado con base en (MINAGRI, s.f.), Series históricas de producción agrícola.

Tabla 26: Superficie cosechada, rendimientos y producción de quinua en el Perú a nivel nacional

Año	Superf. Cosechada	Rendimiento	Producción
	Hectáreas	(kg/ha)	Toneladas
2004	27 676	975	26 997
2005	28 632	1 138	32 590
2006	29 949	1 016	30 428
2007	30 381	1 047	31 824
2008	31 163	958	29 867
2009	34 026	1 158	39 397
2010	35 313	1 163	41 079
2011	35 475	1 161	41 182
2012	38 498	1 148	44 213
2013	44 868	1 162	52 130
2014	68 140	1 684	114 725

Fuente: Elaborado con base en (MINAGRI, s.f.), Series históricas de producción agrícola.

Tabla 27: Rendimiento de quinua por departamentos (kg/ha)

Dpto.	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Arequipa	1291	1299	1333	1332	1376	1235	1368	1276	1671	1541	2034	2834	3818	4086
La Libertad	749	653	758	674	746	702	664	933	1011	1049	1080	1264	1670	1875
Junín	1413	1476	1346	1224	1145	1305	1247	1300	1414	1375	1216	1314	1801	1998
Apurímac	841	874	923	867	919	926	870	816	936	1023	1153	1615	1283	1339
Cusco	1068	875	860	974	884	941	1101	785	991	920	963	998	1173	1149
Ancash	1002	1005	1048	1031	1058	1029	1072	1082	1004	1052	1059	1033	1170	1968
Ayacucho	833	836	856	833	854	894	859	979	947	915	740	1150	1058	1341
Puno	827	1121	1086	983	1187	1035	1071	970	1194	1213	1198	1100	981	1121
Cajamarca	742	649	619	855	904	934	899	1037	1024	935	934	935	946	1131
Huancavelica	578	596	582	500	533	531	527	705	874	763	910	929	940	951
Huánuco	871	787	816	786	788	822	838	818	823	814	824	860	918	929
Amazonas	981	952	928	980	975	859	960	937	847	608	686	508	886	1340
Moquegua	985	1076	948	904	900	703	780	698	748	684	724	638	823	1700
Ica										2500	2300	2333	2662	2064
Tacna											1238	1508	1791	2103
Lima													3258	2702
Lambayeque													3094	2576
Pasco														500
Piura														2472
Promedio	870.00	1091.00	1062.00	975.00	1138.24	1015.99	1047.50	958.41	1157.85	1163.28	1160.87	1148.39	1151.24	1680.59

Fuente: IICA, 2015.

Anexo 2: Exportaciones de quinua

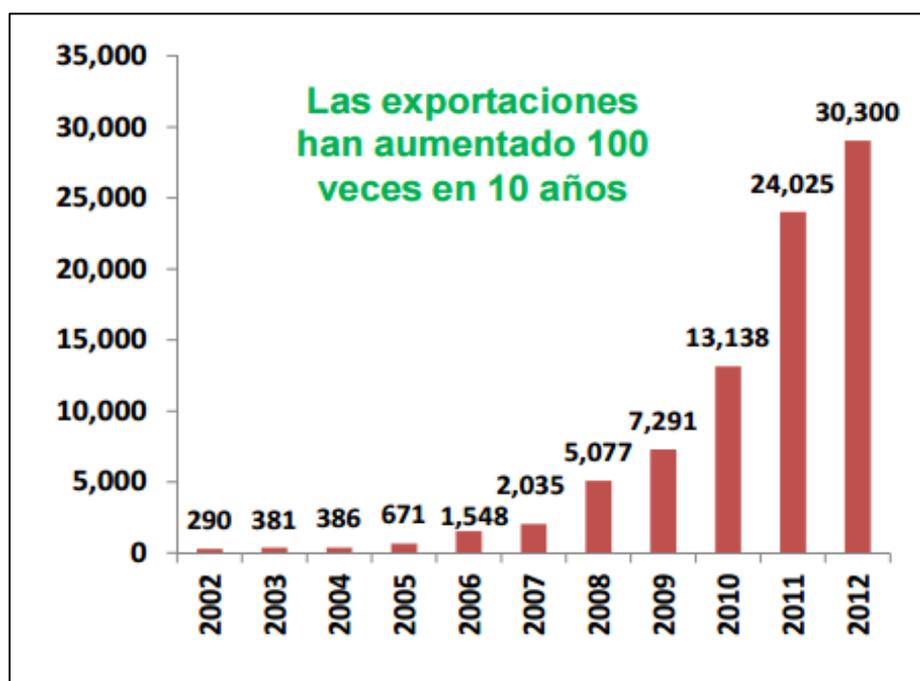


Figura 34: Exportaciones de quinua (Miles US\$ FOB), evolución en 10 años

Fuente: MINAGRI, 2013b

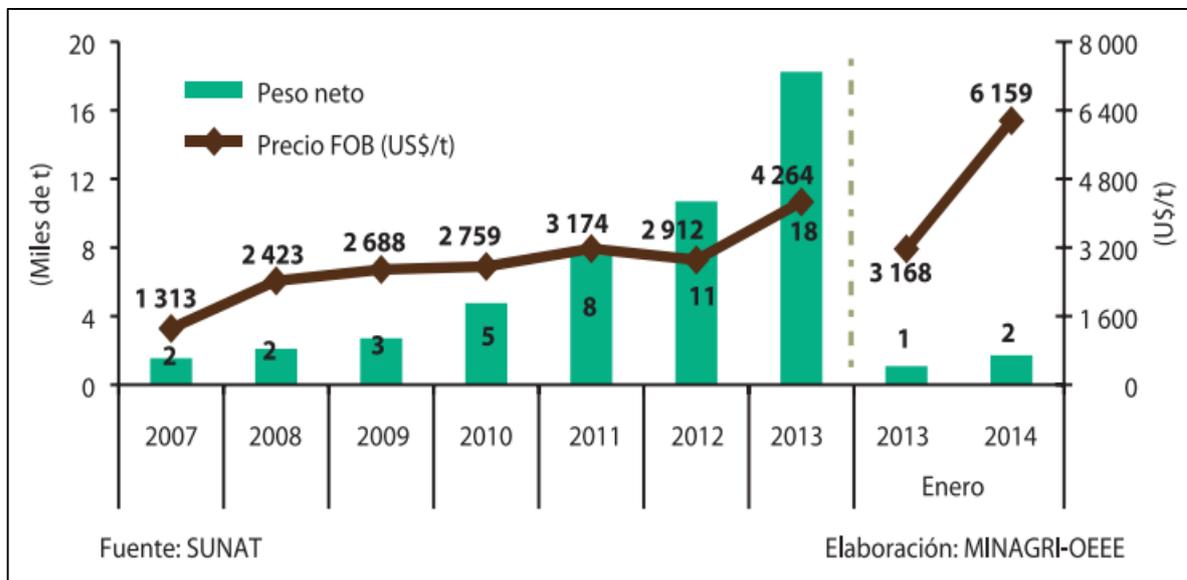


Figura 35: Perú: Exportaciones de quinua, crecimiento ascendente

Fuente: Tomado de MINAGRI, 2014a.

Tabla 28: Ranking de productos enero – diciembre (2014/2013) miles US\$ FOB

PRODUCTOS	Toneladas Métricas			Miles US\$ FOB		
	2013	2014	Var. % 14/13	2013	2014	Var. % 14/13
CAFÉ	238 921	181 260	-24%	699 155	729 732	4%
UVA	177 476	262 858	48%	442 971	636 533	44%
ESPÁRRAGOS	183 759	185 574	1%	614 251	571 547	-7%
PALTA	114 691	179 016	56%	184 286	306 955	67%
CACAO	45 374	63 897	41%	143 010	230 418	61%
QUINUA	18 691	36 266	94%	79 608	196 515	147%
MANGO	157 105	155 335	-1%	180 141	193 480	7%
ALIMENTO PARA ANIMALES	121 955	149 781	23%	108 708	141 338	30%
LECHE	74 714	88 264	18%	109 983	131 152	19%
OTRAS HORTALIZAS	58 433	68 842	18%	104 877	129 543	24%
PLÁTANO	124 123	159 456	28%	88 985	119 232	34%
ALCACHOFA	31 388	34 834	11%	88 811	92 038	4%
MANDARINA	65 943	82 525	25%	65 967	82 368	25%
PÁPRIKA	33 009	26 241	-21%	79 040	73 322	-7%
OTRAS FRUTAS	14 978	21 702	45%	45 714	65 112	42%
OTROS PRODUCTOS	934 275	1 006 501	8%	1 195 124	1 352 518	13%
TOTAL	2 394 836	2 702 352	13%	4 230 630	5 051 805	19%

Fuente: Tomado de ADEX, 2015.

Anexo 3: Volumen de importaciones de fertilizantes

Tabla 29: Volumen de importaciones (t) de principales fertilizantes en el Perú; período 1993-2012

Año	Total	Urea	Nitrato de Amonio	Sulfato de Amonio	Fosfato de Amonio	Super-fosfatos	Cloruro de Potasio	Sulfato de Potasio	Sulfato de Magnesio y Potasio
1993	303 807	210 011	2 625	3 614	20 634	28 436	30 253	6 075	2 159
1994	351 115	211 633	--	11 072	30 151	40 716	52 821	4 071	651
1995	318 565	235 796	--	11 523	44 451	7 017	8 185	8 345	3 248
1996	363 047	221 907	4 224	35 631	51 878	12 645	17 701	13 721	5 340
1997	406 655	223 193	1 602	36 767	74 410	20 427	28 204	12 180	9 872
1998	484 296	278 849	21 031	45 341	67 348	17 056	34 655	14 456	5 560
1999	482 552	296 182	9 913	36 969	78 509	8 395	30 265	14 485	7 834
2000	498 523	350 139	13 190	39 476	53 190	6 225	23 223	8 385	4 696
2001	656 447	326 571	15 547	95 311	122 879	18 719	51 980	17 082	8 359
2002	622 613	374 278	34 591	31 587	104 231	13	50 370	23 644	3 901
2003	666 781	334 212	39 145	67 359	123 857	10 041	46 657	35 349	10 162
2004	694 766	323 422	63 036	63 976	152 166	4 291	49 836	27 976	10 064
2005	663 259	247 866	61 216	108 548	139 581	1 871	62 759	26 739	14 679
2006	710 937	295 339	66 923	63 409	183 737	3 606	46 561	34 749	16 613
2007	898 225	367 786	109 160	93 529	135 929	241	104 738	55 776	31 066
2008	701 484	277 114	117 545	112 679	87 398	1 647	52 743	36 282	16 076
2009	777 249	424 976	22 971	104 207	159 052	5 949	42 940	10 508	6 646
2010	747 890	327 046	32 468	128 070	134 140	--	82 361	23 219	20 587
2011	822 206	382 951	31 037	120 616	129 393	2 014	63 819	47 845	44 531
2012	882 425	400 732	64 114	149 043	162 993	2 304	52 858	36 589	13 793

-- Magnitud cero

Superintendencia Nacional de Administración Tributaria SUNAT

Fuente: Tomado de: MINAGRI 2013.

Anexo 4: Análisis de suelo



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : ING. GUILLERMO AGUIRRE

Departamento : AYACUCHO

Distrito : PULLO

Referencia : H.R. 45718-065C-14

Provincia : PARINACOCCHAS

Predio :

Fecha : 04/07/14

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
11343		7.64	0.15	0.00	0.17	2.9	46	97	3	0	A.	3.20	2.35	0.62	0.12	0.11	0.00	3.20	3.20	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ;
 Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Anexo 5: Datos meteorológicos abril – noviembre

ABRIL - 2014

DIA	Temperatura Prom. (°C)	Humedad Relativa Prom (%)
1	23,2	75
2	21,7	81
3	21,2	82
4	21,8	79
5	22,5	77
6	22,4	79
7	22,5	78
8	22,6	77
9	23,2	73
10	21,8	78
11	22,2	77
12	21,4	78
13	21,3	78
14	20,7	81
15	21,1	78
16	21,7	78
17	22,5	78
18	23,0	74
19	21,6	83
20	21,8	77
21	22,0	79
22	21,4	80
23	21,8	80
24	22,5	78
25	23,0	70
26	19,8	82
27	21,0	80
28	20,3	84
29	18,7	90
30	21,5	78
31		
Pro.	21,7	79

MAY - 2014

DIA	Temperatura Prom. (°C)	Humedad Relativa Prom (%)
1	19,3	90
2	21,7	83
3	22,6	78
4	19,6	88
5	18,5	92
6	18,5	93
7	19,5	87
8	18,7	91
9	19,1	88
10	18,6	89
11	20,5	85
12	23,4	71
13	21,4	81
14	19,4	86
15	18,9	88
16	20,2	82
17	18,9	89
18	20,8	81
19	20,6	81
20	20,4	84
21	19,0	91
22	19,0	89
23	20,0	82
24	19,6	83
25	19,2	85
26	20,3	81
27	20,9	80
28	19,4	88
29	18,8	85
30	18,5	85
31	19,6	82
Pro.	19,8	85

JUNIO - 2014

DIA	Temperatura Prom. (°C)	Humedad Relativa Prom (%)
1	20,5	80
2	20,0	85
3	19,6	85
4	18,7	87
5	19,3	79
6	19,0	82
7	18,2	85
8	17,5	89
9	19,1	89
10	18,3	92
11	18,4	90
12	17,4	93
13	18,2	88
14	19,0	85
15	19,2	86
16	18,2	92
17	18,7	89
18	20,0	85
19	19,5	89
20	20,2	81
21	19,4	82
22	20,2	78
23	19,7	80
24	20,0	77
25	19,0	83
26	19,8	77
27	19,0	80
28	18,7	88
29	17,9	95
30	17,8	90
31		
Pro.	19,0	85

JUL - 2014

DIA	DIA	Temperatura Prom. (°C)	Humedad Relativa Prom (%)
1	1	16,9	91
2	2	17,6	86
3	3	16,4	90
4	4	17,4	82
5	5	17,6	81
6	6	16,4	90
7	7	16,3	90
8	8	16,7	88
9	9	16,1	91
10	10	15,6	92
11	11	16,1	89
12	12	16,2	90
13	13	16,3	90
14	14	16,4	89
15	15	15,1	93
16	16	16,9	86
17	17	16,7	87
18	18	16,3	92
19	19	17,4	89
20	20	17,4	88
21	21	17,5	85
22	22	15,3	93
23	23	15,2	90
24	24	14,8	93
25	25	14,7	94
26	26	14,7	94
27	27	15,2	93
28	28	15,1	95
29	29	15,9	88
30	30	15,9	89
31	31	15,3	91
Pro.	Pro.	16,2	90

Continuación...

AGOSTO - 2014

DIA	Temperatura Prom. (°C)	Humedad Relativa Prom (%)
1	14,4	98
2	16,2	88
3	15,7	89
4	16,7	85
5	17,5	85
6	16,9	87
7	15,0	96
8	15,4	91
9	15,9	94
10	16,1	92
11	16,2	92
12	15,6	93
13	17,0	86
14	15,9	91
15	16,6	86
16	16,1	84
17	15,6	87
18	15,7	90
19	17,0	89
20	16,3	87
21	15,6	88
22	16,7	82
23	15,9	88
24	16,8	85
25	17,2	84
26	16,8	85
27	16,5	86
28	17,5	82
29	17,9	81
30	18,2	79
31	16,1	88
Pro.	16,4	90,0

SET - 2014

DIA	Temperatura Prom. (°C)	Humedad Relativa Prom (%)
1	15,3	94
2	15,4	93
3	17,9	84
4	16,6	88
5	16,3	89
6	14,8	96
7	15,7	93
8	16,2	91
9	15,5	91
10	15,7	92
11	17,1	86
12	20,4	75
13	21,1	74
14	18,7	82
15	16,5	90
16	17,4	88
17	16,0	92
18	15,9	90
19	16,0	93
20	15,5	94
21	16,0	92
22	15,6	92
23	18,5	83
24	16,5	85
25	15,5	93
26	16,2	88
27	16,1	88
28	16,7	86
29	17,6	85
30	17,3	86
31		
Pro.	16,7	88

OCT - 2014

DIA	Temperatura Prom. (°C)	Humedad Relativa Prom (%)
1	17,2	84
2	18,2	81
3	16,9	86
4	16,5	90
5	17,9	84
6	17,2	88
7	16,8	87
8	16,6	89
9	18,3	83
10	17,7	85
11	19,8	77
12	19,1	81
13	18,0	86
14	17,7	89
15	18,6	84
16	18,6	84
17	20,6	75
18	19,2	84
19	18,1	85
20	19,5	78
21	19,2	83
22	18,0	87
23	18,6	82
24	18,3	83
25	17,9	84
26	19,7	74
27	18,9	83
28	20,3	81
29	19,8	81
30	18,4	84
31	16,64	91
Pro.	18,3	87,0

NOV - 2014

DIA	Temperatura Prom. (°C)	Humedad Relativa Prom (%)
1	18,5	85
2	20,0	78
3	19,5	80
4	17,9	84
5	16,9	91
6	19,1	78
7	20,1	81
8	21,1	76
9	21,0	75
10	20,5	78
11	20,1	81
12	21,0	78
13	21,1	78
14	19,3	86
15	20,6	80
16	21,1	78
17	19,8	86
18	19,0	88
19	18,6	92
20	20,0	86
21	18,5	89
22	19,8	79
23	18,5	85
24	18,8	85
25	19,0	84
26	20,4	78
27	20,4	79
28	20,2	82
29	19,5	86
30	19,8	86
31		
Pro.	19,7	82

Anexo 6: Resultados de biomasa (materia seca g/planta) en la parte aérea, raíces y tubérculos en el cultivo de la papa

DESCRIPC.	TRATAM.	PESO SECO PARTE AÉREA				PESO SECO RAÍCES				PESO SECO TUBÉRCULOS				TOTAL PESO SECO			
		I	II	III	PROM	I	II	III	PROM	I	II	III	PROM	I	II	III	PROM. GRAL
ST	T1	5.84	6.64	6.01	6.16	0.63	0.62	0.91	0.72	16.85	21.08	16.99	18.30	23.31	28.34	23.91	25.19
FDA	T2	6.90	6.84	8.56	7.43	0.88	0.75	0.88	0.84	18.58	21.59	20.56	20.24	26.36	29.18	30.00	28.52
FMA	T3	9.39	9.64	7.08	8.70	1.16	1.00	1.22	1.13	19.06	16.14	18.33	17.85	29.62	26.78	26.64	27.68
MZ	T4	6.96	7.22	10.04	8.07	1.10	1.31	2.51	1.64	16.66	14.68	15.45	15.59	24.72	23.21	27.99	25.30
AG	T5	5.66	5.61	5.01	5.43	0.70	0.56	0.83	0.69	13.04	7.63	11.58	10.75	19.40	13.80	17.42	16.87
RF	T6	4.63	4.00	5.24	4.62	0.51	0.48	0.75	0.58	17.40	13.30	14.31	15.00	22.53	17.78	20.29	20.20
TA		0.39	0.30	0.55	0.42	0.26	0.16	0.45	0.29	2.63	2.42	3.52	2.86	3.28	2.88	4.52	3.56
TP	T7	3.78	3.97	5.39	4.38	0.47	0.64	1.02	0.71	18.51	15.19	10.99	14.90	22.75	19.80	17.40	19.98

Leyenda:

- ST: Superfosfato triple de calcio
- FDA: Fosfato diamónico
- FMA: Fosfato monoamónico
- MZ: MicroEssentials SZ®
- AG: Agriphos®
- RF: Roca fosfórica
- TA: Testigo absoluto (O-O-O)
- TP: Testigo parcial (N-O-K)

Anexo 7: Resultados de biomasa (materia seca g/planta) en la parte aérea y raíces en el cultivo de la quinua

DESCRIPC.	TRATAM.	PESO SECO PARTE AÉREA				PESO SECO RAÍCES				TOTAL PESO SECO			
		I	II	III	PROM	I	II	III	PROM	I	II	III	PROM. GRAL.
ST	T1	9.32	8.96	8.42	8.90	1.32	2.01	1.68	1.67	10.64	10.97	10.10	10.57
FDA	T2	7.42	7.35	6.32	7.03	2.27	1.10	1.38	1.58	9.69	8.45	7.70	8.61
FMA	T3	8.99	8.05	7.49	8.18	1.23	2.03	1.79	1.68	10.22	10.08	9.28	9.86
MZ	T4	6.02	6.94	5.88	6.28	0.97	1.30	0.86	1.04	6.99	8.24	6.74	7.32
AG	T5	10.88	10.54	10.86	10.76	2.50	2.10	2.60	2.40	13.38	12.64	13.46	13.16
RF	T6	15.43	16.27	15.69	15.80	5.37	4.27	5.04	4.89	20.80	20.54	20.73	20.69
TA		0.63	0.59	0.74	0.65	0.21	0.16	0.19	0.19	0.84	0.75	0.93	0.84
TP	T7	12.76	12.45	12.44	12.55	4.58	3.29	2.60	3.49	17.34	15.74	15.04	16.04

Leyenda:

- ST: Superfosfato triple de calcio
- FDA: Fosfato diamónico
- FMA: Fosfato monoamónico
- MZ: MicroEssentials SZ®
- AG: Agriphos®
- RF: Roca fosfórica
- TA: Testigo absoluto (O-O-O)
- TP: Testigo parcial (N-O-K)

Anexo 8: Determinación de nitrógeno total

Determinación de nitrógeno total (Figura 36):

Método de micro Kjeldahl

Consiste en tres partes una digestión, una destilación y una titulación.

1. Pesar 0.1 g de materia seca (a) y depositarlo en un balón.
2. Agregar un poco del catalizador (b) en el balón junto con el 0.1 g de materia seca (c).
3. Agregar 3 mL de Ác. sulfúrico concentrado (H_2SO_4) a cada muestra (d).
4. Ingresarlos a la cocina estufa con el extractor prendido y esperar hasta que el contenido haya tomado un color amarillo caramelo, luego de ello dejar enfriar (e). Con ello se realiza la digestión, en donde el N (orgánico) es convertido en N (amónico) en la forma de sulfato amónico, la digestión termina cuando la muestra obtiene un color caramelo.
5. Agregar una pequeña cantidad de agua destilada para dar volumen (f) y para que el jebes del destilador llegue a chocar el líquido del balón.
6. Colocar 20 mL de Ác. bórico al 2 por ciento en los Erlenmeyer, es uno por cada muestra (g).
7. El equipo de destilación contiene cuatro jebes, dos delanteros introducidos a los balones que contienen las muestras, estos jebes tienen que estar en contacto con el líquido del balón para que burbujee rápidamente y los dos jebes traseros de los condensadores de vidrio serán introducidos en los Erlenmeyer con el ácido bórico.
8. Subir todo al soporte universal y destilar, aplicar pequeñas cantidades de soda para neutralizar la acidez, mezclado con el indicador, hacer ello hasta que el líquido de los balones se torne de color fucsia, y recibir el destilado en el Erlenmeyer que contiene ácido bórico, luego esperar a que el ácido bórico se torne de color verde como se muestra en la Figura 37, a partir de ahí tomar el tiempo de 3 minutos aprox. hasta que llegue a 50 mL, retirarlos del soporte. Se realiza la destilación para recuperar el N contenido en los balones y es así que se recupera el N como (Borato de amonio) de color verde.
9. Terminada la destilación, titular el destilado con Ác. sulfúrico (H_2SO_4), el depósito que contiene el H_2SO_4 al 0.02N se enraza a 0 mL y se halla el gasto después de la titulación del contenido de los Erlenmeyer, se tiene que ver un cambio de color: de verde tiene que tornarse a un color fucsia.

Para obtener la concentración del N, el factor de conversión es 0.28, el cual se multiplica por el volumen del gasto y se obtiene el por ciento de N.

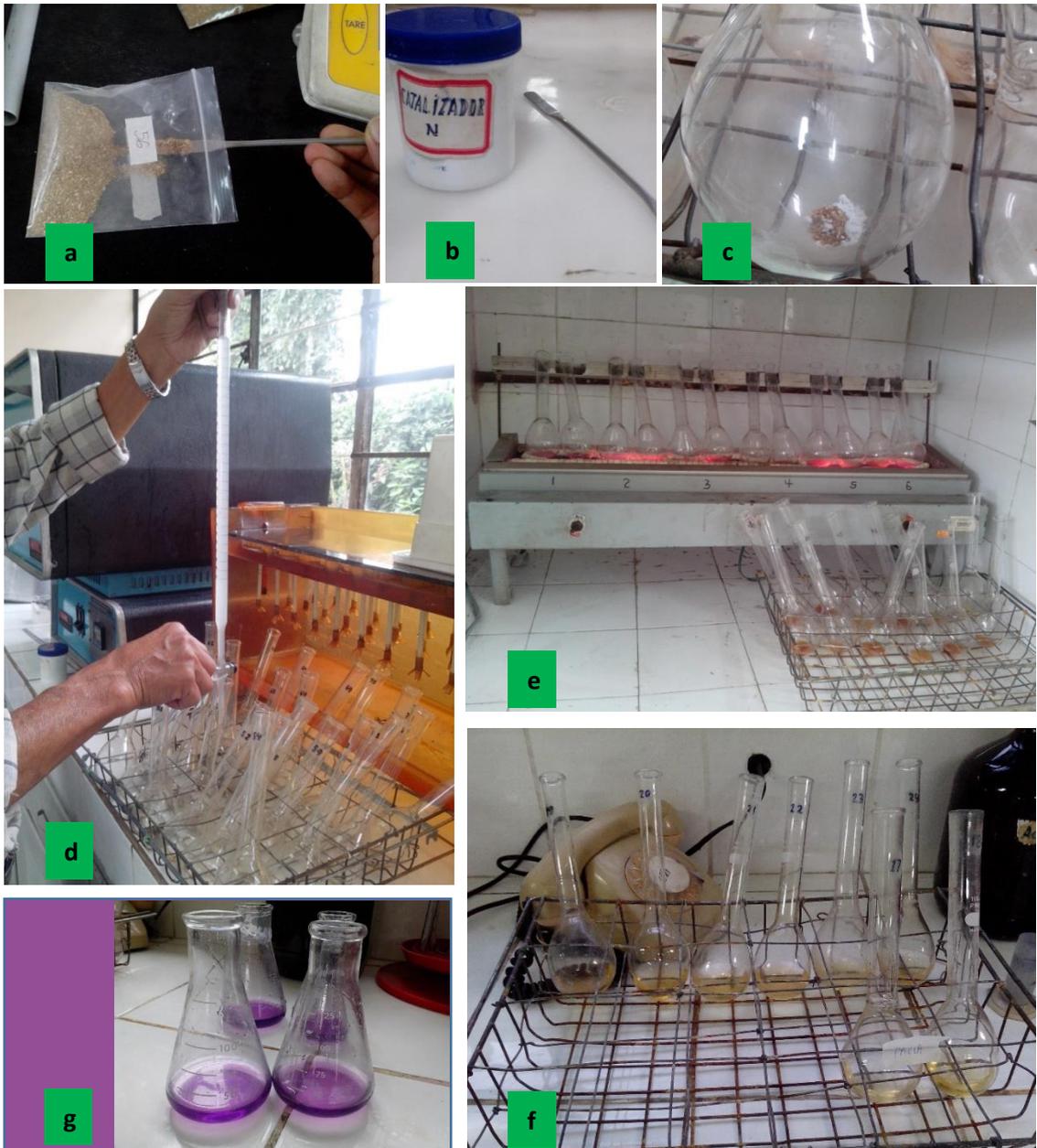


Figura 36: Procedimiento para la determinación del nitrógeno total, digestión antes de la destilación



Figura 37: Destilación de la solución digerida

Anexo 9: Obtención del extracto húmedo para la determinación de fósforo total

Obtención del extracto por vía húmeda para la determinación de fósforo total (Figura 38 y 39):

1. Pesar 1 g de materia seca y vaciar en los Erlenmeyer.
2. Agregar a cada Erlenmeyer 10 mL de solución nitro-perclórica (ácido nítrico y ácido perclórico en relación 5:1).
3. Colocar los Erlenmeyer sobre la plancha de calentamiento, con el extractor prendido y elevar gradualmente la temperatura, dejar en digestión por un lapso de 40 minutos aproximadamente.
4. Una vez que se observa una sustancia blanca de consistencia sólida se deja reposar dentro, por un tiempo corto. Con esto se digiere el carbono de la muestra y al final solo queda la ceniza que adquiere un color blanco lechoso.



Figura 38: Preparación del extracto de las muestras

5. Se remueve el frasco y se adiciona 50 mL de agua destilada (a), para mayor precisión se puede vaciar en una fiola de 50 mL y se enraza (b).
6. Finalmente se filtra el contenido en un frasco de plástico y se guarda hasta hacer uso del extracto húmedo (c).



Figura 39: Dilución y filtrado del extracto de cada muestra

Anexo 10: Preparación de muestra para la lectura de fósforo en el colorímetro

Preparación de muestra para la lectura de fósforo en el colorímetro (Figura 40):

1. Mezclar bien los extractos (a) y extraer 1 mL de alícuota de cada muestra para verterlo en tubos de ensayo, así mismo colocar 1 mL de alícuota de cada solución estándar (b), las concentraciones son de 0, 16, 32, 48, 64 y 80 ppm.
2. Agregar a la mezcla 17.4 mL de agua desionizada (c), libre de fósforo.
3. Agregar 0.8 mL de solución sulfomolibdica (d) e incorporar a los tubos de ensayo.
4. Diluir el reductor en polvo (e) a razón de 2.5 g en 100 mL de agua desionizada, extraer de esa solución reductora 0.8 mL y vaciar en cada tubo de ensayo (f) que contienen a las muestras y a los estándares.
5. Agitar y leer a 650 nm en el colorímetro (g).
6. Anotar los resultados para su evaluación.

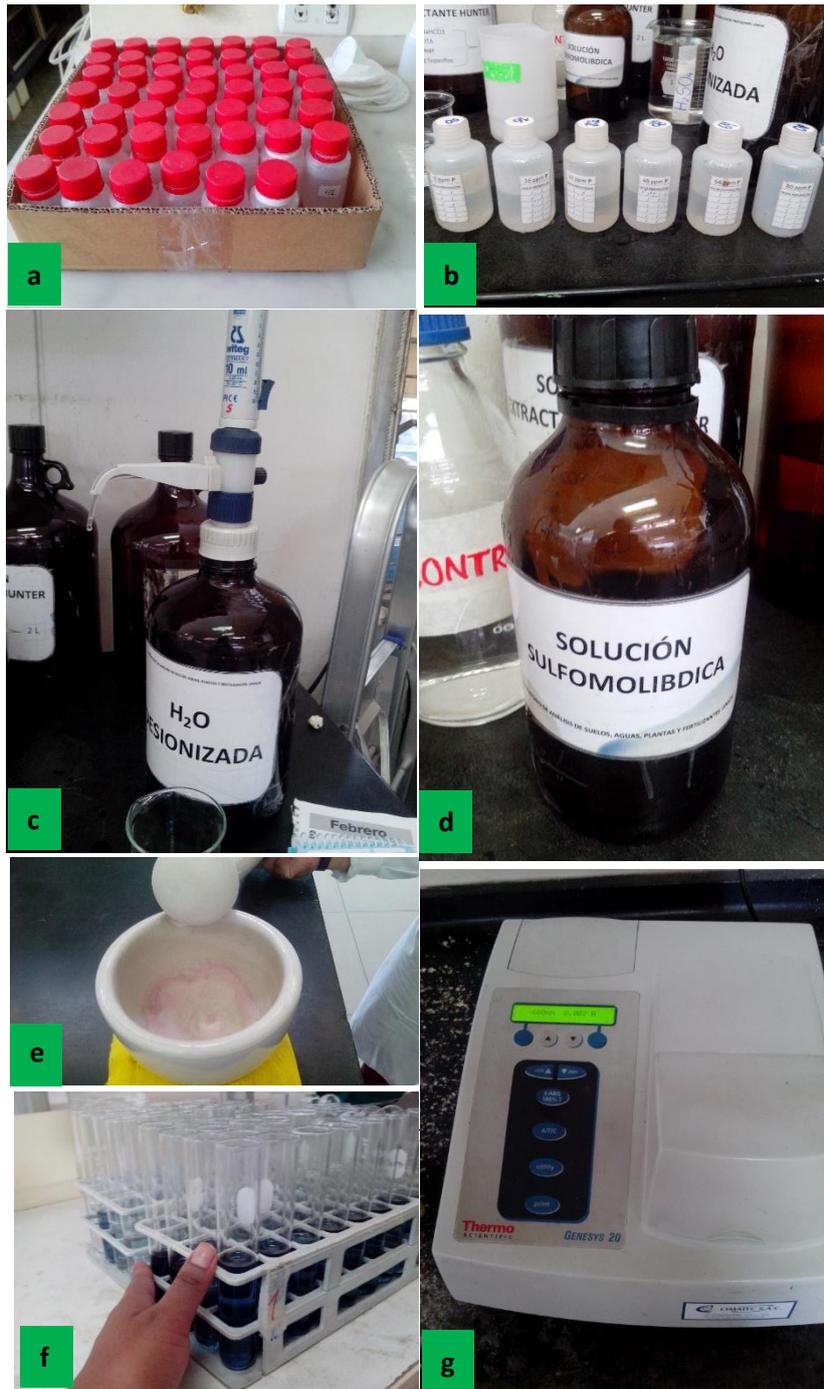


Figura 40: Preparación de muestras

Anexo 11: Análisis de varianza de las diferentes variables en el cultivo de papa y quinua

ALTURA DE LA PLANTA DE PAPA

Fuente de Variación	g.l.	SC	CM	F Value	Pr>F
Tratamiento	6	716.14	119.36	4.93	0.0066
Error	14	339.21	24.23		
Total	20	1055.35			

C.V (%) = 12.63

(el 68 por ciento de la variabilidad de los datos es explicado por el diseño)

R-Square = 0.68

ALTURA DE LA PLANTA DE QUINUA

Fuente de Variación	g.l.	SC	CM	F Value	Pr>F
Tratamiento	6	671.65	111.94	32.92	<.0001
Error	14	47.60	3.40		
Total	20	719.25			

C.V (%) = 3.63

(el 93 por ciento de la variabilidad de los datos es explicado por el diseño)

R-Square = 0.93

BIOMASA DE PAPA

Fuente de Variación	g.l.	SC	CM	F Value	Pr>F
Tratamiento	6	347.41	57.90	9.91	0.0002
Error	14	81.77	5.84		
Total	20	429.17			

C.V (%) = 10.33

(el 81 por ciento de la variabilidad de los datos es explicado por el diseño)

R-Square = 0.81

BIOMASA DE QUINUA

Fuente de Variación	g.l.	SC	CM	F Value	Pr>F
Tratamiento	6	397.26	66.21	124.64	<.0001
Error	14	7.44	0.53		
Total	20	404.70			

C.V (%) = 5.91

(el 98 por ciento de la variabilidad de los datos es explicado por el diseño)

R-Square = 0.98

EXTRACCIÓN DE N EN PAPA

Fuente de Variación	g.l.	SC	CM	F Value	Pr>F
Tratamiento	6	97464.57	16244.10	10.97	<.0001
Error	14	20736.67	1481.19		
Total	20	118201.2			

C.V (%) = 7.38

(el 82 por ciento de la variabilidad de los datos es explicado por el diseño)

R-Square = 0.82

EXTRACCIÓN DE P EN PAPA

Fuente de Variación	g.l.	SC	CM	F Value	Pr>F
Tratamiento	6	28373.98	4729.00	168.85	<.0001
Error	14	392.09	28.01		
Total	20	28766.08			

C.V (%) = 8.12

(el 99 por ciento de la variabilidad de los datos es explicado por el diseño)

R-Square = 0.99

EXTRACCIÓN DE N EN QUINUA

Fuente de Variación	g.l.	SC	CM	F Value	Pr>F
Tratamiento	6	83638.29	13939.71	61.98	<.0001
Error	14	3148.67	224.90		
Total	20	86786.95			

C.V (%) = 4.82

(el 96 por ciento de la variabilidad de los datos es explicado por el diseño)

R-Square = 0.96

EXTRACCIÓN DE P EN QUINUA

Fuente de Variación	g.l.	SC	CM	F Value	Pr>F
Tratamiento	6	19811.62	3301.94	55.26	<.0001
Error	14	836.58	59.76		
Total	20	20648.20			

C.V (%) = 10.38

(el 96 por ciento de la variabilidad de los datos es explicado por el diseño)

R-Square = 0.96

Anexo 12: Concentración de nitrógeno (%) en papa (parte aérea, raíces y tubérculos)

DESCRIPC.	TRATAM.	% DE N (PARTE AÉREA)				% DE N (RAÍCES)				% DE N (TUBÉRCULOS)			
		I	II	III	PROM	I	II	III	PROM	I	II	III	PROM
ST	T1	3.98	4.00	4.30	4.09	1.68	1.54	1.61	1.61	1.79	1.68	1.60	1.69
FDA	T2	3.35	3.14	2.90	3.13	1.51	1.65	1.74	1.63	1.88	1.26	1.29	1.48
FMA	T3	3.05	3.64	3.84	3.51	1.60	1.40	0.92	1.31	1.46	1.57	1.79	1.61
MZ	T4	3.22	3.64	3.11	3.32	0.98	1.43	0.90	1.10	2.13	2.49	1.40	2.01
AG	T5	3.92	4.48	3.78	4.06	1.96	1.68	1.99	1.88	1.68	1.99	1.96	1.88
RF	T6	3.84	4.73	3.81	4.13	2.24	1.90	2.13	2.09	1.74	1.57	1.65	1.65
TA		2.80	2.30	1.79	2.30	0.95	0.95	0.95	0.95	0.56	0.67	0.56	0.60
TP	T7	4.09	5.12	4.26	4.49	2.02	2.13	1.85	2.00	1.46	1.76	1.85	1.69

Leyenda:

- ST: Superfosfato triple de calcio
- FDA: Fosfato diamónico
- FMA: Fosfato monoamónico
- MZ: MicroEssentials SZ®
- AG: Agriphos®
- RF: Roca fosfórica
- TA: Testigo absoluto (O-O-O)
- TP: Testigo parcial (N-O-K)

Anexo 13: Extracción de nitrógeno (mg) en papa (parte aérea, raíces y tubérculos)

DESCRIPC.	TRATAM.	EXTRACCIÓN DE N (PARTE AÉREA)				EXTRACCIÓN DE N (RAÍCES)				EXTRACCIÓN DE N (TUBÉRCULOS)				EXTRACCIÓN TOTAL DE N			
		I	II	III	PROM	I	II	III	PROM	I	II	III	PROM	I	II	III	PROM GRAL
ST	T1	232.00	265.90	258.50	252.13	10.50	9.60	14.60	11.57	302.00	354.10	271.10	309.07	544.50	629.60	544.20	572.77
FDA	T2	230.90	214.60	247.90	231.13	13.40	12.40	15.30	13.70	348.60	272.00	264.90	295.17	592.90	499.00	528.10	540.00
FMA	T3	286.60	350.90	271.70	303.07	18.60	14.00	11.30	14.63	277.50	253.10	328.50	286.37	582.70	618.00	611.50	604.07
MZ	T4	224.20	262.80	311.90	266.30	10.80	18.70	22.40	17.30	354.40	365.80	216.20	312.13	589.40	647.30	550.50	595.73
AG	T5	221.90	251.40	189.50	220.93	13.70	9.30	16.50	13.17	219.10	151.70	226.90	199.23	454.70	412.40	432.90	433.33
RF	T6	177.40	189.50	199.30	188.73	11.30	9.10	16.00	12.13	302.00	208.50	236.30	248.93	490.70	407.10	451.60	449.80
TA		10.90	6.90	9.90	9.23	2.50	1.50	4.30	2.77	14.70	16.30	19.70	16.90	28.10	24.70	33.90	28.90
TP	T7	154.30	203.30	229.50	195.70	9.40	13.70	18.80	13.97	269.50	267.90	203.00	246.80	433.20	484.90	451.30	456.47

Leyenda:

- ST: Superfosfato triple de calcio
- FDA: Fosfato diamónico
- FMA: Fosfato monoamónico
- MZ: MicroEssentials SZ®
- AG: Agriphos®
- RF: Roca fosfórica
- TA: Testigo absoluto (O-O-O)
- TP: Testigo parcial (N-O-K)

Anexo 14: Concentración de fósforo (%) en papa (parte aérea, raíces y tubérculos)

DESCRIPC.	TRATAM.	% DE P (PARTE AÉREA)				% DE P (RAÍCES)				% DE P (TUBÉRCULOS)			
		I	II	III	PROM	I	II	III	PROM	I	II	III	PROM
ST	T1	0.34	0.24	0.38	0.32	0.30	0.17	0.17	0.21	0.26	0.21	0.28	0.25
FDA	T2	0.67	0.58	0.59	0.61	0.46	0.40	0.46	0.44	0.28	0.26	0.29	0.28
FMA	T3	0.57	0.56	0.66	0.60	0.94	0.70	0.94	0.86	0.28	0.28	0.29	0.28
MZ	T4	0.47	0.63	0.52	0.54	0.35	0.66	0.39	0.47	0.32	0.28	0.27	0.29
AG	T5	0.19	0.22	0.16	0.19	0.09	0.08	0.11	0.09	0.10	0.12	0.12	0.11
RF	T6	0.17	0.23	0.21	0.20	0.16	0.20	0.14	0.17	0.15	0.13	0.12	0.13
TA		0.22	0.22	0.23	0.22	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.15	0.16
TP	T7	0.15	0.14	0.17	0.15	0.12	0.07	0.08	0.09	0.10	0.10	0.13	0.11

Leyenda:

- ST: Superfosfato triple de calcio
- FDA: Fosfato diamónico
- FMA: Fosfato monoamónico
- MZ: MicroEssentials SZ®
- AG: Agriphos®
- RF: Roca fosfórica
- TA: Testigo absoluto (O-O-O)
- TP: Testigo parcial (N-O-K)

Anexo 15: Extracción de fósforo (mg) en papa (parte aérea, raíces y tubérculos)

DESCRIPC.	TRATAM.	EXTRACCIÓN DE P (PARTE AÉREA)				EXTRACCIÓN DE P (RAÍCES)				EXTRACCIÓN DE P (TUBÉRCULOS)				EXTRACCIÓN TOTAL DE P			
		I	II	III	PROM	I	II	III	PROM	I	II	III	PROM	I	II	III	PROM GRAL
ST	T1	19.84	15.94	22.85	19.54	1.88	1.06	1.54	1.49	43.81	44.26	47.56	45.21	65.53	61.26	71.95	66.25
FDA	T2	46.24	39.70	50.47	45.47	4.06	2.99	4.06	3.70	52.02	56.13	59.63	55.93	102.32	98.82	114.16	105.10
FMA	T3	53.53	53.98	46.74	51.42	10.94	6.99	11.50	9.81	53.37	45.20	53.17	50.58	117.84	106.17	111.41	111.81
MZ	T4	32.73	45.48	52.18	43.46	3.84	8.64	9.77	7.42	53.30	41.10	41.70	45.37	89.87	95.22	103.65	96.25
AG	T5	10.76	12.35	8.02	10.38	0.63	0.44	0.91	0.66	13.04	9.16	13.89	12.03	24.43	21.95	22.82	23.07
RF	T6	7.86	9.21	10.99	9.35	0.81	0.96	1.06	0.94	26.09	17.29	17.17	20.18	34.76	27.46	29.22	30.48
TA		0.86	0.66	1.27	0.93	0.42	0.25	0.72	0.46	4.20	3.88	5.28	4.45	5.48	4.79	7.27	5.85
TP	T7	5.66	5.55	9.17	6.79	0.56	0.45	0.81	0.61	18.51	15.19	14.28	15.99	24.73	21.19	24.26	23.39

Leyenda:

- ST: Superfosfato triple de calcio
- FDA: Fosfato diamónico
- FMA: Fosfato monoamónico
- MZ: MicroEssentials SZ®
- AG: Agriphos®
- RF: Roca fosfórica
- TA: Testigo absoluto (O-O-O)
- TP: Testigo parcial (N-O-K)

Anexo 16: Concentración de nitrógeno (%) en quinua (parte aérea y raíces)

DESCRIPC.	TRATAM.	% DE N (PARTE AÉREA)				% DE N (RAÍCES)			
		I	II	III	PROM	I	II	III	PROM
ST	T1	2.66	2.86	2.86	2.79	0.90	0.81	0.73	0.81
FDA	T2	3.00	3.36	3.50	3.29	0.78	0.87	1.32	0.99
FMA	T3	3.08	3.36	3.53	3.32	1.09	1.20	1.26	1.18
MZ	T4	3.64	3.53	3.95	3.71	1.34	1.06	1.29	1.23
AG	T5	3.08	2.94	2.74	2.92	1.40	1.01	0.81	1.07
RF	T6	2.07	2.21	2.35	2.21	1.20	0.84	0.84	0.96
TA		1.40	1.20	1.46	1.35	0.92	0.92	0.92	0.92
TP	T7	2.74	3.05	2.91	2.90	0.81	1.20	1.26	1.09

Leyenda:

- ST: Superfosfato triple de calcio
- FDA: Fosfato diamónico
- FMA: Fosfato monoamónico
- MZ: MicroEssentials SZ®
- AG: Agriphos®
- RF: Roca fosfórica
- TA: Testigo absoluto (O-O-O)
- TP: Testigo parcial (N-O-K)

Anexo 17: Extracción de nitrógeno (mg) en quinua (parte aérea y raíces)

DESCRIPC.	TRATAM.	EXTRACCIÓN DE N (PARTE AÉREA)				EXTRACCIÓN DE N (RAÍCES)				EXTRACCIÓN TOTAL DE N			
		I	II	III	PROM	I	II	III	PROM	I	II	III	PROM. GRAL
ST	T1	247.99	255.81	240.36	248.05	11.81	16.28	12.22	13.44	259.80	272.09	252.58	261.49
FDA	T2	222.39	246.79	220.99	230.06	17.77	9.58	18.15	15.17	240.16	256.37	239.14	245.22
FMA	T3	276.83	270.38	264.21	270.47	13.43	24.43	22.53	20.13	290.26	294.81	286.74	290.60
MZ	T4	219.20	244.81	232.26	232.09	13.06	13.80	11.10	12.65	232.26	258.61	243.36	244.74
AG	T5	334.98	309.88	298.05	314.30	34.93	21.13	21.09	25.72	369.91	331.01	319.14	340.02
RF	T6	319.67	359.87	369.03	349.52	64.59	35.93	42.34	47.62	384.26	395.80	411.37	397.14
TA		8.82	7.10	10.70	8.87	1.93	1.46	1.71	1.70	10.75	8.56	12.41	10.57
TP	T7	350.24	379.94	362.19	364.12	37.10	39.59	32.70	36.46	387.34	419.53	394.89	400.59

Leyenda:

- ST: Superfosfato triple de calcio
- FDA: Fosfato diamónico
- FMA: Fosfato monoamónico
- MZ: MicroEssentials SZ®
- AG: Agriphos®
- RF: Roca fosfórica
- TA: Testigo absoluto (O-O-O)
- TP: Testigo parcial (N-O-K)

Anexo 18: Concentración de fósforo (%) en quinua (parte aérea y raíces)

DESCRIPC.	TRATAM.	% DE P (PARTE AÉREA)				% DE P (RAÍCES)			
		I	II	III	PROM	I	II	III	PROM
ST	T1	0.97	1.02	0.83	0.94	0.21	0.26	0.25	0.24
FDA	T2	1.43	1.40	1.37	1.40	0.24	0.29	0.31	0.28
FMA	T3	1.14	1.29	1.24	1.22	0.39	0.38	0.30	0.36
MZ	T4	1.46	1.42	1.40	1.43	0.41	0.33	0.44	0.39
AG	T5	0.26	0.32	0.22	0.27	0.15	0.14	0.14	0.14
RF	T6	0.39	0.42	0.43	0.41	0.19	0.19	0.20	0.19
TA		0.38	0.39	0.39	0.39	0.17	0.17	0.17	0.17
TP	T7	0.17	0.17	0.18	0.17	0.09	0.10	0.05	0.08

Leyenda:

- ST: Superfosfato triple de calcio
- FDA: Fosfato diamónico
- FMA: Fosfato monoamónico
- MZ: MicroEssentials SZ®
- AG: Agriphos®
- RF: Roca fosfórica
- TA: Testigo absoluto (O-O-O)
- TP: Testigo parcial (N-O-K)

Anexo 19: Extracción de fósforo en plantas de quinua (parte aérea y raíces)

DESCRIPC.	TRATAM.	EXTRACCIÓN DE P PARTE AÉREA				EXTRACCIÓN DE P RAÍCES				EXTRACCIÓN TOTAL DE P			
		I	II	III	PROM	I	II	III	PROM	I	II	III	PROM. GRAL.
ST	T1	90.43	91.36	69.85	83.88	2.77	5.21	4.20	4.06	93.20	96.57	74.05	87.94
FDA	T2	106.15	102.83	86.50	98.49	5.44	3.20	4.27	4.30	111.59	106.03	90.77	102.80
FMA	T3	102.46	103.81	92.86	99.71	4.80	7.71	5.36	5.96	107.26	111.52	98.22	105.67
MZ	T4	87.92	98.53	82.36	89.60	3.99	4.28	3.79	4.02	91.91	102.81	86.15	93.62
AG	T5	28.28	33.73	23.90	28.64	3.74	2.93	3.64	3.44	32.02	36.66	27.54	32.07
RF	T6	60.17	68.33	67.47	65.32	10.19	8.13	10.08	9.47	70.36	76.46	77.55	74.79
TA		2.39	2.30	2.87	2.52	0.36	0.27	0.31	0.31	2.75	2.57	3.18	2.83
TP	T7	21.70	21.16	22.39	21.75	4.12	3.29	1.30	2.90	25.82	24.45	23.69	24.65

Leyenda:

- ST: Superfosfato triple de calcio
- FDA: Fosfato diamónico
- FMA: Fosfato monoamónico
- MZ: MicroEssentials SZ®
- AG: Agriphos®
- RF: Roca fosfórica
- TA: Testigo absoluto (O-O-O)
- TP: Testigo parcial (N-O-K)

Anexo 20: Aplicaciones de fertilizantes en el cultivo de papa y quinua

Trat.	Fte. de P	400 ppm P ₂ O ₅	Ley P	mg/mac	Ley N	N a la siembra	ppm N a la siembra	Falta aplicar ppm N	(mg NAm/mac)		(mg ClK/mac)		(mg NAm/mac)
									1ra Aplicación (50 ppm N)	2da Aplicación (100 ppm N)	1ra Aplicación (50 ppm K ₂ O)	2da Aplicación (50 ppm K ₂ O)	Aplicación (50 ppm N)
1	ST	1600	46	3478	0			150	606	1212	333	333	606
2	FDA	1600	46	3478	18	626	157				333	333	606
3	FMA	1600	52	3077	11	338	85	65		788	333	333	606
4	MZ	1600	40	4000	12	480	120	30		364	333	333	606
5	AG	1600	21	7619	0			150	606	1212	333	333	606
6	RF	1600	30	5333	0			150	606	1212	333	333	606
	TA (0-0-0)												
7	TP (N-0-K)							150	606	1212	333	333	606
PAPA													
Número de dosis de 100 mL para las 3 repeticiones									12 x 606	12 x 1212	21 x 333	21 x 333	
										3 x 788			
										3 x 364			
QUINUA													

Fórmula: 150 N - 400 P₂O₅ - 100 K₂O

Nitrato de amonio: 33% N

Cloruro de potasio: 60 % K₂O

Anexo 21: Tendencia de altura, biomasa, extracción de N y P en quinua

Tabla 30: Valores de altura, biomasa, extracción de N y P

	Altura (cm)	Biomasa (g)	Extrac. N (mg/maceta)	Extrac. P (mg/maceta)
ST	52.5	10.6	262	88
FDA	49.8	8.6	245	103
FMA	49.1	9.9	291	106
MZ	40.2	7.3	245	94
AG	52.6	13.2	340	32
RF	60.8	20.7	397	75
TP	50.9	16.0	401	25

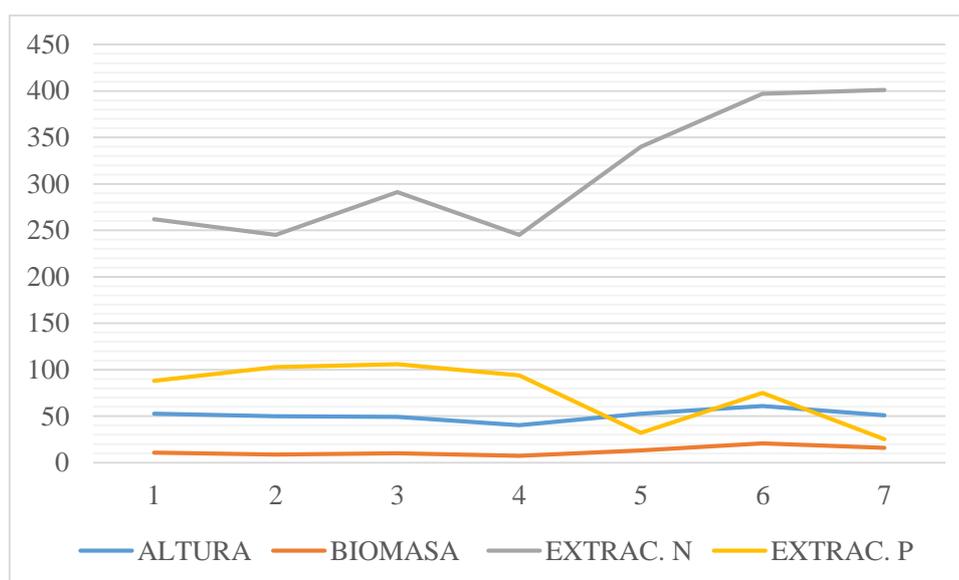


Figura 41: Gráfica de tendencia entre la altura, biomasa, extracción de N y P en todos los tratamientos en quinua