

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE AGRONOMIA**



**“EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN EN EL RENDIMIENTO Y  
CARACTERISTICAS BIOMETRICAS DEL CULTIVO DE  
PAPA VARIEDAD HUAYRO EN LA COMUNIDAD DE  
ARAMACHAY (VALLE DEL MANTARO)”**

**Tesis para optar el título de  
INGENIERO AGRONOMO**

**CARLOS ROBERT CAMPOS BLANCO**

**Lima-Perú**

**2014**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA**

**“EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN EN EL RENDIMIENTO Y  
CARACTERÍSTICAS BIOMETRICAS DEL CULTIVO DE  
PAPA VARIEDAD HUAYRO EN LA COMUNIDAD DE  
ARAMACHAY (VALLE DEL MANTARO)”**

**Presentado por:**

**CARLOS ROBERT CAMPOS BLANCO**

**Tesis para optar el Título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**Sustentada y Aprobada ante el siguiente Jurado:**

.....  
**Ing. Mg. Sc. Julián Chura Chuquija**  
**PRESIDENTE**

.....  
**Dr. Sady García Bendezú**  
**PATROCINADOR**

.....  
**Ing. Mg. Sc. Rolando Egúsqüiza Bayona**  
**MIEMBRO**

.....  
**Dr. Oscar Loli Figueroa**  
**MIEMBRO**

**Lima – Perú**

**2014**

F04.  
C198  
T

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
INDICE GENERAL	IV
INDICE DE TABLAS	VII
INDICE DE FIGURAS	IX
INDICE DE ANEXOS	XI
RESUMEN	1
SUMMARY	3
1. Introducción	5
2. Revisión bibliográfica	7
2.1. El cultivo de la papa	7
2.1.1. Descripción taxonómica de la papa	7
2.1.2. Situación actual de la papa en el Perú	8
2.1.3. Ecología del cultivo de la papa	10
2.1.4. El cultivar 'Huayro'	10
2.2. Fertilización y nutrición en el cultivo de la papa	11
2.2.1. Los nutrientes en el cultivo de la papa	12
2.2.2. Importancia de la fertilización química en el cultivo de la papa	13
2.2.3. Importancia de la materia orgánica en el cultivo de la papa	15
3. Materiales y métodos	19
3.1. Características del campo experimental	19
3.1.1. Ubicación	19
3.1.2. Historial de campo	19
3.1.3. Suelo	19
3.1.4. Variables climáticas durante el experimento	21
3.2. Material vegetal	23
3.3. Fuentes orgánicas ensayadas	24
3.3.1. Preparación del estiércol fermentado	24
3.3.2. Preparación del compost de paja y estiércol	24

3.4. Fertilización química ensayada	25
3.5. Definición de los tratamientos	26
3.6. Materiales e insumos	27
3.6.1. Materiales e insumos usados en campos	27
3.6.2. Materiales e insumos usados en laboratorio	27
3.7. Área de la parcela experimental	28
3.8. Manejo Agronómico del campo experimental	28
3.9. Características evaluadas	29
3.9.1. Características biométricas	29
a. Altura de planta	29
b. Números de tallos por metro lineal	30
c. Peso fresco de parte aérea	30
d. Peso seco de parte aérea	30
3.9.2. Componentes de rendimiento	30
a. Rendimiento total	30
b. Rendimiento comercial	30
c. Rendimiento no comercial	30
d. Número de tubérculos por metro cuadrado	31
e. Materia seca de tubérculos	31
3.9.3. Análisis químico	31
3.10. Diseño experimental	32
3.11. Tratamiento estadístico	33
4. Resultados y discusiones	34
4.1. Características biométricas en el cultivo de la papa	34
4.1.1. Altura de planta	34
4.1.2. Número de tubérculos por metro lineal	36
4.1.3. Peso y materia seca del follaje	36
4.2. Evaluación de la cosecha de la papa	39
4.2.1. Número de tubérculos	40
4.2.2. Rendimiento total y comercial	42
4.2.3. Materia seca de tubérculos	45
4.3. Extracción de nutrientes en el cultivo de la papa	46
4.3.1. Asimilación de carbono en el follaje y tubérculos	48
4.3.2. Extracción de nitrógeno en el follaje y tubérculos	49

4.3.3. Extracción de fosforo en el follaje y tubérculos	51
4.3.4. Extracción de potasio en el follaje y tubérculos	53
4.3.5. Eficiencia de uso de nitrógeno en el cultivo de la papa	54
4.3.6. Eficiencia de uso de fósforo en el cultivo de la papa	55
4.3.7. Eficiencia de uso de potasio en el cultivo de la papa	57
5. Conclusiones	61
6. Recomendaciones	62
7. Referencias bibliográficas	63
8. Anexos	68

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Extracción relativa de nutriente en el cultivo de papa para diferentes rendimientos, según diferentes autores	14
Tabla 2.2 Efectos de la aplicación estiércol con o sin fertilizantes en el cultivo de papa	17
Tabla 3.1 Propiedades físicas y químicas del suelo antes del experimento	20
Tabla 3.2 Temperatura (°C), precipitación mensual (mm) y humedad relativa durante el periodo experimental (Noviembre 2007 – Mayo 2008) en la comunidad de Aramachay	21
Tabla 3.3 Propiedades químicas y contenido de nutrientes de las fuentes orgánicas ensayadas	25
Tabla 3.4 Fertilizante y cantidades empleadas por unidad experimental y metros cuadrados	26
Tabla 3.5 Descripción de los tratamientos ensayados	26
Tabla 3.6 Descripción de los calibres de papa ‘Huayro’ utilizadas en Aramachay	31
Tabla 3.7 Distribución de grados de libertad por fuente de variación	33
Tabla 4.1 Valores promedio evaluados en las planta tomadas en campo a los 49 días antes de la cosecha	34
Tabla 4.2 Valores promedio del número de tubérculos por metro cuadrado	39
Tabla 4.3 Valores promedio de las características en relación a la calidad de las muestras en rendimiento de tubérculo (g/m <sup>2</sup> )	40
Tabla 4.4 Extracción media de nitrógeno, fósforo y potasio en el cultivo de papa var. ‘Huayro’ en kilos por hectárea y por tonelada de tubérculo cosechado para los tratamientos aplicados	46
Tabla 4.5. Valores promedio de los parámetros evaluados en relación a la asimilación de carbono y extracción de nutrientes en el cultivo de papa cv. ‘Huayro’ (g/m <sup>2</sup> )	47
Tabla 4.6 Eficiencia promedio de uso de nitrógeno proveniente de la fertilización en el cultivo de papa ‘Huayro’ en la comunidad de Aramachay	55
Tabla 4.7 Eficiencia promedio de uso de fósforo proveniente de la fertilización en el cultivo de papa ‘Huayro’ en la comunidad de Aramachay	56
Tabla 4.8 Eficiencia promedio de uso de potasio proveniente de la fertilización en la cultivo de papa ‘Huayro’ en la comunidad de Aramachay	58



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Variación mensual de las temperaturas media, máxima y mínima (°C) durante el periodo experimental (Noviembre 2007 – Mayo 2008) en la comunidad de Aramachay	22
Figura 3.2 Precipitación acumulada mensual (mm) durante el periodo experimental (Noviembre 2007 – Mayo 2008) en la comunidad de Aramachay	23
Figura 3.3 Croquis del campo experimental	28
Figura 4.1 Efecto de la aplicación de la fertilización sobre la altura de planta (cm) de papa cv. 'Huayro'	35
Figura 4.2 Efecto de la fertilización sobre el peso seco del follaje (g/m <sup>2</sup> ) de papa cv. 'Huayro'	37
Figura 4.3 Cultivo de papa cv. 'Huayro' en plena floración en la comunidad de Aramachay, Huancayo. Arriba: conteo de tallos; abajo: evaluación de biomasa	38
Figura 4.4 Efecto de la fertilización sobre el número de tubérculos por m <sup>2</sup> de papa cv. 'Huayro'	41
Figura 4.5 Efecto de la fertilización sobre el rendimiento de tubérculos de papa cv. 'Huayro' (g/m <sup>2</sup> )	43
Figura 4.6 Cosecha de papa cv. 'Huayro' en la comunidad de Aramachay. Arriba: clasificación de tubérculos, abajo: vistas de tubérculos de categorías Extra y Primera	44
Figura 4.7 Efecto de los tratamientos en la asimilación de carbono en el cultivo de papa cv. 'Huayro' (g/m <sup>2</sup> )	49
Figura 4.8 Efecto de los tratamientos sobre la extracción de nitrógeno en el cultivo de papa cv. 'Huayro' (g/m <sup>2</sup> )	51
Figura 4.9 Efecto de los tratamientos en la extracción de fósforo por el follaje y tubérculos de papa cv. 'Huayro'	52
Figura 4.10 Efecto de los tratamientos en la extracción de potasio por el follaje y tubérculos de papa cv. 'Huayro'	54

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 8.1 Parámetros evaluados en las muestras de planta de papa cv. 'Huayro' tomadas en campo	68
Anexo 8.2 Parámetros evaluados en relación a la calidad de las muestras de tubérculos de papa cv. 'Huayro' (Considerando el número de tubérculos cosechados)	69
Anexo 8.3 Parámetros evaluados en relación a la calidad de las muestras de tubérculos de papa cv. 'Huayro' (considerando el peso de los tubérculos cosechados)	70
Anexo 8.4 Parámetros evaluados en relación a la calidad de las muestras de tubérculos de papa cv. 'Huayro' (considerando el peso de los tubérculos cosechados por calibre)	71
Anexo 8.5 Asimilación de carbono en el cultivo de papa cv. 'Huayro'	72
Anexo 8.6 Extracción de nitrógeno en el cultivo de papa cv. 'Huayro'	73
Anexo 8.7 Extracción de fósforo en el cultivo de papa cv. 'Huayro'	74
Anexo 8.8 Extracción de potasio en el cultivo de papa cv. 'Huayro'	75
Anexo 8.9 Eficiencia de uso de nitrógeno en el cultivo de papa cv. 'Huayro'	76
Anexo 8.10 Propiedades físicas del suelo en el cultivo de papa cv. 'Huayro'	77
Anexo 8.11 Análisis de variancia para el parámetro altura de planta (cm)	78
Anexo 8.12 Análisis de variancia para el parámetro número de tallos/metro	78
Anexo 8.13 Análisis de variancia para el parámetro peso fresco del follaje (g/m <sup>2</sup> )	78
Anexo 8.14 Análisis de variancia para el parámetro contenido de materia seca en el follaje (%)	79
Anexo 8.15 Análisis de variancia para el parámetro peso seco del follaje (g/m <sup>2</sup> )	79
Anexo 8.16 Análisis de variancia para el parámetro número total de tubérculos/m <sup>2</sup>	79
Anexo 8.17 Análisis de variancia para el parámetro número de tubérculos comerciales/m <sup>2</sup>	80
Anexo 8.18 Análisis de variancia para el parámetro número de tubérculos no comerciales/m <sup>2</sup>	80
Anexo 8.19 Análisis de variancia para el parámetro número de tubérculos dañados/m <sup>2</sup>	80

Anexo 8.20	Análisis de variancia para el parámetro rendimiento total de tubérculo (g/m <sup>2</sup> )	81
Anexo 8.21	Análisis de variancia para el parámetro rendimiento de tubérculos comerciales (g/m <sup>2</sup> )	81
Anexo 8.22	Análisis de variancia para el parámetro peso seco total de tubérculos (g/m <sup>2</sup> )	81
Anexo 8.23	Análisis de variancia para el parámetro porcentaje de materia seca de tubérculos (%)	82
Anexo 8.24	Análisis de variancia para el parámetro asimilación de carbono por el follaje (g/m <sup>2</sup> )	82
Anexo 8.25	Análisis de variancia para el parámetro asimilación de carbono por el tubérculo (g/m <sup>2</sup> )	82
Anexo 8.26	Análisis de variancia para el parámetro extracción de nitrógeno por el follaje (g/m <sup>2</sup> )	83
Anexo 8.27	Análisis de variancia para el parámetro extracción de nitrógeno por el tubérculo (g/m <sup>2</sup> )	83
Anexo 8.28	Análisis de variancia para el parámetro extracción de fosforo por el follaje (g/m <sup>2</sup> )	83
Anexo 8.29	Análisis de variancia para el parámetro extracción de fosforo por el tubérculo (g/m <sup>2</sup> )	84
Anexo 8.30	Análisis de variancia para el parámetro extracción de potasio por el follaje (g/m <sup>2</sup> )	84
Anexo 8.31	Análisis de variancia para el parámetro extracción de potasio por el tubérculo (g/m <sup>2</sup> )	84
Anexo 8.32	Análisis de variancia para el parámetro pH del suelo	85
Anexo 8.33	Prueba de Tukey para el parámetro pH del suelo	85
Anexo 8.34	Análisis de variancia para el parámetro conductividad eléctrica en el suelo (dS/m)	85
Anexo 8.35	Prueba de Tukey para el parámetro conductividad eléctrica en el suelo (dS/m)	86
Anexo 8.36	Análisis de variancia para el parámetro asimilación total de carbono del cultivo en kg/ha	86

Anexo 8.37 Prueba de Tukey para el parámetro asimilación total de carbono del cultivo en kg/ha	86
Anexo 8.38 Análisis de variancia para el parámetro extracción total de nitrógeno del cultivo en kg/ha	87
Anexo 8.39 Análisis de variancia para el parámetro extracción total de fosforo del cultivo en kg/ha	87
Anexo 8.40 Análisis de variancia para el parámetro extracción total de potasio del cultivo en kg/ha	87
Anexo 8.41 Análisis de variancia para el parámetro asimilación total de carbono por tonelada de tubérculo en kg/t	88
Anexo 8.42 Prueba de Tukey para el parámetro asimilación total de carbono por tonelada de tubérculo en kg/t	88
Anexo 8.43 Análisis de variancia para el parámetro extracción total de nitrógeno por tonelada de tubérculo en kg/t	88
Anexo 8.44 Análisis de variancia para el parámetro extracción total de fosforo por tonelada de tubérculo en kg/t	89
Anexo 8.45 Análisis de variancia para el parámetro extracción total de potasio por tonelada de tubérculo en kg/t	89

## I. RESUMEN

La papa es el cultivo alimenticio más importante de la región andina de nuestro país, donde es cultivada principalmente por pequeños productores con limitado acceso a recursos técnicos y económicos. Existe limitada información referente a la fertilización y extracción de nutrientes por las variedades nativas de papa. Un experimento fue diseñado para evaluar el efecto de la aplicación de fertilización química y fuentes e materia orgánica sobre el rendimiento, calidad y extracción de macronutrientes de la papa cv. 'Huayro'. El ensayo fue instalado en una parcela agrícola ubicada en el sector Chacayo (comunidad campesina de Aramachay, distrito de Sincos, provincia de Jauja, región Junín).

Seis tratamientos fueron aplicados: estiércol fermentado de corral (EF); fertilización química (FQ) a dosis de 180, 160 y 200 kg/ha de N - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - K<sub>2</sub>O respectivamente; estiércol de corral más fertilización química (EF + FQ); compost bajo en carbono más fertilización química (CBC + FQ); compost alto en carbono más fertilización química (CAC + FQ) y un testigo sin fertilización (T). El estiércol fermentado de corral y ambos compost fueron aplicados al fondo de surco al momento de siembra a dosis de 12.5 t/ha para el estiércol y 18.75 t/ha para los compost. La fertilización química fue aplicada a dosis de 180, 160 y 200 kg/ha de N - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - K<sub>2</sub>O, respectivamente; y fue fraccionada a la siembra y al aporque. Los tratamientos fueron aplicados en parcelas de 9.6 m<sup>2</sup> empleándose un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones.

La altura de planta, el número de tallos por metro lineal de surco y la biomasa de la parte aérea fueron evaluados 128 días después de la siembra. Los rendimientos total y comercial, y el número de tubérculos por planta fueron evaluados al momento de cosecha (177 días después de la siembra).

La extracción de nitrógeno, fósforo y potasio por el follaje y tubérculos de papa fueron determinadas al momento de cosecha. Los datos fueron sometidos al análisis de variancia (ANVA) y las medias comparadas mediante la prueba de comparación HSD de Tukey. El análisis estadístico fue realizado empleando el paquete *Agricolae* del ambiente para computación estadística R.

La precipitación y temperatura fueron favorables para el desarrollo del cultivo durante el periodo experimental. La aplicación de fertilización química incrementó la altura de planta, el rendimiento total de tubérculos y el número de tubérculos por planta con respecto al tratamiento testigo. No se observaron diferencias entre los compost ensayados para las variables evaluadas.

La adición de fertilizantes químicos al abonamiento con el compost incrementó la calidad así como el rendimiento de tubérculos, superando al testigo y a la aplicación de estiércol fermentado de la localidad. Los rendimientos totales en kg/ha obtenidos para el tratamiento testigo fueron de 9 925.3, para el tratamiento estiércol fermentado 15 103.3, para el tratamiento fertilización química 23 103.0, para el tratamiento estiércol fermentado con fertilización química 23 860.7, para el tratamiento compost bajo en carbono con fertilización química 23 355.7 y para el tratamiento compost alto en carbono con fertilización química 28 944.0, respectivamente.

La eficiencia de uso de nutrientes (NPK) resulto ser mayor para el tratamiento con aplicación de fertilizantes sintéticos, esto debido a la mayor concentración y disponibilidad que presentan estos productos.

Se concluye que la fertilización sintética es una buena estrategia para incrementar los rendimientos en el cultivo de papa 'Huayro' en zonas alto andinas similares a las del ensayo.

Palabras clave: fertilización, rendimiento, Valle del Mantaro, papa, variedad 'Huayro'.

## SUMMARY

Potato is the most important food crop in the Andean region of our country, where it is mainly grown by small farmers with limited access to technical and economic resources. There is limited information regarding fertilization and nutrient extraction by native potato varieties. An experiment was designed to evaluate the effect of the application of chemical fertilizer and organic energy power to prove the performance, quality and extraction for "Huayro" potatoe nutrients. The trial was installed on an agricultural parcel located in Chacayo (farming community "Aramachay", Sincos district province of Jauja, Junin region).

Six treatments were applied: fermented poultry manure (EF); chemical fertilization (CF) a dose of 180, 160 and 200 kg / ha of N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O respectively; poultry manure over chemical fertilization (EF + FQ); high carbon compost over chemical fertilization (CAC + CF) and a control without fertilization (T). The fermented poultry manure and compost were applied both to fund planting furrow at a dose of 12.5 t / ha for manure and 18.75 t / ha for compost. Chemical fertilization was administered a dose of 180, 160 and 200 kg / ha of N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O, respectively; and were divided to sowing and hoeing. Treatments were applied to plots of 9.6m<sup>2</sup> applying a block design with three replications.

Plant height, the number of stems per meter of row and biomass of aerial parts were evaluated 128 days after planting. The total and marketable yields and the number of tubers per plant were evaluated at harvest (177 days after planting).

The removal of nitrogen, phosphorus and potassium by potato foliage and tubers were determined at harvest. Data were subjected to analysis of variance (ANOVA) and the means compared by the test of Tukey HSD comparison. Statistical analysis was performed using the agricolae package for statistical computing environment R.

The precipitation and temperature were favorable for crop development during the experimental period. The application of chemical fertilizer increased plant height, total tuber yield and number of tubers per plant compared with the control treatment. No differences between compost tested for variables evaluated were observed.

The addition of chemical fertilizers with compost, increases the quality as well as tuber yield, exceeding the control and application of fermented manure locality. Total yields

in kg obtained for the control treatment were 9 925.3 to 15 103.3 fermented manure treatment, treatment for chemical fertilization 23 103, treatment for manure fermented with 23 860.7 chemical fertilization, compost treatment for low carbon and chemical fertilization 23 355.7 for treating high carbon compost with chemical fertilizer 28 944 respectively.

The efficiency of use of nutrients (NPK) turned out to be higher for the treatment with use of synthetic fertilizers, this due to the higher concentration and availability presenting these products.

We conclude that inorganic fertilization is a good strategy to increase yields in potato cv. 'Huayro' at highland areas similar to that for this trial.

Keywords: fertilization, yield, biometric, Mantaro Valley, potato, variety 'Huayro'.

# 1. INTRODUCCIÓN

La papa es uno de los cultivos alimenticios más importantes para el hombre. Su capacidad de producción de carbohidratos es superior a la de cualquiera de los granos cultivados y produce por hectárea más del doble de las proteínas que el maíz, el trigo o el arroz. Aporta la mayoría de los aminoácidos y es una de las fuentes de almidón de menor costo; además de contener vitaminas y minerales.

En el Perú existe gran diversidad de papas entre silvestres y nativas, con diferentes características productivas y culinarias. Una de estas es la papa 'Huayro' (*Solanum x chaucha* Juz. et Buk.) que presenta una alta concentración de sólidos y un buen potencial productivo.

El cultivo de papa en la sierra peruana enfrenta diversos factores que limitan su producción, tales como temperaturas bajas (heladas), baja intensidad de luz y malas condiciones físicas del suelo y el uso limitado de fertilizantes y enmiendas orgánicas, entre otros. Los niveles bajos o deficientes en la aplicación de fertilizantes, podrían afectar en gran medida el rendimiento y la calidad esperada.

En el manejo del cultivo de la papa, la fertilización es muy importante para obtener rendimientos altos y en lo posible mejorar los niveles de fertilidad del suelo. A pesar de los esfuerzos realizados sobre la investigación del abonamiento y fertilización de la papa, los documentos publicados son aun escasos, especialmente sobre variedades que, como 'Huayro', son cultivadas principalmente por agricultores con limitado acceso a recursos técnicos y económicos.

Existe necesidad de estudiar y documentar los efectos de la fertilización, tanto orgánica como mineral, sobre el rendimiento de la papa, con énfasis en variedades que se desarrollan en la región andina, por ello se planteó el ensayo, a nivel de campo, para verificar el efecto del abonamiento orgánico y la fertilización inorgánica, en el rendimiento de la papa.

En la presente investigación se propone que el uso de enmiendas orgánicas en combinación con la fertilización química permitirá obtener mayores rendimientos de papa cv. 'Huayro' en la comunidad Aramachay, en comparación con aquellos obtenidos bajo la fertilización tradicional basada solo en enmiendas orgánicas.

Este ensayo busca aportar información sobre el efecto de tres fuentes de materia orgánica preparadas en base a los insumos disponibles para los pequeños productores de la comunidad campesina de Aramachay (valle del Mantaro); y de la fertilización inorgánica sobre el rendimiento, calidad y extracción de nutrientes por el cultivo de papa cv. 'Huayro'. La investigación realizada tuvo los siguientes objetivos:

- Determinar el efecto de la aplicación de tres abonos orgánicos: un estiércol fermentado de corral y dos compost sobre el rendimiento y características biométricas del cultivo de papa (*Solanum x chaucha* Juz. et Buk.) cv. 'Huayro', en un suelo del Valle del Mantaro.
- Evaluar y cuantificar el efecto de un nivel de fertilización química nitro-fosfo-potásica (180 – 160 – 200) en los parámetros anteriormente descritos.
- Evaluar el efecto de la adición de los abonos orgánicos y la fertilización química sobre la extracción de nitrógeno, fósforo y potasio del cultivo.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 El cultivo de la papa

En el Perú, la papa es sembrada y producida en gran número de agro ecosistemas: punas, punas húmedas, valles interandinos de la sierra, vertientes orientales húmedas, vertientes occidentales semiáridas y en los valles costeros subdesérticos (Egúsquiza, 2000). La sierra peruana es la región con mayor área de producción. Se la encuentra desde la sierra de Piura, Cajamarca y Amazonas en el Norte, hasta el Altiplano de Puno y la sierra de Tacna por el sur.

#### 2.1.1 Descripción taxonómica de la papa

La papa pertenece a la familia de las solanáceas, todas las especies, tanto cultivadas como silvestres, pertenecen a la sección *Petota* del género *Solanum*. La sección *Petota* se subdivide en series, especies y subespecies.

Hay varios sistemas de clasificación de la papa, los cuales se basan principalmente en el número de series y especies reconocidas. Así, hay tres sistemas de clasificación de las variedades cultivadas de papa, los cuales reconocen 3, 8 ó 18 especies, según el grado de variación existente dentro de cada característica usada para distinguir una especie de la otra. De ellos, el que reconoce ocho especies cultivadas es el más universalmente utilizado (Huamán, 1986).

A la fecha no hay consenso acerca de la clasificación de la papa. A lo largo de la historia se han presentado diferentes puntos de vista entre los taxónomos; además, muchos investigadores han aplicado diferentes conceptos taxonómicos para reconocer grupos y especies. Los niveles de ploidía de las papas cultivadas varían en un rango que va desde las papas diploides ( $2n = 2x = 24$ ), triploides ( $2n = 3x = 36$ ), tetraploides ( $2n = 4x = 48$ ) hasta las pentaploides ( $2n = 5x = 60$ ) (Hijmans y Spooner, 2001; Spooner *et al.*, 2004; Spooner y Salas, 2006 citados por Rodríguez, 2009).

En el Perú se cultivan variedades de papa tanto nativas como modernas (Egúsquiza, 2000). Las papas nativas se siembran en las comunidades campesinas localizadas a partir de los 3000 m.s.n.m. Generalmente se siembran en mezcla, lo que constituye una excelente estrategia para reducir la diseminación de plagas y enfermedades y asegurar la producción en caso de eventos climáticos adversos (sequías, heladas, etc.). Algunas

variedades nativas se siembran individualmente para comercialización por ser de muy buena calidad culinaria (harinosas) o para su uso en forma de chuño o moraya (papas amargas).

### **2.1.2 Situación actual de la papa en el Perú**

El Perú es el país con mayor diversidad de papas en el mundo, es el segundo cultivo por superficie sembrada en el país, después del arroz y representa el 8 por ciento del PBI agropecuario (MINAG, 2010a). Es la base de la alimentación de la zona andina y es producido por 600 mil pequeñas unidades agrarias. La papa es un cultivo competitivo del trigo y arroz en la dieta alimentaria.

La papa es uno de los alimentos más importantes del Perú y ha sido esencial en la dieta de los pobladores peruanos desde hace siglos. De acuerdo al Atlas Mundial de la Papa (Centro Internacional de la Papa) en las últimas décadas su producción se ha visto afectada por fuerzas externas a las comunidades que la siembran. Para alcanzar rendimientos competitivos en la producción de papa se debe difundir información y tecnologías a las zonas donde está la mayor proporción de áreas para este cultivo, que es el caso de la sierra.

En la actualidad, más del 90 por ciento de la producción de papa del Perú se cultiva por encima de los 2500 hasta un límite de 4000 m.s.n.m. (en el caso de las papas amargas), en los Andes centrales, precisamente es la zona con mayores índices de pobreza y con limitado acceso a los mercados y difusión en la información. Esto se refleja en el limitado y/o inadecuado uso de fertilizantes y abonos para las zonas más alejadas de nuestra serranía.

La producción de papa en nuestro país entre 1997 a 2009 se incrementó de 2 403 500 a 3 761 900 toneladas (MINAG, 2010c). Dado que la superficie sembrada durante mismo periodo ha tenido un comportamiento casi estable (variando de 258 200 a 282 900 hectáreas), el incremento de producción se debió al incremento de rendimiento de 9.67 a 13.33 t/ha entre los años 1997 y 2009, respectivamente. Estos rendimientos son bajos comparados con los obtenidos en Colombia (16 t/ha), Brasil (15 t/ha), Chile (15 t/ha) al año 2000. Existen problemas tecnológicos, especialmente ligados a la calidad de la semilla y la sanidad, que explican este bajo desempeño. Cabe destacar, para que una semilla de calidad exprese su mayor potencial productivo, debe tener las condiciones

adecuadas para su desarrollo, entre ellos suelos fértiles que permitan una buena nutrición de la planta, lo cual aún es una limitante.

La mayor parte del cultivo de papa del país es sembrado por agricultores independientes, con frecuencia en mezcla para subsistencia y para venta comercial, con muy bajos niveles de fertilizantes comerciales y otros insumos comprados. Sin embargo, tales insumos son muy usados por los productores de papa a gran escala, principalmente en los valles de la costa, al oeste de los Andes. Una encuesta realizada en La Encañada (Cajamarca), indicó que sólo un 30 por ciento de los agricultores de papa de esa localidad aplicaban fertilizantes, aunque algunos aplicaban estiércol de pollo cuando estaba disponible. Entre aquellos que usaban fertilizantes, la tasa de aplicación promedio era de aproximadamente 30 kg/ha de nitrógeno. En comparación, en el área de Carchi (Ecuador), donde se ha venido dando una producción comercial de manera más intensiva durante muchos años, los agricultores por lo general aplican 140 kg/ha de nitrógeno además de otros elementos nutrientes (Bowen, 2003). Esta información refleja que tanto la fertilización como la nutrición para el cultivo de papa, en muchas localidades de nuestro país es un factor limitante que puede generar déficit en los rendimientos de la papa, por ello es esencial encontrar mediante investigación nuevas tecnologías para el uso de fertilizantes y enmiendas orgánicas con relación a las dosis, mezclas, formas de aplicación adecuadas para las distintas zonas de producción y variedades de papa, para lograr niveles de nutrición en el cultivo que se reflejen en altos rendimientos y buena calidad.

El área cosechada de papa en el Perú durante la campaña 2009-2010 fue de 282 100 hectáreas, con un rendimiento promedio de 13.17 t/ha y una producción total de 3 716 700 toneladas (FAOSTAT, 2010). Las intenciones de siembra para la campaña 2010 – 2011 se incrementarían, previéndose siembras superiores en 3.1 por ciento respecto a la campaña anterior, debido a la tendencia creciente de los precios en chacra observados en los últimos años, al aumento del consumo per cápita alentado por el auge de la gastronomía peruana, así como su mayor industrialización, además de su utilización como complemento de la oferta de las pollerías (MINAG, 2010c).

### 2.1.3 Ecología del cultivo de la papa

La presencia de temperaturas bajas y la disponibilidad de agua en el periodo de crecimiento son los dos factores principales que determinan la posibilidad de siembra y producción de papa. La temperatura media óptima para la tuberización es de 20°C, si la temperatura se incrementa por encima de este valor disminuye la fotosíntesis y aumenta la respiración y por consecuencia hay combustión de hidratos de carbono almacenados en los tubérculos. Las consecuencias negativas de las altas temperaturas diurnas y nocturnas adquieren visos de verdadero dramatismo en el norte de nuestro país cuando aparece el Fenómeno del Niño, en que las altas temperaturas tanto diurnas y nocturnas provocan ausencia total de tubérculos. Es favorable la alternancia de temperaturas diurnas y nocturnas para una buena tuberización (MINAG, 2011).

Los tubérculos de papa están especializados en el almacenamiento de productos de la fotosíntesis (almidón). Por lo tanto, una apropiada producción de tubérculos depende de que la fotosíntesis sea mayor que la respiración.

Inicialmente la planta de papa distribuye los productos de la fotosíntesis hacia el crecimiento y desarrollo de sus tallos, hojas, raíces, estolones, flores y frutos. Esta etapa es denominada de crecimiento vegetativo – reproductivo. Cuando estos centros de crecimiento reducen su requerimiento de productos de la fotosíntesis, éstos se almacenan dando inicio a la etapa de tuberización.

Debido a que el suelo es el ambiente en el que las plantas toman sus nutrientes y en donde se desarrollan los tubérculos, es necesario que el medio edáfico provea los nutrientes minerales y el agua requerido por el cultivo. En esta necesidad, la presencia de materia orgánica adquiere gran importancia para el cultivo de papa (Egúsquiza, 2000).

La papa está adaptada a diferentes condiciones climáticas y de suelos, sin embargo los mejores rendimientos se logran en suelos franco arenosos, profundos, bien drenados y con un pH de 5.5 a 8.0 (MINAG, 2011).

### 2.1.4 El cultivar ‘Huayro’

La especie cultivada *Solanum x chaucha* (CHA) es un triploide híbrido de buena calidad culinaria; originado de la hibridación natural y selección de cruces entre la subespecie tetraploide *andígena* y el diploide *stenotomun*. Probablemente algunos

clones *chaucha* son alotriploides y autotriploides de clones *stenotomun* (Egusquiza, 1987).

En el Perú tenemos un grupo numeroso de clones de esta especie, algunos nombres más conocidos son 'Huayro', 'Capiash', 'Ritipisan', 'Lomo', 'Amarilla de Tarma', etc.

Así mismo, la papa 'Huayro', es una variedad clasificada según su origen como nativa comercial, no amarga, coloreada, para consumo en fresco. Se siembra en la sierra a una altitud mayor de 3 300 msnm desde la Libertad hasta Apurímac. Presenta plantas altas, con flores numerosas, color rojo violáceo y no produce bayas. Los tubérculos son largos, cilíndricos; rojo vinosos; de ojos numerosos y pulpa con pigmentación en anillo vascular; de muy buena capacidad productiva (18 – 20 t/ha) y periodo vegetativo tardío. Excelente calidad culinaria con 26 a 28 por ciento de materia seca (Egúsqiza, 2000).

Un estudio realizado durante la campaña agrícola 2004 – 2005 en la comunidad de Aramachay (Valle del Mantaro – Junín), las papas nativas representaron el 8.3 por ciento del área sembrada con papa (Quispe, 2007). Entre las variedades nativas que más se sembraron en esa campaña se encuentra la papa 'Huayro'.

## **2.2 Fertilización y nutrición en el cultivo de la papa**

La cantidad de nutrientes que requiere la planta depende de la variedad y de otros factores de producción. Las variedades con mayor potencial productivo responden más notoriamente a la aplicación de nutrientes. Si las condiciones sanitarias y el clima se encuentran en condiciones favorables, la planta requeriría mayor cantidad de nutrientes para expresar su potencial productivo.

El uso de abonos para el cultivo de papa tiene una especial importancia debido a las numerosas funciones benéficas que cumple. Favorece la retención de agua que queda disponible para uso de la planta, retiene los nutrientes minerales evitando que se pierdan por arrastre hacia el subsuelo, mejora la proporción de espacios porosos y proporciona así mejor aireación a las raíces, mejora las características físicas del suelo, favorece la presencia de microorganismos, incrementa la temperatura del suelo, disminuye la compactación del suelo (Egúsqiza, 2000).

### 2.2.1 Los nutrientes en el cultivo de la papa

El nitrógeno es considerado como uno de los elementos más importantes en la nutrición de las plantas. Es constituyente de la clorofila y está involucrado en el proceso de fotosíntesis. Es componente de las vitaminas y aminoácidos que forman proteínas. La papa puede absorber nitrógeno en forma nítrica ( $\text{NO}_3^-$ ) y amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ). Sin embargo, la planta presenta mayores tasas de crecimiento cuando hay mayor disponibilidad de nitratos.

La deficiencia de nitrógeno reduce la producción de clorofila y produce clorosis en las hojas viejas de la planta. Según la severidad de la deficiencia, la clorosis avanza a las hojas más jóvenes y finalmente puede afectar el crecimiento total de la planta. Dosis excesivas de nitrógeno en papa pueden prolongar el ciclo vegetativo, reducir el porcentaje de materia seca de los tubérculos, provocar acame y aumentar la susceptibilidad de la planta a enfermedades. En algunos casos favorece el crecimiento exagerado del follaje, reduciendo la producción de tubérculos (Oyarzún *et al.*, 2002).

Las plantas absorben fósforo principalmente en forma de iones orto fosfatos primarios o secundarios ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) que están presentes en la solución del suelo (Havlin *et al.*, 1998). La cantidad de cada forma depende del pH en la solución del suelo. El fósforo es esencial para la calidad y rendimiento de los cultivos. Contribuye a los procesos de fotosíntesis, respiración, almacenamiento y transferencia de energía, división y crecimiento celular y transferencia genética. El fósforo promueve la rápida formación de tubérculos y crecimiento de las raíces. Mejora la resistencia a las bajas temperaturas, incrementa la eficiencia del uso de agua, contribuye a la resistencia a enfermedades y acelera la madurez.

El fósforo es un elemento crítico durante el periodo inicial de desarrollo de la planta y de tuberización. Una deficiencia de fósforo retarda el crecimiento apical, dando lugar a plantas pequeñas y rígidas. Se reduce la formación de almidón en los tubérculos, contribuyendo a la formación de manchas necróticas de color castaño-herrumbre, distribuidas en forma dispersa en toda la pulpa (Oyarzún *et al.*, 2002).

Se ha demostrado que la adición de fósforo, especialmente cuando el análisis de suelo muestra que los niveles de fósforo está por debajo del óptimo, aumentan los niveles de gravedad del tubérculo (Laboski y Kelling, 2007).

El potasio y el nitrógeno son los nutrientes más extraídos por la papa, seguidos del calcio y magnesio. Las cantidades totales de captación son específicas ya que las plantas en general absorben más nutrientes de los que requieren. La absorción de nutrientes está casi terminada, cuando la mayoría de los tubérculos extremos ha crecido, ya la captación adicional en pequeñas cantidades se produce durante la etapa de maduración (Westermann, 2005).

El potasio, a diferencia del nitrógeno y del fósforo, no forma parte estructural estable de las moléculas en las células de la planta, sin embargo es catalizador de muchas reacciones. El potasio es vital para la fotosíntesis, especialmente en la síntesis de proteínas y de carbohidratos (Sierra *et al.*, 2002). Es importante para la descomposición de carbohidratos y la producción de energía, ayuda a controlar el balance iónico y contribuye a la translocación de metales pesados tales como el hierro. El potasio es un activador de los sistemas enzimáticos que regulan la apertura y cierre de los estomas, lo cual contribuye a la resistencia de sequía. La adición de potasio incrementa el calibre de los tubérculos (Panique *et al.*, 1997); además da resistencia a patógenos, como *Fusarium* y *Rhizoctonia*.

Cuando existe deficiencia de potasio, las hojas superiores son pequeñas, arrugadas y de un color verde más oscuro de lo normal. También ocurre necrosis en las puntas y márgenes y clorosis internerval en las hojas viejas (Oyarzún *et al.*, 2002). La deficiencia de potasio incrementa la actividad de la enzima polifenol oxidasa, resultando en manchas negras en los tubérculos que afectan la calidad para industria (McNabney *et al.*, 1999).

La adición de nitrógeno y potasio, especialmente a tasas excesivas, reduce el contenido de sólidos y la gravedad específica del tubérculo. Las fuentes con un índice de salinidad más alto reducirán aún más los sólidos del tubérculo (Panique *et al.*, 1997). Los suelos con niveles excesivos de uno o de ambos nutrientes tendrán un efecto similar (Laboski y Kelling, 2007).

### **2.2.2 Importancia de la fertilización química en el cultivo de la papa**

La fertilización química es una práctica agronómica muy importante en el cultivo de papa, pues permite incrementar el rendimiento y la calidad de los tubérculos cosechados. Ello dependerá del manejo responsable y del uso adecuado de los

fertilizantes. La cantidad de nutrientes necesaria depende en gran parte del rendimiento obtenido (o esperado) del cultivo. Las cantidades de nutrientes extraídas por el cultivo de papa según diferentes autores con rendimientos moderados a altos se muestran en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1. Extracción relativa de nutriente en el cultivo de papa para diferentes rendimientos, según diferentes autores**

Rendimiento t/ha	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	S	Referencia
20	140	39	190	2	4	6	FAO/IFA, 2002
38	224	67	336	-	-	-	Sierra <i>et al.</i> , 2002
40	175	80	310	-	23	16	FAO/IFA, 2002
40	120	55	221	-	-	-	Sierra <i>et al.</i> , 2002
56	235	71	400	91	63	22	Westermann, 2005
63	288	128	396	-	35	26	Sierra <i>et al.</i> , 2002
94	300	80	480	-	52	-	Sierra <i>et al.</i> , 2002

Fuente: Elaboración propia

La dosis de fertilización adecuada para el cultivo de la papa es difícil de estimar, debido a que en ella intervienen factores dinámicos de tipo biológico, químico y físico que resultan de la interacción entre el suelo, la planta y la atmósfera. Sin embargo, es posible lograr razonables aproximaciones si se usan herramientas como el análisis del suelo, que permite diagnosticar la fertilidad actual del suelo.

La papa es una especie de alta respuesta a la aplicación de fertilizantes debido a su baja densidad radicular, lo que implica una baja capacidad de exploración del suelo. Esta característica del cultivo resulta en respuesta a dosis altas de elementos minerales aplicados al suelo. Debido a esta misma razón, la papa es una planta muy exigente en humedad disponible (Sierra *et al.*, 2002).

La eficiencia de uso de un fertilizante depende de sus características. El nitrógeno por ejemplo, es uno de los nutrientes más difíciles de manejar. Los fertilizantes nitrogenados sintéticos se pierden fácil y rápidamente por lixiviación y volatilización, con los consiguientes costos económicos y ambientales (Pang y Letey, 2000).

### 2.2.3 Importancia de la materia orgánica en el cultivo de la papa

El manejo sostenible de nutrientes incluye un conjunto de prácticas diseñadas para conservar los recursos del suelo, mantener o intensificar la productividad y ayudar a los agricultores a reducir la dependencia que tienen en los fertilizantes químicos. Los sistemas de manejo sostenible de nutrientes confían mayormente en el uso de leguminosas como cultivos de rotación y/o enmiendas orgánicas del suelo.

La disponibilidad y oportunidad de los nutrientes liberados pueden ser difíciles de predecir debido a la complejidad de interacciones entre las propiedades de las enmiendas y el suelo, variables biológicas y ambientales. A pesar de estas incertidumbres, el uso de estas enmiendas hace varias contribuciones importantes a los sistemas de gestión sostenible de nutrientes. Si bien los cambios en la secuencia o rotación de cultivos puede tomar mucho tiempo para mostrar aumentos mensurables en el carbono y nitrógeno del suelo (Biederbeck *et al.*, 1998), el compost y las aplicaciones de estiércol puede aumentar rápidamente la concentración de la materia orgánica lábil y estable del suelo, al tiempo que aumenta la concentración de nitrógeno del suelo, capacidad de intercambio catiónico, capacidad de retención de agua y los niveles de fertilidad del suelo (Gallandt *et al.*, 1998).

También pueden reducir la densidad aparente y aumento de la agregación del suelo, así como mejorar la actividad y la diversidad de las poblaciones microbianas del suelo, lo que puede estimular actividad radicular y la absorción de nutrientes. La aplicación de compost y estiércol también se ha demostrado que aumenta la longitud y densidad de la raíz en papa (Opena y Porter, 1999), lo que puede mejorar la absorción de agua y nutrientes. Una aplicación de un solo año de lodos de papelera y compost a base de residuos de papa aumento significativamente el rendimiento de papa según estudios realizados. Los sistemas de producción basados en una combinación de fertilizantes químicos, enmiendas orgánicas, y varias estrategias de control de plagas puede ofrecer el menor costo de producción y menor riesgo para los productores de papa (Varis *et al.*, 1996).

Además de los nutrientes suministrados por el estiércol y el compost, las modificaciones y sus efectos beneficiosos sobre la materia orgánica del suelo, el uso de estos materiales proporciona en la finca un mecanismo para el ciclo de nutrientes. Si se utiliza correctamente, proporcionan los medios productivos para utilizar materiales de desecho que de otra manera se convertirían en un peligro ambiental.

El uso de abonos y compost para proporcionar nutrientes en sistemas de cultivo de papa no está exento de complicaciones. Un inconveniente es que el tiempo y la cantidad de nutrientes liberados pueden ser difíciles de predecir. La segunda es que las enmiendas orgánicas tienden a ser voluminosos, por lo que el transporte y la aplicación pueden ser costosos. En consecuencia, en las modificaciones a corto plazo, el estiércol y el compost puede ser menos rentable por unidad de nutriente aplicado de fertilizantes químicos, incluso cuando se mejoran los rendimientos de los cultivos (Gallandt *et al.*, 1998). Sin embargo, este costo adicional puede estar justificado en el largo plazo debido a los efectos positivos sobre el suelo, los componentes biológicos del sistema de cultivo y otros, a pesar de que a veces es difícil estimar el valor de estos beneficios; el abono por ejemplo, mejora la materia orgánica del suelo, la agregación y la capacidad de intercambio de cationes (Stark y Porter, 2005).

El abono orgánico a menudo crea la base para el uso exitoso de los fertilizantes minerales. La combinación de abono orgánico o materia orgánica y fertilizantes minerales ofrece las condiciones ambientales ideales para el cultivo, cuando el abono orgánico o la materia orgánica mejora las propiedades del suelo y el suministro de los fertilizantes minerales provee los nutrientes que las plantas necesitan (FAO/IFA, 2002).

Los resultados de las investigaciones realizadas en campos de agricultores demuestran que con la adición de 20 t/ha de estiércol vacuno la producción se incrementa hasta en 20 t/ha. Para obtener rendimientos altos en siembras comerciales es conveniente aplicar conjuntamente abonos orgánicos y sintéticos. Una dosis generalmente recomendada de estiércol vacuno es 5 t/ha más el 50 por ciento de la dosis recomendada de fertilizante químico (Oyarzún *et al.*, 2002).

Los efectos del estiércol con o sin fertilización inorgánica sobre el cultivo de papa, en ensayos efectuados en campo, se presentan en la Tabla 2.2:

**Tabla 2.2. Efectos de la aplicación de estiércol con o sin fertilizantes en el cultivo de papa**

	Junín	Cuzco	Ancash
Suelo	(Mantaro)	(Perayoc)	(Catac)
pH suelo	7.6	7.6	4.6
M.O. (%)	1.5	2.8	5.5
Tratamientos	Rendimiento (t/ha)		
Sin estiércol / sin fertilizante	18.0	17.8	6.9
5 t estiércol / sin fertilizante	20.9	19.3	17.6
5t estiércol / 150-150-75	27.7	30.5	35.5

Adaptado de: Villagarcía, (1983)

Se ha evaluado el efecto de la materia orgánica o de productos derivados de ésta, sobre el crecimiento de la planta o la producción de cultivos se a encontraron un aumento de peso y altura de la planta, longitud de la mazorca y rendimiento de grano de maíz, cuando aplicaron 100, 300 y 900 kg/ha de residuos sólidos urbanos (RSU) compostados, junto con aplicaciones complementarias de N, P y K. De la misma manera, al añadir 18 y 36 t/ha de RSU compostados y con una relación C/N, corregida con la aplicación de fertilizante nitrogenado mineral, lograron incrementar el rendimiento de papa en un 25 por ciento con relación al control (Buniselli *et al.*, 1990; Climent *et al.*, 1990 citados por Julca *et al.*, 2006).

El aporte de nutrientes del estiércol animal y compost también pueden ser sustanciales. Los datos de tres años de un estudio llevado a cabo muestran que las dosis de fertilizantes se pueden reducir considerablemente y mantener los rendimientos de la producción con sistemas de recepción de estiércol y de las enmiendas de compost. Los resultados presentados demuestran que una combinación de compost y estiércol permite un 52 por ciento de reducción en el uso de fertilizantes químicos en la papa, manteniendo al mismo tiempo los rendimientos iguales o superiores a las de un sistema de fertilización química, sin embargo, el valor de estas modificaciones no sólo debería ser juzgado basado en la sustitución de fertilizantes químicos. Se encontró que el estiércol aplicado a 10 t/ha tiene un efecto mucho mayor sobre la producción de papa que los fertilizantes de N, P y K o una combinación de los tres.

La aplicación de estiércol aumento la respuesta a la fertilización de nitrógeno, mientras que disminuyó la respuesta a los fertilizantes con fósforo y potasio. Esto fue

probablemente debido al alto contenido relativo de fósforo y potasio del estiércol en comparación con el contenido de nitrógeno. Cuando el estiércol animal es aplicado a tasas diseñadas para proporcionar una parte sustancial del nitrógeno necesario para un cultivo de papa de alto rendimiento, a menudo hay un exceso de oferta en cantidades de fósforo (Erich *et al.*, 2002; Gallandt *et al.*, 1998; citados por Stark y Porter, 2005).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Características del campo experimental**

##### **3.1.1 Ubicación**

La fase de campo del presente experimento fue conducida en una parcela agrícola propiedad del Sr. Flavio Huaylinos Vílchez, ubicada en el sector Chacayo de la comunidad campesina de Aramachay, perteneciente al distrito de Sincos, provincia de Jauja, en el Valle del Mantaro (Región Junín).

La ubicación geográfica de la parcela es: 11° 54' 33" de latitud Sur y 75° 25' 23" de longitud Oeste. La altitud es de 3 837 m.s.n.m.

##### **3.1.2 Historial de campo**

El campo estuvo en barbecho (descanso) durante los dos años anteriores al trabajo experimental. La parcela fue conducida en un sistema de rotación papa-cebada-avena-descanso o papa-cebada-habas-descanso.

##### **3.1.3 Suelo**

La parcela experimental se encuentra ubicada en una ladera de colina. El suelo corresponde a un depósito coluvio-aluvial antiguo. La capa arable del suelo fue muestreada previamente a la siembra a una profundidad de 20 cm.

Las propiedades físico-químicas del suelo fueron determinadas empleando los métodos seguidos por el Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina (LASPAF – UNALM). El pH fue determinado por el método potenciométrico en extracto acuoso de suelo (relación 1:1).

La conductividad eléctrica fue medida en el extracto anterior. La textura fue determinada por el método de Bouyoucos.

La materia orgánica del suelo fue determinada por digestión vía húmeda (método de Walkley y Black), en tanto que el fósforo disponible fue determinado por extracción empleando la solución extractante de Olsen ( $\text{NaHCO}_3$  0.5M) y posterior colorimetría con molibdato de amonio (azul).

El potasio disponible fue determinado mediante extracción con acetato de amonio ( $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  1N) y posterior espectrofotometría de absorción atómica del extracto obtenido. La capacidad de intercambio catiónico del suelo fue determinada mediante destilación de Kjeldahl del suelo saturado con solución de acetato de amonio ( $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  1N), en tanto que los cationes cambiabiles fueron determinados por espectrofotometría de absorción atómica del filtrado anterior. Los resultados del análisis se resumen en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1 Propiedades físicas y químicas del suelo antes del experimento**

Características		Valor	Calificación
Arena	(%)	46	
Limo	(%)	38	
Arcilla	(%)	16	
Clase textural	(---)		Franco
-----			
pH ( $\text{H}_2\text{O}$ )	(---)	4.95	Muy fuertemente ácido
C.E. (1:1)	(dS/m)	0.48	No salino
$\text{CaCO}_3$	(%)	0.0	No calcáreo
M.O.	(%)	3.0	Moderado
Nitrógeno	(mg/kg)	1500	"
Fósforo extractable	"	45.2	Elevado
Potasio extractable	"	154	Bajo
-----			
CIC	(cmol <sub>c</sub> /kg)	19.52	Alto
$\text{Ca}^{2+}$	"	11.76	Elevado
$\text{Mg}^{2+}$	"	1.51	Bajo
$\text{K}^+$	"	0.34	Escaso
$\text{Na}^+$	"	0.30	"
$\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$	"	0.80	Bajo
PSB	(%)	94.6	Elevado
PAC	(%)	5.4	Bajo

Fuente: LASPAF - UNALM

El suelo presenta textura franca, reacción muy fuertemente ácida y es no salino ni calcáreo. Los contenidos de materia orgánica y nitrógeno son moderados. El suelo presenta asimismo un contenido elevado de fósforo extractable y bajo de potasio extractable. La capacidad de intercambio catiónico es alta, lo cual se relaciona con los contenidos de arcilla y materia orgánica. El análisis de las relaciones catiónicas revelan un contenido elevado de calcio, escaso de potasio y bajo de magnesio. El suelo presenta 5.4 por ciento de acidez cambiante; sin embargo este porcentaje no afecta el crecimiento de la papa.

### 3.1.4 Variables climáticas durante el experimento

Las características climáticas de la zona experimental en la comunidad de Aramachay durante el desarrollo del cultivo de papa, comprendido entre los meses de noviembre del 2007 a mayo del 2008, se detallan en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2. Temperaturas mínima, máxima y media (°C), precipitación (mm) y la humedad relativa (%) durante el periodo experimental (noviembre 2007 – mayo 2008) en la comunidad de Aramachay**

Meses	Temperatura (°C)			Precipitación (mm)	Humedad relativa (%)	
	Mínima	Máxima	Media			
2007	Nov	3.9	22.0	11.8	72.7	57.5
	Dic	4.6	21.5	11.5	104.6	61.2
	Ene	5.0	19.7	10.5	136.0	75.1
	Feb	3.9	19.2	9.9	106.3	74.2
2008	Mar	3.0	19.5	9.6	37.6	72.0
	Abr	1.6	21.1	10.1	33.1	63.7
	May	-1.1	20.3	8.6	16.5	57.9
Promedio	2.9	20.5	10.3	---	65.9	
Total	---	---	---	506.8	---	

Fuente: Elaboración propia

La temperatura media mensual durante el periodo experimental varió dentro un rango favorable para el cultivo de papa (Figura 3.1). Los promedios de las temperaturas máximas, medias y mínimas fueron de 20.5, 10.3 y 2.9°C, respectivamente.

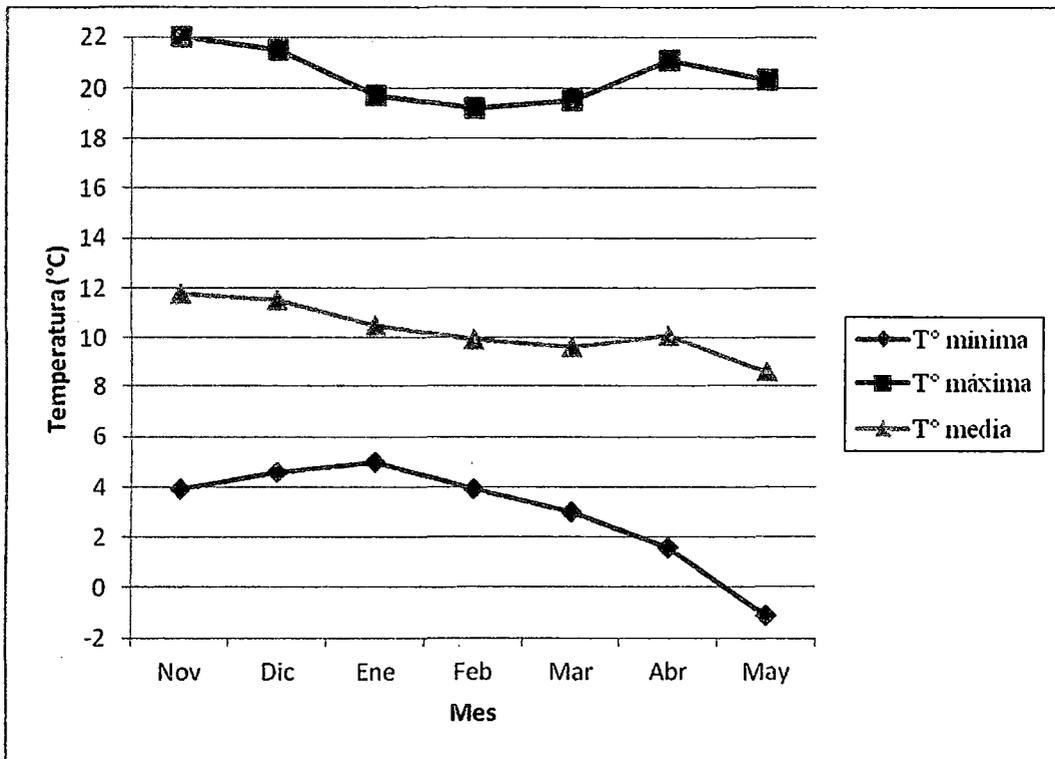
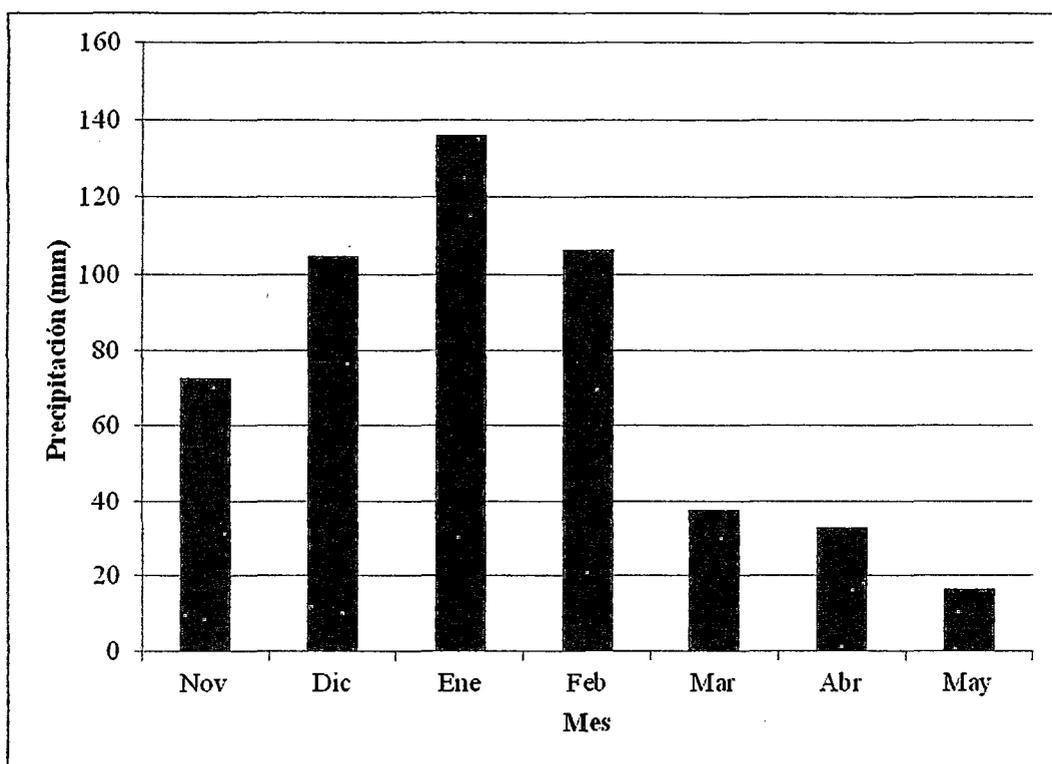


Figura 3.1. Variación mensual de las temperaturas media, máxima y mínima (°C) durante el periodo experimental (noviembre 2007 – mayo 2008) en la comunidad de Aramachay



**Figura 3.2. Variación de la precipitación acumulada mensual (mm) durante el periodo experimental (noviembre 2007 – mayo 2008) en la comunidad de Aramachay**

La precipitación superó los 100 mm/mes entre diciembre del 2007 a febrero del 2008 (Figura 3.2) pero mostró un notorio descenso a partir de marzo del 2008 (37.6 mm), período en el cual el cultivo se encontraba entre la fase de primera y segunda floración y había alcanzado su máximo desarrollo vegetativo. La pluviosidad total acumulada durante la campaña de papa en Aramachay fue de 506.8 mm.

La temperatura y la precipitación acumulada durante el periodo de estudio mostraron valores favorables para el normal crecimiento y desarrollo del cultivo. Los periodos de helada ocurrieron a partir de mayo, luego de la declinación del follaje.

### **3.2 Material vegetal**

La semilla de papa cv 'Huayro' (*Solanum x chaucha* Juz. et Buk) empleada en el experimento fue proporcionada por el agricultor y obtenida en un campo comercial durante la campaña anterior (2006-2007) a partir de semilla certificada del Instituto Nacional de Innovación Agraria. Los tubérculos semilla presentaron diámetro y peso variables (entre 60 a 160 g por tubérculo). No se realizó selección de semilla por tamaño previa a la siembra.

Antes del experimento, la semilla fue almacenada bajo luz difusa y espolvoreada con ceniza. No se aplicaron productos fungicidas ni insecticidas a la semilla.

### **3.3 Fuentes orgánicas ensayadas**

Tres fuentes orgánicas preparadas a partir de insumos locales, fueron ensayadas: un estiércol fermentado de corral y dos compost, preparados con estiércol mixto y paja de cebada en proporciones de 1:1 y 2:1. La obtención y forma de preparación de las fuentes orgánicas se detalla a continuación:

#### **3.3.1 Preparación del estiércol fermentado de corral**

El estiércol fermentado fue obtenido del corral propiedad del agricultor. Estuvo compuesto de una mezcla de estiércoles animales (vacunos, ovinos, burros, y cuyes) con materiales de origen vegetal (paja de cebada, heno, desechos de cocina) y cenizas.

El estiércol fue preparado de acuerdo al proceso aplicado en la comunidad de Aramachay y descrito por Quispe (2007), consistente en el acumulado de estiércol de diciembre a agosto, escarbado y picado, apilado y mezclado, fermentado y ensacado.

Este abono fue elegido por ser el principal insumo disponible por los agricultores de la comunidad para el abonamiento de los cultivos.

#### **3.3.2 Preparación del compost de paja y estiércol**

Dos pilas de compost fueron instaladas el 01 de agosto del 2007 en una parcela en descanso cercana a la vivienda del agricultor. Se emplearon estiércol mixto de corral y paja de cebada en dos proporciones (1:1 y 2:1 en base al peso fresco). La paja de cebada fue elegida por ser uno de los residuos de cosecha más abundantes en la comunidad. Las bajas proporciones de paja empleadas permitieron que las pilas alcancen una alta temperatura durante el proceso de compostaje a pesar de la baja temperatura ambiental. El estiércol y la paja fueron colocados en capas alternas (0.15 m cada una) hasta una altura de 0.80 m. Ceniza de leña y superfosfato triple de calcio fueron agregados en ambas pilas a una tasa de 1 por ciento (en base al peso fresco). Las pilas fueron volteadas y regadas cada 15 días y los compost colectados tres meses después de la instalación (01 de noviembre del 2007).

El estiércol de corral y los compost fueron tamizados con malla de 10 mm de diámetro, muestreados para su análisis químico y ensacados hasta su aplicación a la siembra del ensayo. Las enmiendas fueron analizadas en el LASPAF-UNALM.

El contenido de nutrientes en las fuentes orgánicas se muestra en la Tabla 3.3. Los compost difirieron marcadamente en su contenido de carbono orgánico, siendo menor en el compost preparado con proporción 1:1 (estiércol vs paja de cebada); por esta razón fueron designados como compost bajo en carbono (CBC) y compost alto en carbono (CAC).

**Tabla 3.3. Propiedades químicas y contenido de nutrientes de las fuentes orgánicas ensayadas**

Parámetros	Estiércol fermentado (EF)	Compost bajo en carbono (CBC)	Compost alto en carbono (CAC)
pH	8.57	7.49	8.29
C.E. (dS/m)	6.84	9.45	4.34
Humedad (% en peso fresco)	12.21	51.82	46.46
M.O. (% en peso seco)	52.60	34.76	45.98
C (%)	22.09	13.80	26.27
N (%)	1.98	1.42	1.80
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0.93	1.05	1.00
K <sub>2</sub> O (%)	2.23	1.93	1.83
CaO (%)	1.72	3.06	2.65
MgO (%)	0.74	0.63	0.51
Na (%)	0.13	0.14	0.13
Relación C/N	11.16	9.72	14.56

Fuente: LASPAF - UNALM

### 3.4 Fertilización química ensayada

Una dosis de fertilización química N, P y K equivalente a 180 – 160 – 200 kg/ha, fue ensayada en el experimento, empleando los fertilizantes indicados en la Tabla 3.4. La dosis fue fraccionada en dos momentos: a la siembra, con la formulación 47 – 160 – 100, junto con todas las dosis de materia orgánica; y al aporque con la fórmula 133 – 0 – 100. La dosis de nitrógeno aplicada fue estimada para un rendimiento de 30 t/ha según se muestra en la Tabla 2.1.

**Tabla 3.4. Fertilizantes y cantidades empleadas por unidad experimental y m<sup>2</sup>**

Fertilizante	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	kg/UE	g/m <sup>2</sup>
	(%)				
Fosfato diamónico	18	46	0	0.34	35.4
Cloruro de potasio	0	0	60	0.32	33.3
Urea	46	0	0	0.25	26.0

El potasio fue fraccionado para aliviar el costo de la fertilización inicial atendiendo a referencias que indican que la dosis fraccionada no produce disminución en el rendimiento (Kelling *et al.*, 2002). La dosis aplicada de fósforo fue calculada para balancear la fertilización.

### 3.5 Definición de los tratamientos

La descripción detallada de los tratamientos aplicados combinando los abonos orgánicos y la fertilización química se resume en la Tabla 3.5.

**Tabla 3.5 Descripción de los tratamientos ensayados**

Tratamiento	Definición	Materia orgánica	Fertilización química (kg/ha)		
		(t/ha)	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
T <sub>1</sub>	Testigo	0.0	0	0	0
T <sub>2</sub>	Estiércol fermentado (EF)	12.50	0	0	0
T <sub>3</sub>	Fertilización química (FQ)	0.0	180	160	200
T <sub>4</sub>	EF+ FQ	12.50	180	160	200
T <sub>5</sub>	Compost bajo en carbono (CBC) + FQ	18.75	180	160	200
T <sub>6</sub>	Compost alto en carbono (CAC) + FQ	18.75	180	160	200

### **3.6 Materiales e insumos**

#### **3.6.1 Materiales e insumos empleados en campo**

- Bolsas de plástico y de papel.
- Balanza de resorte.
- Balanza digital.
- Wincha.
- Cordel.
- Lampa.
- Sacos.
- Tijera de podar.
- Cal o yeso.
- Fichas de registro.
- Útiles de escritorio.
- Cámara fotográfica digital.

#### **3.6.2 Materiales e insumos empleados en laboratorio**

- Estufa.
- Balanza analítica.
- Potenciómetro.
- Conductímetro.
- Beakers de 50 mL.
- Probetas de 50 mL.
- Fiola de 1L.
- Bureta de 50 mL.
- Baguetas.
- Soporte universal.
- Cilindros de metal.
- Bandejas.
- Embudos.
- Papel filtro.
- Agua destilada.

### 3.7 Área de la parcela experimental

El área de la parcela experimental presento las siguientes características:

- Ancho de parcela:  $0.8 \times 3 = 2.4 \text{ m}$
- Longitud de parcela:  $4.0 \text{ m}$
- Área de parcela:  $2.4 \times 4.0 = 9.6 \text{ m}^2$
- Número de surcos por parcela:  $3$
- Número de parcelas por bloque:  $6$
- Longitud del bloque:  $4.8 \text{ m}$
- Ancho del bloque:  $12.0 \text{ m}$
- Área del bloque:  $12.0 \times 4.8 = 57.6 \text{ m}^2$
- Número de bloques (repeticiones):  $3$
- Área neta:  $57.6 \times 3 = 172.8 \text{ m}^2$
- Área calles:  $0 \text{ m}^2$
- Área total:  $172.8 \text{ m}^2$

No se dejaron calles entre bloques para no reducir el área cosechada de la familia productora. La distribución de los tratamientos sobre el campo experimental puede apreciarse en la Figura 3.3:

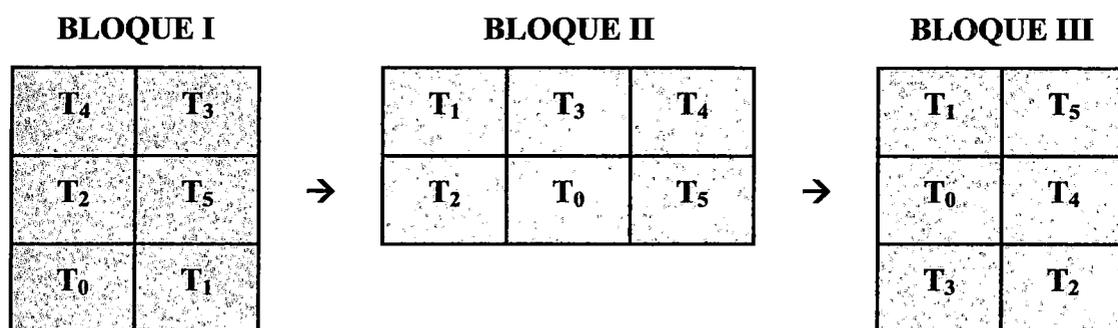


Figura 3.3 Croquis del campo experimental

### 3.8 Manejo agronómico del campo experimental

La preparación del terreno fue efectuada con arado de tracción animal (yunta de bueyes) hasta una profundidad de 20 cm, dejándose el terreno a punto para la siembra.

El campo fue sembrado el 20 de noviembre del 2007. La siembra fue efectuada en surcos con un distanciamiento de 0.8 m entre surcos y de 0.4 m entre golpes. La densidad de siembra está estimada en 31 250 plantas/ha. Dado que no se realizó una selección de la semilla previa a la siembra, se emplearon uno a dos tubérculos por golpe dependiendo del tamaño del tubérculo semilla. El peso de los tubérculos empleados resultó en una alta cantidad de semilla, empleándose 45 kg de tubérculos semilla en el área experimental, equivalentes a 2600 kg/ha.

Las fechas y las principales labores realizadas durante la campaña de papa en Aramachay fueron:

- 20-11-2007: Siembra y primera fertilización.
- 02-02-2008: Aporque y segunda fertilización (\*dds 73)
- 27-03-2008: Evaluación de parámetros biométricos (\*dds 128)
- 15-05-2008: Evaluación de la cosecha (\*dds 177)

\*días después de la siembra

### **3.9 Características evaluadas**

#### **3.9.1 Características biométricas**

Estas evaluaciones se realizaron en el área de muestreo de cada unidad experimental a los 49 días antes de la cosecha, el 27 de marzo del 2008. El área de muestreo consistió del surco central de cada unidad experimental (descontando los surcos laterales). En el surco central, se descontaron 0.5 m para ambos lados de las parcelas vecinas, para evitar el efecto de borde.

**a. Altura de planta:** En el área de muestreo, cinco plantas seleccionadas al azar fueron medidas con wincha, desde la superficie del suelo hasta la máxima longitud del follaje extendido.

**b. Número de tallos por metro lineal:** En el surco central de evaluación, se midió un metro lineal de surco con wincha. Todos los tallos activos y frescos de papa fueron contados y su número registrado.

**c. Peso fresco de parte aérea:** Dos plantas de porte promedio fueron seleccionadas al azar de cada unidad experimental para la determinación de materia fresca o biomasa. Las plantas fueron cortadas al nivel del suelo y pesadas inmediatamente en una balanza de precisión.

**d. Peso seco de parte aérea:** Una vez que las plantas escogidas de cada parcela llegaron al laboratorio rápidamente se procedió a tomar de cada una de ellas, una porción de 250 g de su materia fresca. Posteriormente se depositaron en bolsas de papel y fueron secadas a estufa con una temperatura de 70°C, hasta alcanzar peso constante. Luego que se extrajeron de la estufa, se volvió a pesarlas obteniéndose el peso seco y el porcentaje de materia seca de las plantas de papa.

### 3.9.2 Componentes de rendimiento

La cosecha se realizó el 15 de mayo del 2008, a los 177 días después de la siembra.

**a. Rendimiento total:** Todos los tubérculos cosechados dentro del área de muestreo fueron pesados.

**b. Rendimiento comercial:** Todos los tubérculos comerciales fueron clasificados de acuerdo a los calibres (primera y segunda) y clasificados de acuerdo a sus categorías.

**c. Rendimiento no comercial** Todos los tubérculos comerciales fueron clasificados de acuerdo a los calibres (tercera, cuarta, quinta, sexta y dañados) y clasificados de acuerdo a sus categorías.

d. **Número de tubérculos por metro cuadrado:** Los tubérculos totales y comerciales dentro de cada categoría, fueron contados para estimar el número promedio por metro cuadrado.

Para la determinación del calibre de los tubérculos cosechados se empleó la Tabla 3.6 de clasificación elaborada por el Ing. Jesús Vera (comunicación personal) a partir de distintas cosechas de papa 'Huayro' en el valle del Mantaro:

**Tabla 3.6 Descripción de los calibres de papa 'Huayro' utilizadas en Aramachay**

<b>Calibre</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Longitud (cm)</b>
Extra	Más de 200	Mayor de 12
Primera	140 – 200	9 – 12
Segunda	90 – 140	7 – 9
Tercera	55 – 90	5 – 7
Cuarta	30 – 55	4 – 5
Quinta	20 – 30	3 – 4
Sexta	Menos de 20	Menos de 3

Fuente: Jesús Vera V. Ing. Agr. Comunicación personal.

e. **Materia seca de tubérculos:** Una muestra de aproximadamente 250 g de tubérculos fueron pesados en fresco, lavados con agua de caño y agua desionizada, cortados en tajadas finas y llevados a estufa a 75 °C hasta peso constante.

### 3.9.3 Análisis químico

Para el análisis químico de los tejidos vegetales se emplearon las metodologías seguidas por el LASPAF-UNALM. Las muestras de follaje de papa y de tubérculos luego de su colecta, fueron lavadas con agua corriente y desionizada, para eliminar los residuos que podrían encontrarse adheridos a la superficie de las hojas.

Las hojas fueron luego secadas a estufa a aproximadamente 70°C hasta peso constante, molidas y empaquetadas para su posterior análisis. Los tubérculos fueron cortados en láminas delgadas, las que fueron secadas al aire por dos a tres días, y posteriormente a estufa a 70°C hasta peso constante, para luego ser molidas y analizadas.

El contenido de carbono en los tejidos de follaje y tubérculo de papa fue determinado mediante digestión vía húmeda en solución de bicromato de potasio y ácido sulfúrico (método de Walkley y Black), y posterior análisis mediante espectrofotómetro de luz visible.

Las muestras fueron atacadas mediante digestión nitro-perclórica; en la solución obtenida se determinaron los contenidos de fósforo mediante colorimetría con el método amino-naftol-sulfónico. El nitrógeno fue determinado por el método de micro-Kjeldahl modificado.

### 3.10 Diseño experimental

Un diseño en Bloques Completamente al Azar (DBCA) con seis tratamientos: un tratamiento testigo, estiércol fermentado, fertilización química y tres fuentes de materia orgánica con fertilización química, con tres repeticiones fue aplicado en el presente experimento, de acuerdo al modelo aditivo lineal siguiente:

$$Y_{(ij)} = \mu + \beta_j + T_i + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

$i = 1, 2, \dots, t$  (tratamientos)

$j = 1, 2, \dots, r$  (bloques)

$Y_{(ij)}$  = Resultados del  $i$ -ésimo tratamiento del  $j$ -ésimo bloque

$\mu$  = Efecto de la media general

$\beta_j$  = Efecto del  $j$ -ésimo bloque

$T_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo tratamiento

$\varepsilon_{ij}$  = Efecto del error experimental

La distribución de grados de libertad para el análisis estadístico, de acuerdo a las fuentes de variación es la Tabla 3.7:

**Tabla 3.7. Distribución de grados de libertad por fuente de variación**

<b>Fuente de variación</b>	<b>Grados de libertad (G.L):</b>	
Tratamientos (T)	$T - 1$	5
Bloques (R)	$R - 1$	2
Error experimental	$(T - 1)(R - 1)$	10
Total	$TR - 1$	17

### **3.11 Tratamiento estadístico**

Los datos obtenidos de la evaluación de variables en los diferentes tratamientos fueron sometidos al análisis de variancia (ANVA). Los promedios fueron comparados mediante la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de significación de 0.05. El análisis estadístico fue realizado empleando el paquete *Agricolae* del ambiente para computación estadística R versión 2.13.2 (R Development Core Team, 2011).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1 Características biométricas en el cultivo de la papa

Los valores promedio obtenidos en la evaluación de características biométricas en el cultivo de papa cv. 'Huayro', pueden apreciarse en la Tabla 4.1. Los resultados obtenidos en cada unidad experimental se detallan en el Anexo 8.1.

**Tabla 4.1 Valores promedio evaluados en las plantas tomadas en campo a los 49 días antes de la cosecha**

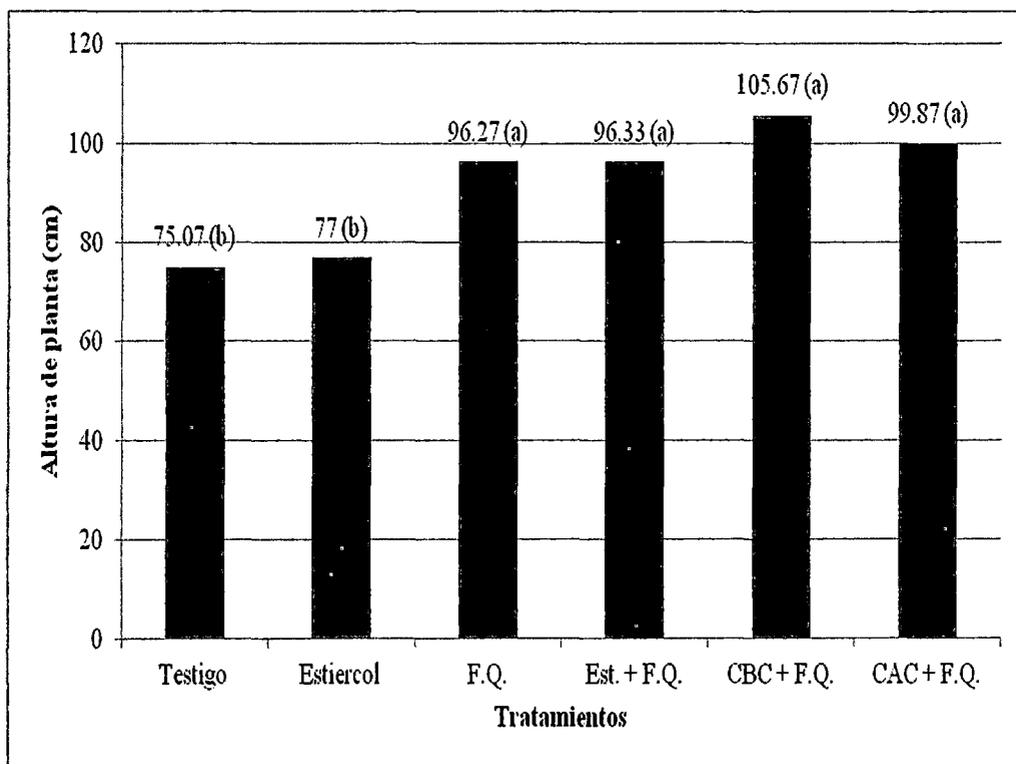
Tratamiento	Altura de planta (cm)	Nº de tallos/m	Peso parte aérea (g/m <sup>2</sup> )		Materia seca (%)
			Fresco	Seco	
Testigo	75.07 b	16.57 a	677.0 c	98.0 c	14.0 a
Estiércol fermentado (EF)	77.00 b	19.13 a	786.0 c	107.0 bc	14.0 a
Fertilización química (FQ)	96.27 a	22.97 a	2422.0 ab	304.0 ab	13.0 a
EF + FQ	96.33 a	22.13 a	2411.0 b	297.0 ab	13.0 a
CBC + FQ	105.67 a	25.00 a	3620.0 a	482.0 a	13.0 a
CAC + FQ	99.87 a	25.33 a	2734.0 ab	351.0 a	13.0 a
Coeficiente de variabilidad (%)	13.10	17.72	20.18	25.63	10.5
Significación en tratamientos	***	NS	***	***	NS
Significación en bloques	***	NS	*	NS	NS

Medias de tratamientos dentro de una columna seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ), de acuerdo a la prueba HSD de Tukey. EF = Estiércol fermentado, FQ = Fertilización química, CBC = Compost bajo en carbono, CAC = Compost alto en carbono. Niveles de significación: . ligeramente significativo, \* significativo, \*\* altamente significativo, \*\*\* muy altamente significativo.

#### 4.1.1 Altura de planta

El análisis de variancia arrojó diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos ( $P > 2.89 \times 10^{-11}$ ) para la altura de planta, de la misma forma halló diferencias entre los bloques ( $P > 6.19 \times 10^{-09}$ ).

La prueba de comparación de medias de Tukey no arrojó diferencia estadística entre el tratamiento testigo y la aplicación de estiércol fermentado, pero comprobó que sí tuvieron discrepancias significativas con los tratamientos de fertilización química, estiércol con fertilización química, compost bajo en carbono con fertilización química y compost alto en carbono con fertilización química, los cuales recibieron aplicación de fertilizantes sintéticos a diferencia de los dos primeros, indistintamente de abono orgánico aplicado, dichos tratamientos tampoco mostraron diferencias estadísticas entre sí. Los mayores valores de altura de planta observados en los tratamientos que recibieron fertilización química pueden atribuirse al efecto del nitrógeno sobre la elongación y crecimiento vegetativo, como lo afirma Sierra *et al* (2002), este elemento estructural estimula el crecimiento, especialmente hojas y tallos, además la planta presenta mayores tasas de crecimiento cuando hay mayor disponibilidad de nitratos (Oyarzun *et al.*, 2002). El efecto de la fertilización sobre la altura de planta se observa en la Figura 4.1.



**Figura 4.1 Efecto de la aplicación de la fertilización sobre la altura de planta (cm) de papa cv. 'Huayro'**

La aplicación de compost y de estiércol incrementa la densidad y la longitud radicular en el cultivo de papa, lo que mejora la absorción de agua y de nutrientes y a su vez el desarrollo vegetativo del cultivo (Stark y Porter, 2005). La aplicación del compost mejora la acción del fertilizante, ya que el humus facilita la absorción de los elementos fertilizantes a través de la membrana celular de las raicillas (Gros y Domínguez, 1992).

Estos efectos se vieron reflejados en este ensayo, sobre el número de tallos por planta, peso fresco y rendimiento, cuyos tratamientos de compost con fertilizante superaron al testigo y a los demás tratamientos.

#### **4.1.2 Número de tallos por metro lineal**

El análisis de variancia no encontró diferencias significativas entre los tratamientos aplicados ( $P > 0.05$ ) para el número de tallos por metro lineal de surco en el cultivo de papa (Anexo 8.12).

Si bien los resultados obtenidos no apuntan a un efecto de la fertilización sobre el número de tallos, esta variable tuvo estrecha relación con la altura de planta, indicando que los resultados podrían ser enmascarados por la variabilidad entre unidades experimentales. Los tratamientos con mayor número de tallos por metro lineal fueron el compost alto en carbono con fertilización química y el compost bajo en carbono con fertilización química.

#### **4.1.3 Peso y materia seca del follaje**

El análisis de variancia arrojó diferencias altamente significativas entre los tratamientos aplicados ( $P > 4.16 \times 10^{-05}$ ) para el peso fresco del follaje (hojas más tallos) en el cultivo de papa (Anexo 8.13), también hay diferencias significativas entre los bloques ( $P > 0.02$ ).

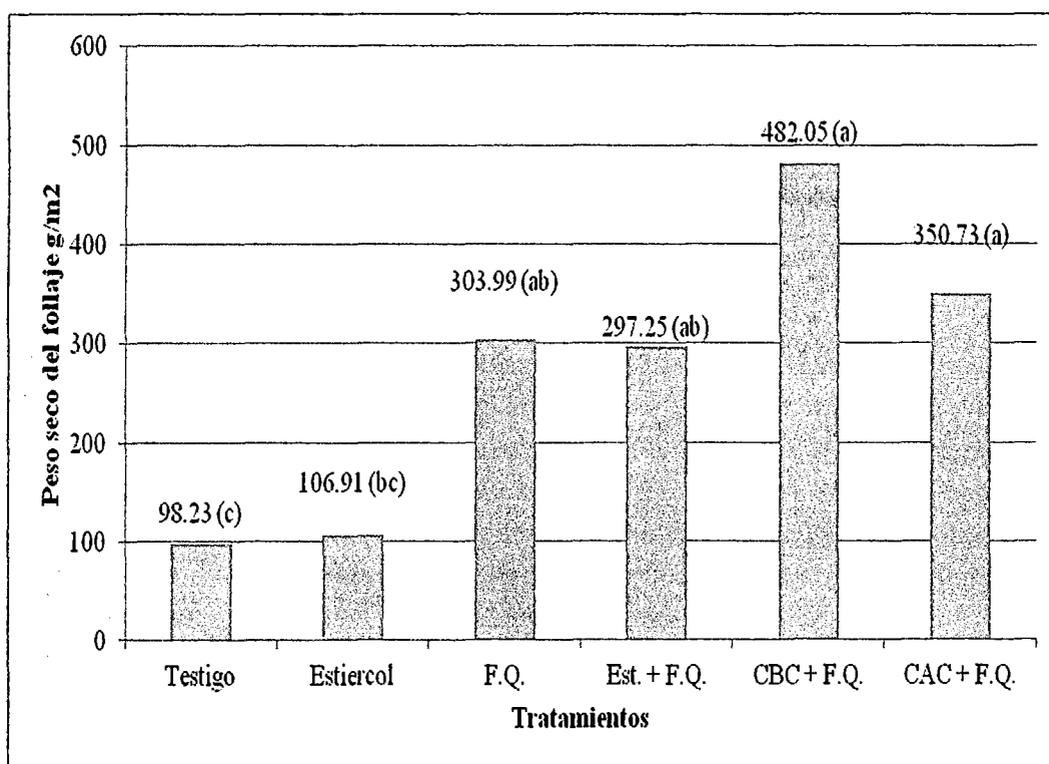
La prueba de comparación de medias de Tukey mostró que no hay diferencias estadísticas entre los tratamientos testigo y estiércol fermentado, los cuales no recibieron fertilización química, también mostraron que dichos tratamientos difieren estadísticamente de aquellos que si recibieron fertilización química. Los tratamientos con mayor peso fresco de follaje fueron el compost bajo en carbono con fertilización química y el compost alto en carbono con fertilización química respectivamente.

Los tratamientos con fertilización química son los que mostraron mayor valor para peso fresco de follaje, estos resultados pueden atribuirse al efecto de la aplicación del nitrógeno en el desarrollo de masa vegetativa y se relacionan directamente con el efecto del compost en la absorción de elementos nutritivos de los fertilizantes sobre el tamaño de planta. Entonces hay un efecto positivo en la aplicación del compost para la acción de los fertilizantes inorgánicos.

El análisis de variancia para el contenido de materia seca del follaje no mostró diferencias significativas ( $P > 0.84$ ) entre los tratamientos aplicados en el cultivo de papa (Anexo 8.14).

Respecto al peso seco del follaje en el cultivo de papa, el análisis de variancia (Anexo 8.15), mostró diferencias altamente significativas entre los tratamientos aplicados ( $P > 0,00037$ ), pero no encontró diferencias entre los bloques ( $P > 0.16$ ).

La prueba de comparación de media de Tukey mostró que los tratamientos sin fertilización química no tienen diferencias estadísticas entre sí, solo en el tratamiento de estiércol fermentado no se encuentran diferencias estadísticas con los tratamientos de fertilización química y estiércol fermentado con fertilización química (Figura 4.2).



**Figura 4.2 Efecto de la fertilización sobre el peso seco del follaje ( $\text{g/m}^2$ ) de papa cv. 'Huayro'**



**Figura 4.3 Cultivo de papa cv. 'Huayro' en plena floración en la comunidad de Aramachay, Huancayo. Arriba: conteo de tallos; abajo: evaluación de biomasa**

Los tratamientos con aplicación de compost y fertilización química tuvieron mayores valores de peso de seco del follaje, lo que se relaciona a la mayor biomasa favorecida por la mejor asimilación de nutrientes.

#### 4.2 Evaluación de la cosecha de la papa

Los valores promedio para las características de calidad de tubérculos de papa correspondientes a cada tratamiento, considerando calibre y número de tubérculos cosechados, se muestran en la Figura 4.4 y 4.5. Los valores promedio del rendimiento, que consideran el número de tubérculos y el peso cosechados con el porcentaje de materia seca, se muestran en la Tabla 4.2 y Tabla 4. respectivamente. Los resultados corresponden al análisis de calidad y rendimiento en el cultivo de papa y calibre de tubérculo en el cv. 'Huayro' (Anexo 8.2, Anexo 8.3, Anexo 8.4).

**Tabla 4.2 Valores promedio del número de tubérculos por metro cuadrado**

Tratamientos	Tubérculos cosechados (U/m <sup>2</sup> )			
	Comerciales	No comerciales	Dañados	Totales
Testigo	5.9 c	13.2 b	3.1c	22.3 c
Estiércol fermentado (EF)	7.9 bc	15.3 ab	3.3 bc	26.6 bc
Fertilización química (FQ)	10.7 ab	26.5 a	4.1bc	41.3 a
EF + FQ	10.2 abc	25.8 ab	7.7 abc	43.7 a
CBC + FQ	11.5 ab	14.2 ab	11.8 a	37.5 ab
CAC + FQ	12.5 a	21.3 ab	9.6 ab	43.4 a
Coefficiente de variabilidad:	15.35	23.35	34.88	14.18
Significación en tratamientos:	**	*	**	**
significación en bloques:	Ns	.	Ns	Ns

Medias de tratamientos dentro de una columna seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ), de acuerdo a la prueba HSD de Tukey. EF = Estiércol fermentado, FQ = Fertilización química, CBC = Compost bajo en carbono, CAC = Compost alto en carbono.

**Tabla 4.3 Valores promedio de las características en relación a la calidad de las muestras en rendimiento de tubérculo (g/m<sup>2</sup>)**

Tratamiento	Rendimiento	Rendimiento	Peso seco de	MS de
	total	comercial	Tubérculos	Tubérculos
		g/m <sup>2</sup>		%
Testigo	992.53 b	524.90 c	276.80c	27.97 a
Estiércol fermentado (EF)	1510.23 b	884.40 b	394.37 bc	26.40 a
Fertilización química (FQ)	2310.30 a	1215.93 b	517.42 ab	22.43 a
EF + FQ	2386.07 a	1114.33 b	615.64 ab	25.77 a
CBC + FQ	2335.57 a	1165.03 b	556.62 ab	23.67 a
CAC + FQ	2894.40 a	1664.10 a	697.48 a	24.10 a
Coefficiente de variabilidad:	11.18	11.26	16.07	36.99
Significación en tratamientos:	***	***	**	Ns
Significación en bloques:	Ns	Ns	Ns	Ns

Medias de tratamientos dentro de una columna seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ), de acuerdo a la prueba HSD de Tukey. EF = Estiércol fermentado, FQ = Fertilización química, CBC = Compost bajo en carbono, CAC = Compost alto en carbono.

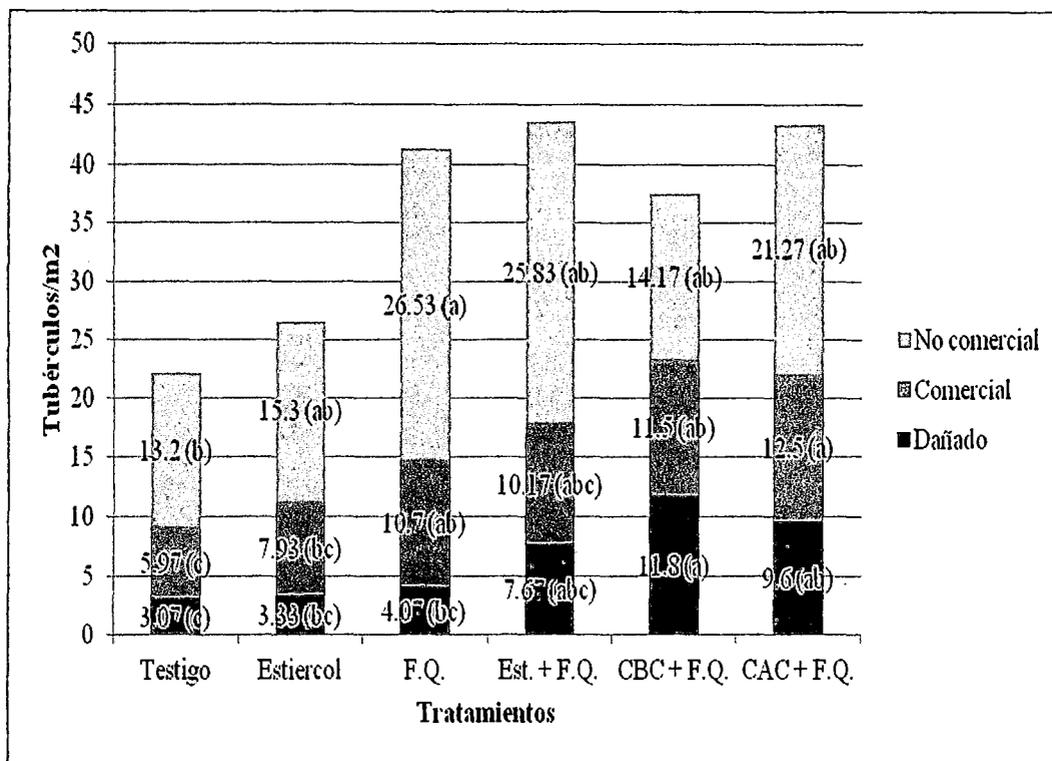
#### 4.2.1 Número de tubérculos

El análisis de variancia arrojó diferencias estadísticas entre los tratamientos aplicados ( $P > 0.0013$ ) para el número total de tubérculos por metro cuadrado en el cultivo de papa (Anexo 8.16), pero no halló diferencias estadísticas para los bloques ( $P > 0.23$ ).

La prueba de comparación de medias de Tukey mostró que los tratamientos testigo y estiércol fermentado sin fertilización química no tienen diferencias significativas entre sí, siendo superados estadísticamente por los tratamientos con fertilización química, estos últimos no presentan diferencias estadísticas entre sí. Los tratamientos con mayor número de tubérculos fueron el estiércol fermentado con fertilización química y el compost alto en carbono con fertilización química respectivamente.

Los tratamientos con fertilización química resultaron con el mayor número de tubérculos por metro cuadrado, entonces existe relación con la cantidad de tallos presentes en los mismos tratamientos, es decir que existe la relación a mayor número de tallos mayor número de tubérculos, según Oyarzun *et al* (2002) con el aumento de la densidad de tallos, disminuye el número de tubérculos por tallo, pero aumenta el

número de tubérculos por unidad de área. El efecto de los tratamientos en el número de tubérculos por m<sup>2</sup> de terreno se aprecia en la Figura 4..



**Figura 4.4 Efecto de la fertilización sobre el número de tubérculos por m<sup>2</sup> de papa cv. 'Huayro'**

Respecto al número comercial de tubérculos, existen diferencias estadísticas (Anexo 8.17) entre los tratamientos aplicados ( $P > 0.003$ ), pero no se encontraron diferencias estadísticas entre los bloques ( $P > 0.30$ ).

Mediante la prueba de comparación de Tukey se determinó que los tratamientos sin fertilización química no tienen diferencias estadísticas con el tratamiento estiércol fermentado con fertilización química, pero analizando los tratamientos con fertilización química son superiores y diferentes estadísticamente a los tratamientos sin fertilización química. Los tratamientos con mayor número de tubérculos comerciales fueron compost alto en carbono con fertilización química y compost bajo en carbono con fertilización química respectivamente.

También se hallaron diferencias significativas entre los tratamientos para el número de tubérculos no comerciales ( $P > 0.013$ ) en el cultivo de papa (Anexo 8.18), del mismo modo hay diferencias estadísticas entre los bloques ( $P > 0.095$ ), los tratamientos con

mayor número de tubérculos no comerciales fueron el de fertilización química y estiércol fermentado con fertilización química respectivamente.

Así mismo, se encontraron diferencias altamente significativas entre los tratamientos aplicados ( $P > 0.003$ ) para el número de tubérculos dañados en el cultivo de papa (Anexo 8.19), pero no se hallaron diferencias estadísticas entre los bloques ( $P > 0.25$ ).

Según el análisis de comparación de medias de Tukey, los tratamientos de estiércol fermentado, compost bajo en carbono y compost alto en carbono con fertilización química no son significativamente diferentes entre sí y con valores superiores al resto de tratamientos, los tratamientos estiércol fermentado con fertilización química, fertilización química, estiércol fermentado y el testigo no presentan diferencias estadísticas entre sí, los tratamientos con mayor número de tubérculos dañados fueron el compost bajo en carbono y compost alto en carbono con fertilización química respectivamente.

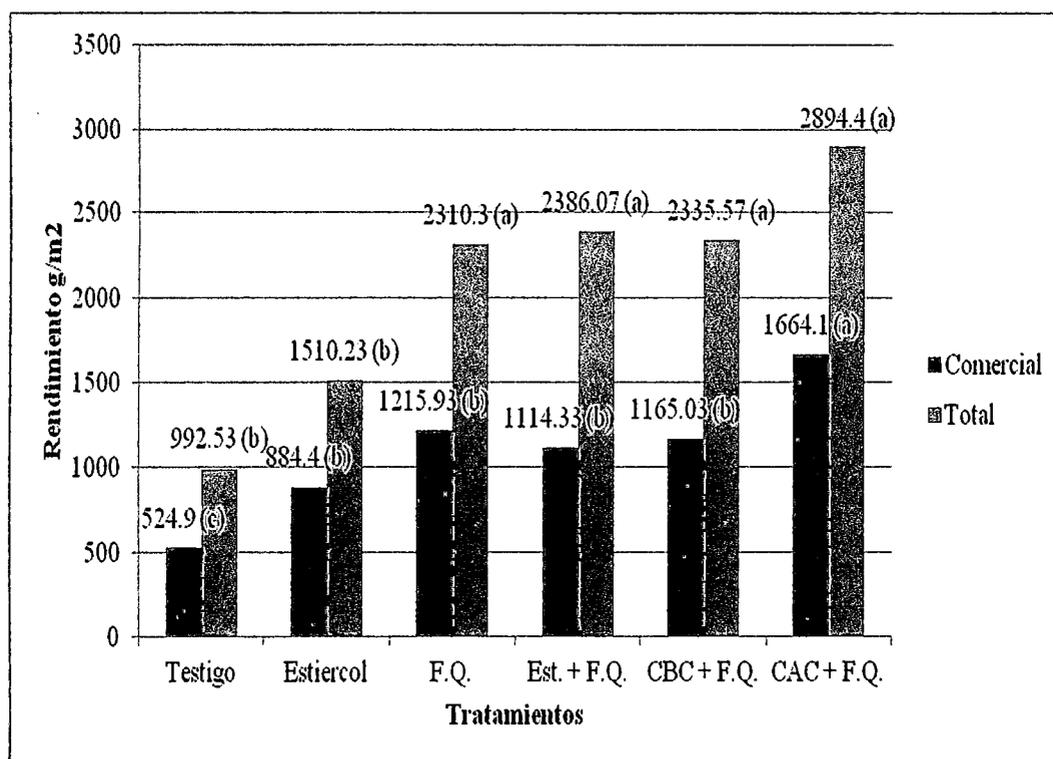
#### **4.2.2 Rendimiento total y comercial**

El análisis de variancia demostró que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos aplicados ( $P > 1.78 \times 10^{-05}$ ) para el rendimiento total en  $\text{g/m}^2$  para el cultivo de papa (Anexo 8.20), pero no encontró diferencias estadísticas para los bloques ( $P > 0.42$ ).

Según el análisis de comparación de medias de Tukey, los tratamientos sin fertilización química no tienen diferencias estadísticas entre sí, los tratamientos con fertilización química no tienen diferencias estadísticas entre sí, pero son superiores a los tratamientos sin fertilización química. Los tratamientos con mayor rendimiento fueron el compost alto en carbono con fertilización química y el estiércol con fertilización química respectivamente.

Los tratamientos con fertilización química y específicamente el que tiene la aplicación de compost presenta el mayor valor de rendimiento en  $\text{g/m}^2$ , lo que muestra que se mantiene la relación inicial con respecto al efecto de la fertilización nitrogenada y la respuesta a la aplicación de compost, las plantas con mejor desarrollo de follaje son más eficientes en la fotosíntesis, complementando su desarrollo con una mejor masa radicular, según Sincik *et al* (2008), un alto nivel de materia orgánica en el suelo pueden favorecer la mayor mineralización de nitrógeno, también puede conducir a la lixiviación

de nitratos si el uso de fertilizantes nitrogenados es excesiva, el cultivo de papa responde de manera significativa a la irrigación y la fertilización, los resultados, desde el período de dos años, indicó que el rendimiento del tubérculo de la papa y sus componentes aumentaron de manera significativa con mayores tasas de nitrógeno, también la respuesta en el rendimiento de la papa varía significativamente de acuerdo a los abonos verdes aplicados. El efecto de los tratamientos sobre los rendimientos total y comercial de tubérculos se aprecia en la Figura 4.5.



**Figura 4.5 Efecto de la fertilización sobre el rendimiento de tubérculos de papa cv. 'Huayro' (g/m<sup>2</sup>)**

De acuerdo con el análisis de variancia se hallaron diferencias altamente significativas entre los tratamientos (Anexo 8.21) del rendimiento comercial ( $P > 1.38 \times 10^{-05}$ ), pero no se hallaron diferencias entre los bloques ( $P > 0.24$ ).

El análisis de comparación de medias de Tukey encontró que el tratamiento testigo fue superado y tiene diferencias estadísticas por los tratamientos estiércol fermentado, estiércol fermentado con fertilización química, compost bajo en carbono con fertilización química y fertilización química respectivamente, los cuales no tienen diferencias estadísticas entre sí, del mismo modo estos tratamientos tienen diferencias

estadísticas y fueron superados por el tratamiento del compost alto en carbono con fertilización química.



**Figura 4.6 Cosecha de papa cv. 'Huayro' en la comunidad de Aramachay. Arriba: clasificación de tubérculos, abajo: vistas de tubérculos de categorías Extra y Primera**

### 4.2.3 Materia seca de los tubérculos

El análisis de variancia arrojó diferencias significativas entre los tratamientos aplicados ( $P > 0.001$ ) para el peso seco de tubérculos del cultivo de papa (Anexo 8.22), pero no encontró diferencias estadísticas para los bloques ( $P > 0.95$ ).

La prueba de comparación de medias de Tukey mostró que los tratamientos sin fertilización química fueron los de menor valor y no mostraron diferencias estadísticas, así mismo los tratamientos con fertilización química fueron superiores, los tratamientos con mayor peso seco de tubérculos fueron el compost alto en carbono y estiércol fermentado con fertilización química respectivamente.

De acuerdo a estos resultados los tratamientos con fertilización química y aplicación de alguna fuente de materia orgánica, tienen los mayores valores de materia seca de tubérculo, Van Delsen (2001) refiere que a la cosecha de papa a tasas más altas de nitrógeno aumentó el peso seco del tubérculo y presento mayor absorción de nitrógeno en el tubérculo, independientemente de la época y el cultivar.

Según el análisis de variancia no se encontraron diferencias estadísticas para los tratamientos ( $P > 0.13$ ) en el porcentaje de materia seca de tubérculos (Anexo 8.23).

En este caso, los tratamientos sin fertilización química testigo y estiércol fermentado respectivamente, fueron los de mayor porcentaje de materia seca, estos resultados podrían explicarse por Laboski y Kelling (2007), Ellos sostienen que la adición de nitrógeno y potasio, especialmente a tasas excesivas, pueden reducir los sólidos del tubérculo, y que las fuentes que presenten un mayor índice de salinidad o los que se añaden sales adicionales reducirán los sólidos del tubérculo aún más. Los niveles excesivos en el suelo de uno o ambos nutrientes tienen un efecto similar. Adiciones anteriores o actuales de estiércol en grandes cantidades podrían reducir de los niveles de gravedad específica del tubérculo. La adición de fósforo, especialmente cuando el análisis de suelo muestra niveles por debajo del óptimo, puede aumentar la gravedad del tubérculo. También hay que tomar en cuenta que dosis excesivas de nitrógeno en papa pueden prolongar el ciclo vegetativo, reducir el porcentaje de materia seca de los tubérculos, provocar acame y aumentar la susceptibilidad de la planta a enfermedades. En algunos casos favorece el crecimiento exagerado del follaje, reduciendo la producción de tubérculos (Oyarzun *et al.*, 2002).

### 4.3 Extracción de nutrientes en el cultivo de la papa

Los valores promedio de extracción de nutrientes del cultivo de papa y asimilación de carbono (follaje y tubérculos) para cada tratamiento se muestran en la

Tabla 4. Los resultados corresponden al análisis de asimilación de carbono y extracción de nutrientes del cultivo de papa cv. 'Huayro' se encuentran en el Anexo 8.5, Anexo 8.6, Anexo 8.7 y Anexo 8.8.

**Tabla 4.4 Extracción media de nitrógeno, fósforo y potasio en el cultivo de papa cv. 'Huayro' (por hectárea y por tonelada de tubérculo cosechado) para los tratamientos aplicados**

Tratamiento	N	P	K	N	P	K
	kg/ha			kg/t		
Testigo	59.53 b	6.57 b	61.63 b	6.06 b	0.67 b	6.25 b
Estiércol fermentado (EF)	89.13 b	9.93 b	110.67 b	5.98 b	0.66 b	7.36 ab
Fertilización química (FQ)	180.20 a	21.23 a	175.03 a	7.82 ab	0.92 ab	7.61 ab
EF + FQ	190.27 a	20.33 a	226.53 a	7.99 ab	0.85 ab	9.50 ab
CBC + FQ	209.47 a	24.70 a	229.57 a	8.89 a	1.05 a	10.07 a
CAC + FQ	187.17 a	27.17 a	228.90 a	6.47 ab	0.94 ab	7.88 ab
Coefficiente de variabilidad	17.59	18.48	13.11	13.77	13.74	14.92
Significación en tratamientos	***	***	***	*	*	*
Significación en bloques	Ns	Ns	.	Ns	Ns	Ns

Medias de tratamientos dentro de una columna seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ), de acuerdo a la prueba HSD de Tukey. EF = Estiércol fermentado, FQ = Fertilización química, CBC = Compost bajo en carbono, CAC = Compost alto en carbono.

**Tabla 4.5 Valores promedio de los parámetros evaluados en relación a la asimilación de carbono y extracción de nutrientes en el cultivo de papa cv. 'Huayro' (g/m<sup>2</sup>)**

Tratamiento	C		N		P		K	
	g/m <sup>2</sup>		g/m <sup>2</sup>		g/m <sup>2</sup>		g/m <sup>2</sup>	
	Follaje	Tubérculo	Follaje	Tubérculo	Follaje	Tubérculo	Follaje	Tubérculo
Testigo	42.75 b	127.84 c	2.22 c	3.73 c	0.27 b	0.39 d	1.57 c	4.60 d
Estiércol fermentado (EF)	42.62 b	178.87 bc	2.46 c	6.45 bc	0.28 b	0.71 cd	3.05 bc	8.02 cd
Fertilización química (FQ)	127.25 ab	234.95 abc	8.63 ab	9.39 ab	1.04 a	1.08 bc	6.89 abc	10.61 bc
EF + FQ	116.61 ab	295.65 a	7.83 b	11.20 a	0.74 ab	1.29 ab	8.56 ab	14.10 ab
CBC + FQ	198.98 a	257.87 ab	12.43 a	8.52 ab	1.14 a	1.33 ab	10.30 a	12.66 ab
CAC + FQ	137.72 a	306.59 a	8.03 b	10.69 ab	1.02 a	1.69 a	7.67 abc	15.22 a
Coefficiente de variabilidad	28.41	17.28	19.47	18.86	31.79	18.01	36.48	14.15
Significación en tratamientos	***	**	***	**	**	***	**	***
Significación en bloques	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns		Ns

Medias de tratamientos dentro de una columna seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ), de acuerdo a la prueba HSD de Tukey. EF = Estiércol fermentado, FQ = Fertilización química, CBC = Compost bajo en carbono, CAC = Compost alto en carbono.

### 4.3.1 Asimilación de carbono en el follaje y tubérculos

El análisis de variancia arrojó diferencias altamente significativas entre los tratamientos aplicados ( $P > 0.002$ ) para la cantidad de carbono asimilado por el follaje del cultivo de papa (Anexo 8.24), pero no mostró diferencias entre los bloques ( $P > 0.92$ ).

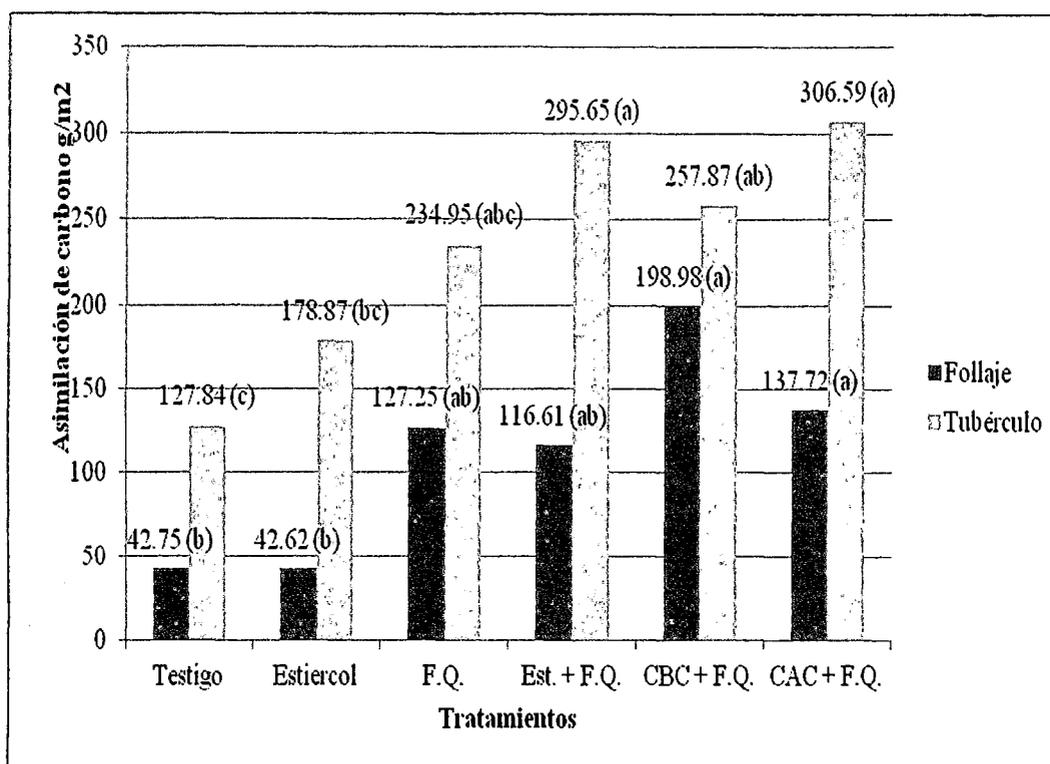
La prueba de comparación de medias de Tukey mostró que los tratamientos testigo y estiércol fermentado, son los de menor valor y no tienen diferencias estadísticas con el tratamiento con fertilización química, así mismo los tratamientos con fertilización química, compost bajo en carbono, estiércol fermentado y compost alto en carbono con fertilización química son superiores respectivamente y no tienen diferencias estadísticas entre sí.

El análisis de variancia mostró diferencias altamente significativas entre los tratamientos aplicados ( $P > 0.0008$ ) para la cantidad de carbono asimilado por el tubérculo en el cultivo de papa (Anexo 8.25), pero no encontró diferencias entre los bloques ( $P > 0.28$ ).

La prueba de comparación de medias de Tukey mostró que los tratamientos sin fertilización química son los de menor valor y no tienen diferencias estadísticas entre sí, del mismo modo los tratamientos con fertilización química son superiores respectivamente y no tienen diferencias estadísticas entre sí.

Las condiciones favorables de riego y las diferencias de temperatura entre el día y la noche favorecen la translocación de carbono hacia el tubérculo. La aplicación de materia orgánica en el suelo puede incrementar la solubilidad del fósforo y contribuir con altas cantidades. El potasio promueve la translocación de los azúcares hacia los tubérculos, un efecto contrario a esto causaría la acumulación del carbono en las hojas (Erich *et al.*, 2002).

Existe entonces un efecto positivo entre la aplicación de compost y fertilizante químico y la asimilación de carbono por parte del follaje y de tubérculos, siendo mayor en el caso de los tubérculos. El efecto de la aplicación de los tratamientos en la asimilación de carbono por parte del cultivo de papa se muestra en la Figura 4.7.



**Figura 4.7 Efecto de los tratamientos en la asimilación de carbono en el cultivo de papa cv. 'Huayro' (g/m<sup>2</sup>)**

### 4.3.2 Extracción de nitrógeno en el follaje y tubérculos

El análisis de variancia mostró que existen diferencias altamente significativas ( $P > 2.18 \times 10^{-05}$ ) entre los tratamientos aplicados para la cantidad de nitrógeno extraído por el follaje del cultivo de papa (Anexo 8.26), pero no encontró diferencias entre los bloques ( $P > 0.21$ ).

La prueba de comparación de medias de Tukey encontró que los tratamientos sin fertilización química como el testigo y estiércol fermentado presentaron los menores valores para la extracción de nitrógeno y además no tienen diferencias estadísticas entre sí, los tratamientos estiércol fermentado, compost alto en carbono y fertilización química son superiores y no tienen diferencias estadísticas entre sí, los tratamientos con fertilización química y compost bajo en carbono presentan los más altos valores respectivamente y no tienen diferencias estadísticas entre sí.

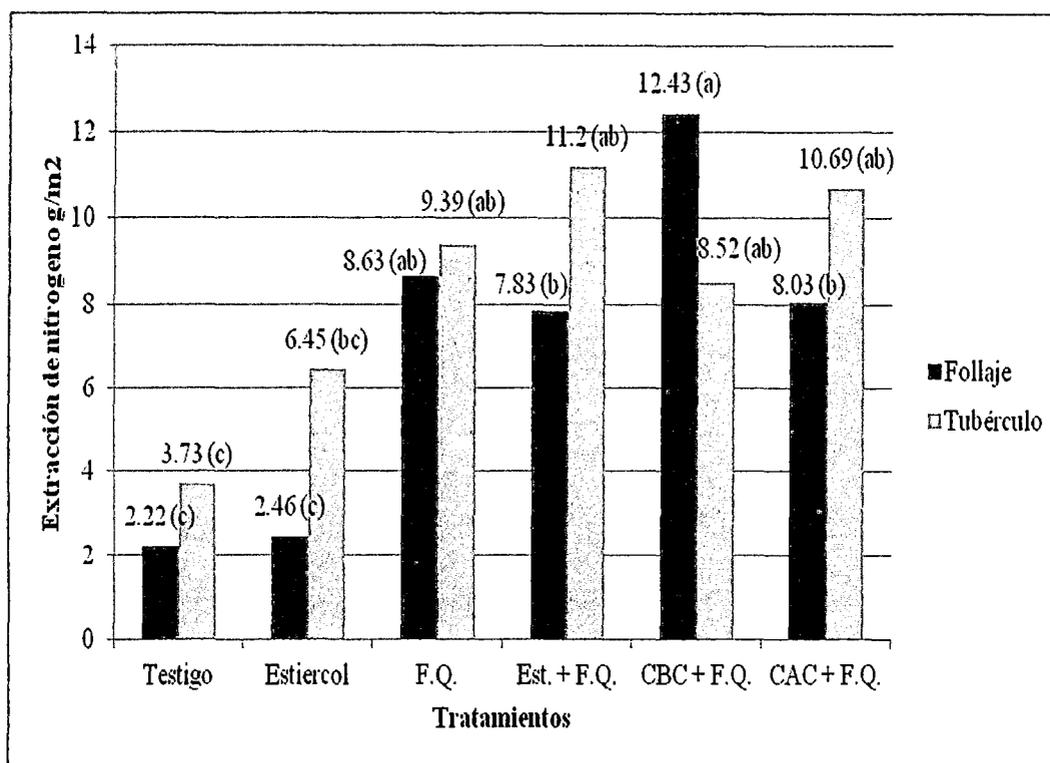
El análisis de variancia efectuado para el parámetro extracción de nitrógeno por los tubérculos (Anexo 8.27), mostró diferencias altamente estadísticas entre los tratamientos ( $P > 0.001$ ), pero no encontró diferencias entre los bloques ( $P > 0.26$ ).

La prueba de comparación de medias de Tukey mostró a los tratamientos sin fertilización con los menores valores para la extracción de nitrógeno no tienen diferencias estadísticas entre sí, los tratamientos con fertilización química compost bajo en carbono, fertilización química, compost alto en carbono y estiércol fermentado son superiores respectivamente y no tienen diferencias estadísticas entre sí.

El análisis de variancia para la extracción de nitrógeno por tonelada de tubérculo ( $P > 0.02$ ) en cultivo de papa (Anexo 8.413), mostró diferencias estadísticas entre los tratamientos, pero no encontró diferencias entre los bloques ( $P > 0.33$ ).

La prueba de comparación de media mostró que los tratamientos sin fertilización química estiércol fermentado y testigo son los de menor valor respectivamente y no tienen diferencias significativas con los tratamientos con fertilización química compost alto en carbono, fertilización química y estiércol fermentado respectivamente. El tratamiento de compost bajo en carbono y fertilización química es superior a todos los demás.

Existe un efecto positivo para la extracción de nitrógeno por parte del follaje y de los tubérculos en los tratamientos con aplicación de abono orgánico (compost) y fertilizantes. Se puede comprobar el efecto de la materia orgánica en la absorción del nitrógeno del suelo, al estimular el crecimiento radicular. Además, la materia orgánica migra hacia los horizontes más profundos del suelo, más abajo de donde fue incorporado el abono orgánico, contribuyendo a mejorar algunas propiedades de fertilidad de las capas más profundas. Por ejemplo, las concentraciones de nitrógeno y carbono son incrementadas gradualmente por adiciones de la composta (Mora, 2006). El efecto de la aplicación de los tratamientos en la extracción de nitrógeno en el cultivo de papa cv. 'Huayro' se muestran en la Figura 4.8.



**Figura 4.8 Efecto de los tratamientos sobre la extracción de nitrógeno en el cultivo de papa cv. 'Huayro' (g/m<sup>2</sup>)**

### 4.3.3 Extracción de fósforo en el follaje y tubérculos

El análisis de variancia para la extracción de fosforo en el follaje del cultivo de papa (Anexo 8.28) mostró diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos ( $P > 0.003$ ), pero no encontró diferencias entre los bloques ( $P > 0.17$ ).

La prueba de comparación de medias de Tukey encontró que los tratamientos sin fertilización química (T y EF) tienen los menores valores de extracción de fósforo y no tienen diferencias estadísticas con el tratamiento con fertilización química y estiércol fermentado, a su vez este último no tiene diferencias estadísticas con los tratamientos con fertilización química compost alto en carbono, fertilización química y compost bajo en carbono.

Para la extracción de fosforo por los tubérculos de papa (Anexo 8.29) el análisis de variancia mostró diferencias altamente significativas para los tratamientos ( $P > 0.0001$ ), pero no encontró diferencias entre los bloques ( $P > 0.76$ ).

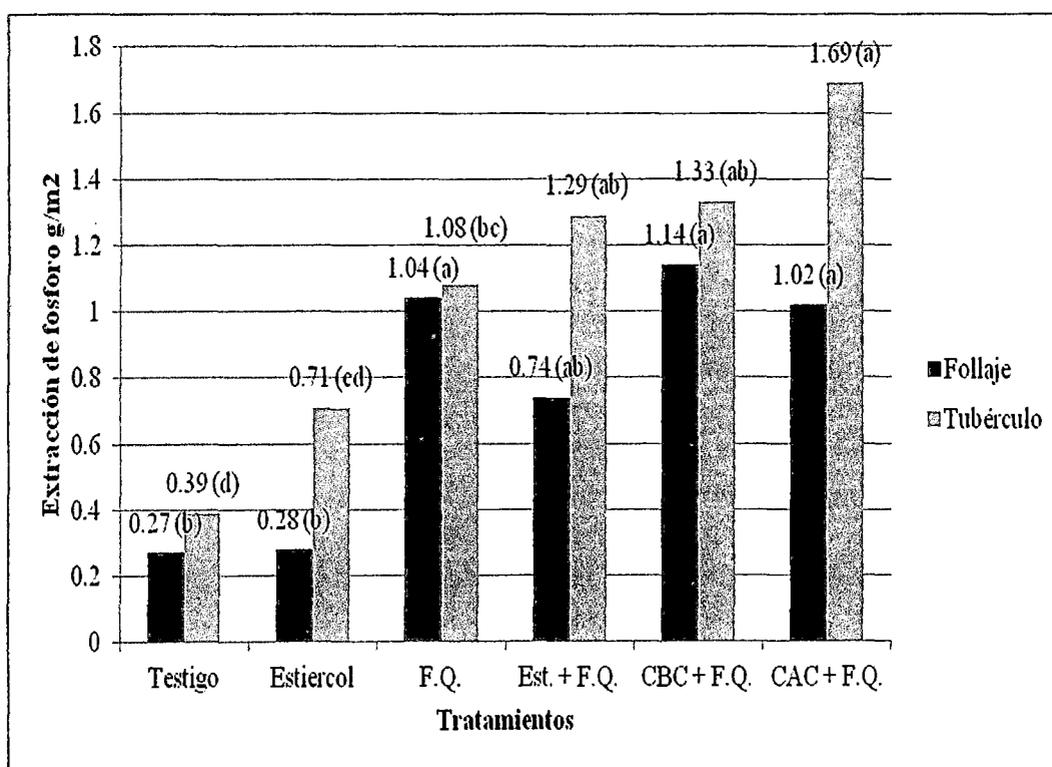
Según la prueba de comparación de medias de Tukey, los tratamientos sin fertilización química mostraron los valores más bajos y no tienen diferencias estadísticas entre sí,

estos tratamientos son superados por los tratamientos con fertilización química y en mezcla con estiércol fermentado y compost bajo en carbono respectivamente, los cuales no presentan diferencias estadísticas entre sí, el tratamiento compost alto en carbono y fertilización química supera a los anteriores.

El análisis de variancia para la extracción de fósforo por tonelada de tubérculo ( $P > 0.01$ ) en cultivo de papa (Anexo 8.44), mostró diferencias estadísticas entre los tratamientos, pero no encontró diferencias entre los bloques ( $P > 0.43$ ).

La prueba de comparación de media muestra que los tratamientos sin fertilización química estiércol fermentado y testigo son los de menor valor respectivamente y no tienen diferencias significativas con los tratamientos con fertilización química en mezcla con estiércol fermentado, fertilización química y compost alto en carbono respectivamente. El tratamiento de compost bajo en carbono y fertilización química es superior a todos los demás.

El efecto de la aplicación de los tratamientos en la extracción de fósforo en el cultivo de papa cv. 'Huayro' se muestra en la Figura 4.9.



**Figura 4.9** Efecto de los tratamientos en la extracción de fósforo por el follaje y tubérculos de papa cv. 'Huayro'

#### 4.3.4 Extracción de potasio en el follaje y tubérculos

El análisis de variancia para la extracción de potasio en el follaje del cultivo de papa (Anexo 8.30) mostró que existen diferencias altamente significativas para los tratamientos ( $P > 0.007$ ), además encontró diferencias estadísticas entre los bloques ( $P > 0.084$ ).

De acuerdo a la prueba de comparación de medias de Tukey, los tratamientos testigo y estiércol fermentado sin fertilización química mostraron los valores más bajos de extracción respectivamente y no tienen diferencias estadísticas con los tratamientos con fertilización química y compost alto en carbono con fertilización química, estos dos últimos no presentan diferencias estadísticas con los tratamientos con fertilización química compost bajo en carbono y estiércol fermentado que presentan los valores más altos de extracción respectivamente.

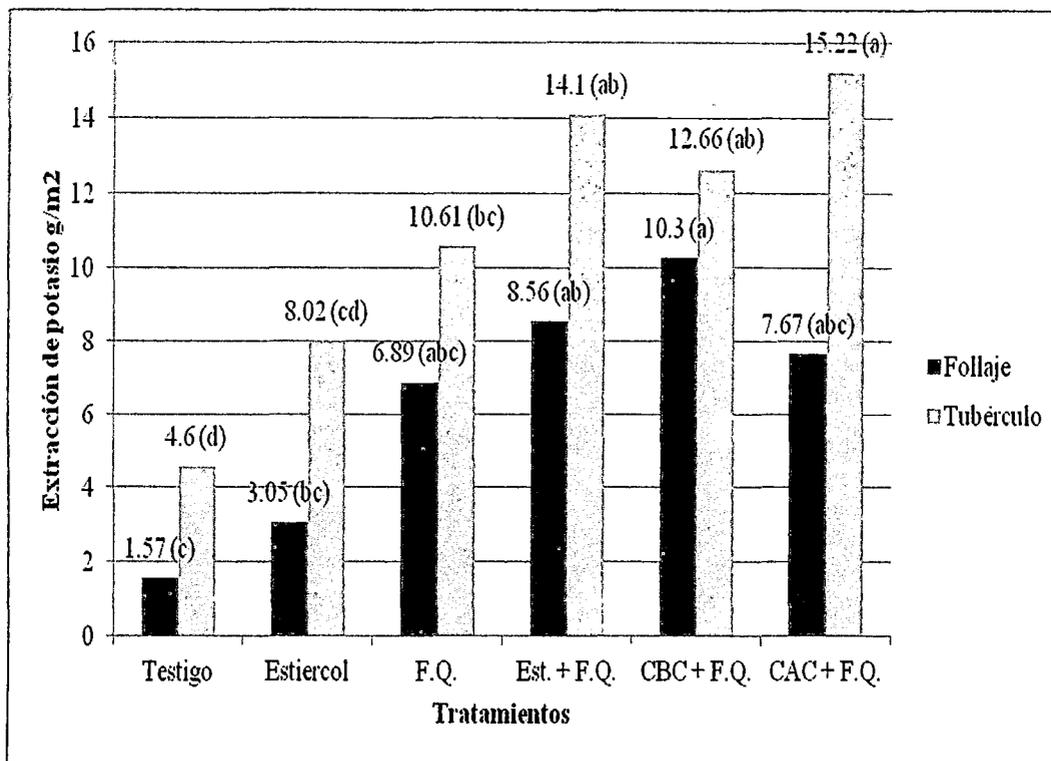
Según el análisis de variancia para la extracción de potasio por parte de los tubérculos de papa (Anexo 8.31) hay diferencias altamente significativas entre los tratamientos ( $P > 6.02 \times 10^{-05}$ ), pero no encontró diferencias entre los bloques ( $P > 0.61$ ).

La prueba de comparación de medias mostró que los tratamientos testigo y estiércol fermentado sin fertilización química son los de menor valor respectivamente y no tienen diferencias significativas entre sí, los cuales son superados por los tratamientos estiércol fermentado, compost bajo en carbono y estiércol fermentado con fertilización química, respectivamente; los que no presentaron diferencias estadísticas entre sí. El tratamiento compost alto en carbono y fertilización química fue superior a todos los demás.

El análisis de variancia para la extracción de potasio por tonelada de tubérculo ( $P > 0.03$ ) en cultivo de papa, mostró diferencias estadísticas entre los tratamientos, pero no encontró diferencias entre los bloques ( $P > 0.11$ ).

La prueba de comparación de medias mostró que los tratamientos testigo y estiércol fermentado sin fertilización química son los de menor valor respectivamente y no tienen diferencias significativas con los tratamientos estiércol fermentado, compost alto en carbono y estiércol fermentado con fertilización química, respectivamente. El tratamiento compost bajo en carbono y fertilización química es superior a todos los demás (Anexo 8.45).

El efecto de la aplicación de los tratamientos en la extracción de potasio en el cultivo de papa cv. 'Huayro' se muestran en la Figura 4.10.



**Figura 4.10 Efecto de los tratamientos en la extracción de potasio por el follaje y tubérculos de papa cv. 'Huayro'**

### 4.3.5 Eficiencia de uso de nitrógeno en el cultivo de la papa

La eficiencia de uso de nitrógeno (EUN) en los tratamientos ensayados fue calculada mediante la fórmula:

$$EUN = \left( \frac{NE_t - NE_0}{NA_f - NA_m} \right) \times 100$$

Dónde:

$NE_t$  = N extraído por la planta (follaje y tubérculos) bajo el n-ésimo tratamiento.

$NE_0$  = N extraído por la planta (follaje y tubérculos) bajo el tratamiento testigo.

$NA_f$  = N aportado por la fertilización inorgánica.

$NA_m$  = N aportado por el abono orgánico.

Los valores promedio de porcentaje de eficiencia de uso de nitrógeno para cada tratamiento se muestran en la Tabla 4.6.

La mayor eficiencia de uso de nitrógeno (67 por ciento) fue alcanzada en el tratamiento que recibió fertilización química sin enmienda orgánica. Este valor es cercano a la eficiencia de la fertilización nitrogenada reportada en literatura. El estiércol fermentado resultó en la menor eficiencia (13.6 por ciento), valor que es inferior al 35 por ciento reportado por Westermann (2005). Los tratamientos con aplicación de enmiendas orgánicas y fertilización, resultaron en valores de eficiencia intermedios. Las extracciones pueden apreciarse en el Anexo 10.7.

**Tabla 4.6 Eficiencia promedio de uso de nitrógeno proveniente de la fertilización en el cultivo de papa ‘Huayro’ en la comunidad de Aramachay**

Tratamiento	N total extraído	N aportado			Eficiencia de uso de N (%)
		Abono orgánico	Fertilizante	Total	
		g/m <sup>2</sup>			
Testigo	5.95	0.00	0	0.00	---
Estiércol fermentado (EF)	8.91	21.73	0	21.73	13.62
Fertilización química (FQ)	18.02	0.00	18.0	18.00	67.06
EF + FQ	19.03	21.73	18.0	39.73	32.92
CBC + FQ	20.95	12.83	18.0	30.83	48.65
CAC + FQ	18.72	18.07	18.0	36.07	35.40

EF = Estiércol fermentado, FQ = Fertilización química, CBC = Compost bajo en carbono, CAC = Compost alto en carbono.

#### 4.3.6 Eficiencia de uso de fósforo en el cultivo de la papa

La eficiencia de uso de fósforo (EUP) en los tratamientos ensayados fue calculada mediante la fórmula:

$$EUP = \left( \frac{PE_t - PE_0}{PA_f + PA_m} \right) \times 100$$

Dónde:

$PE_t$  = P extraído por la planta (follaje y tubérculos) bajo el n-ésimo tratamiento.

$PE_0$  = P extraído por la planta (follaje y tubérculos) bajo el tratamiento testigo.

$PA_f$  = P aportado por la fertilización inorgánica.

$PA_m$  = P aportado por el abono orgánico.

Los valores promedio de porcentaje de eficiencia de uso de fósforo ( $P_2O_5$ ) para cada tratamiento se muestran en la Tabla 4.7.

La eficiencia de uso promedio resulto mayor en el tratamiento con fertilización química, este valor es similar a la máxima eficiencia esperada en la aplicación de fertilizantes sintéticos en el cultivo de papa para el primer año de aplicación, más aun cuando altos contenidos de calcio, pH ácido y suelos fríos afectan la disponibilidad del fosforo. El tratamiento de estiércol fermentado presento la menor eficiencia de uso de fosforo, esto se pudo dar debido al bajo aporte nutricional y la poca disponibilidad del elemento nutricional. Los tratamientos con mezclas de fertilizante y abonos orgánicos presentaron una eficiencia intermedia.

**Tabla 4.7 Eficiencia promedio de uso de fosforo proveniente de la fertilización en el cultivo de papa 'Huayro' en la comunidad de Aramachay**

Tratamiento	$P_2O_5$ total		$P_2O_5$ aportado		Eficiencia de uso de $P_2O_5$ (%)
	extraído	Abono orgánico	Fertilizante	Total	
		g/m <sup>2</sup>			
Testigo	1.51	0.00	0.00	0.00	---
Estiércol fermentado (EF)	2.27	10.20	0.00	10.20	7.40
Fertilización química (FQ)	4.86	0.00	16.00	16.00	20.90
EF + FQ	4.65	10.20	16.00	26.20	11.90
CBC + FQ	5.66	9.50	16.00	25.50	16.20
CAC + FQ	6.21	10.00	16.00	26.00	18.00

EF = Estiércol fermentado, FQ = Fertilización química, CBC = Compost bajo en carbono, CAC = Compost alto en carbono.

#### 4.3.7 Eficiencia de uso de potasio en el cultivo de la papa

La eficiencia de uso de potasio (EUK) en los tratamientos ensayados fue calculada mediante la fórmula:

$$EUK = \left( \frac{KE_t - KE_0}{KA_f + KA_m} \right) \times 100$$

Dónde:

$KE_t$  = K extraído por la planta (follaje y tubérculos) bajo el n-ésimo tratamiento.

$KE_0$  = K extraído por la planta (follaje y tubérculos) bajo el tratamiento testigo.

$KA_f$  = K aportado por la fertilización inorgánica.

$KA_m$  = K aportado por el abono orgánico.

Los valores promedio de porcentaje de eficiencia de uso de potasio ( $K_2O$ ) para cada tratamiento se muestran en la Tabla 4.8.

El tratamiento con fertilización sintética presentó la mayor eficiencia de uso de potasio, sin embargo las combinaciones de materia orgánica y fertilizante presentaron altos valores de eficiencia, cuando se aplican en conjunto los nutrientes (NPK) la eficiencia de potasio y fósforo aumenta sostenidamente.

**Tabla 4.8 Eficiencia promedio de uso de potasio proveniente de la fertilización en el cultivo de papa ‘Huayro’ en la comunidad de Aramachay**

Tratamiento	K <sub>2</sub> O total	K <sub>2</sub> O aportado		Eficiencia de uso de K <sub>2</sub> O (%)	
	extraído	Enmienda orgánica	Fertilizante		Total
		g/m <sup>2</sup>			
Testigo	7.43	0.00	0.00	0.00	---
Estiércol fermentado (EF)	13.34	24.50	0.00	24.50	24.10
Fertilización química (FQ)	21.09	0.00	20.00	20.00	68.30
EF + FQ	27.31	24.50	20.00	44.50	44.60
CBC + FQ	27.67	17.50	20.00	37.50	53.90
CAC + FQ	27.58	18.40	20.00	38.40	52.40

EF = Estiércol fermentado, FQ = Fertilización química, CBC = Compost bajo en carbono, CAC = Compost alto en carbono.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las dosis de nutrientes aplicados a través de la fertilización orgánica y mineral en el presente ensayo se muestran en la Tabla 4.9.

**Tabla 4.9 Dosis de nutrientes aplicados en la fertilización**

Tratamiento	Cantidad y fuente de fertilización (kg/ha)*		
	Orgánica	Inorgánica	Total
Testigo	0 – 0 – 0	0 – 0 – 0	0 – 0 – 0
Estiércol fermentado	217 – 102 – 245	0 – 0 – 0	217 – 102 – 245
Fertilización química	0 – 0 – 0	180 – 160 – 200	180 – 160 – 200
EF + FQ	217 – 102 – 245	180 – 160 – 200	397 – 262 – 445
CBC + FQ	128 – 95 – 175	180 – 160 – 200	308 – 255 – 375
CAC + FQ	181 – 100 – 184	180 – 160 – 200	361 – 260 – 384

\* Los datos corresponden a las dosis aplicadas de N – P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – K<sub>2</sub>O, respectivamente. FQ = Fertilización química, EF = Estiércol fermentado, CAC = Compost alto en carbono, CBC = Compost bajo en carbono.

Según nuestros resultados, la aplicación de fertilización inorgánica a la dosis 180 – 160 – 200 mostró una respuesta positiva en casi todos los parámetros evaluados. La fertilización química incrementó los parámetros biométricos y de rendimiento, debido a su elevada concentración de elementos y la rapidez de su efecto, aumentando su disponibilidad para el cultivo. De acuerdo a la tabla de dosis de nutrientes aplicadas, la combinación de estiércol fermentado y fertilización química aportó una mayor cantidad de nutrientes, sin embargo no es el tratamiento con los mejores valores para los parámetros biométricos y de rendimiento. Esto debido seguramente a que el estiércol fermentado a pesar de tener un alto contenido de nutrientes, tiene una baja tasa de mineralización, además pudiendo retener algunos nutrientes que pueden no ser aprovechables por el cultivo a corto plazo y si la aplicación de fertilizante fuese excesiva podría generar su lixiviación y pérdida.

Analizando la tabla de eficiencia de uso de nitrógeno, se aprecia que el tratamiento con fertilización química y sin materia orgánica presento casi 70 por ciento de eficiencia de uso, pero el aporte global de nitrógeno fue bajo. El aporte global de nitrógeno fue mayor en el caso del estiércol en comparación a la del compost, pero la baja tasa de

descomposición pudo haber resultado en una baja eficiencia de uso, sin embargo aparentemente no hay diferencias entre los compost ya que sus aportes nutricionales son muy semejantes, además Meghan *et al.*, (2004), asegura que los altos rendimientos asociados a los tratamientos con enmiendas orgánicas indican que estos proporcionan otros beneficios más allá del aporte de nitrógeno y fósforo, tales como la adición de otros nutrientes, mejorar la capacidad de retención de agua, aumento de la materia orgánica del suelo, la estimulación de microorganismos benéficos y el aumento de la capacidad de intercambio catiónico.

La presencia del guano fermentado y del compost permite que la acción del fertilizante sintético sea más eficiente y que el cultivo pueda tomar los nutrientes necesarios en el momento que realmente lo requiere. Condiciones de clima templado, la combinación de estiércol y de los tipos reducidos del fertilizante nitrogenado dio lugar a una alta disponibilidad de nitrógeno y una constante liberación de nitratos en la estación de crecimiento, lo que indica una mayor sincronía entre la disponibilidad de nitrógeno y la captación del cultivo de papa para su uso integrado de las fuentes de nitrógeno orgánico e inorgánico (Nyiraneza y Snapp, 2007). En experimentos de rotación con papa, la aplicación de compost resultó en un ligero incremento de la capacidad de retención de agua del suelo, lo cual produjo un incremento significativo del rendimiento de papa, especialmente en años secos (Carter *et al.*, 2004).

En este caso la aplicación de compost tiene mayor beneficio por ser una materia orgánica madura conteniendo sustancias húmicas o precursoras de estas, formando posiciones de adsorción que retengan cationes polivalentes y se formen complejos órgano minerales de mayor capacidad de intercambio catiónico, y así retener mayor cantidad de nutrientes, sincronizándose la liberación de los mismos con la necesidad de extracción del cultivo y disminuyendo la pérdida por lixiviación.

## V. CONCLUSIONES

Los tratamientos que recibieron fertilización química fueron los que resultaron con mayor crecimiento vegetativo como altura de planta y número de tallos en comparación al tratamiento testigo y el tratamiento con estiércol fermentado solo, del mismo modo para los parámetros de peso fresco y materia seca del follaje los tratamientos con fertilización química fueron superiores.

Con respecto al número de tubérculos los tratamientos con fertilización química presentaron superioridad proporcionalmente a la categoría seleccionada y en el rendimiento total de tubérculos, en los tratamientos con fertilización se obtuvo mayor cantidad de tubérculo cosechado por unidad de área.

La fertilización química (180 - 160 - 200) incrementó el rendimiento total de tubérculos y altura de planta. Cuando se aplicó fertilización química, la adición de abonos orgánicos no incrementó el rendimiento total. Tanto el abonamiento químico como orgánico incrementaron el rendimiento comercial, destacando el compost alto en carbono.

La fertilización química fue el factor más determinante sobre la extracción de N, P y K por el cultivo de papa. La mayor extracción de N, P y K por tonelada de tubérculos cosechados se obtuvo cuando la fertilización química se complementó con compost bajo en carbono. La eficiencia de absorción de nitrógeno fue alta en la fertilización química y más baja en la combinación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos.

En general, los mejores resultados tanto en calidad como en producción de tubérculos fueron para las combinaciones de abonos orgánicos y fertilizante químico, estos tuvieron efectos positivos en la mayoría de los parámetros evaluados o fueron superiores al testigo y a las aplicaciones de guano fermentado solo y fertilizante solo, debido seguramente a que el aporte de nutrientes por parte del estiércol fermentado no fue muy alto, además la mineralización de este debió ser muy lenta, así mismo la extracción del cultivo fue significativamente menor tanto el testigo como en el tratamiento con estiércol fermentado solo, debido principalmente a la mayor disponibilidad de nutrientes en los fertilizantes químicos y la mejoría de las propiedades del suelo que aporta el compost.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Se recomienda realizar mayor número de repeticiones (más de tres) para disminuir la variabilidad de los resultados en campo.

Considerar diferentes dosis y formulaciones de enmiendas orgánicas, como distintas dosis de fertilizantes y otras variedades de papas nativas.

Continuar con los ensayos en campo para determinar la recomendación más apropiada para la fertilización de la zona según los cultivos.

Continuar con las investigaciones en relación a la preparación y formulación del compost con insumos de las localidades, pues tiene gran potencial no solo en el ámbito agrícola sino como un método amigable con el medio ambiente que permite reciclar los residuos de la zona.

## VII. BIBLIOGRAFIA

- Azabache L., A. 2003. Fertilidad de suelos para una agricultura sostenible. Primera edición. Huancayo, Perú.
- Biederbeck, V. O.; Rasiah, V.; Campbell, C.A.; Zentner, R.P.; Wen, G. 1998. Soil quality attributes as influenced by perennial forages used as green manure. *Soil Biology and Biochemistry* 30:1177-1185.
- Bowen, W. 2003. A comparative analysis of nutrient management of subsistence and commercial potato-based systems in the Andes of Ecuador and Peru. International Fertilizer Association (IFA) – Food and Agriculture Organization (FAO). Agriculture Conference, 26-28 March 2003. Roma.
- Carter, M. R.; Sanderson, J. B.; MacLeod, J. A. 2004. Influence of compost on the physical properties and organic matter fractions of a fine sandy loam throughout the cycle of a potato rotation. *Canadian Journal of Soil Science*. 84: 211–218.
- Centro Internacional de la Papa (CIP). 2011. Atlas mundial de la papa. (en línea). Consultado 15 nov. 2011. Disponible en <https://research.cip.cgiar.org/>
- Curless, M.; Kelling, K.; Speth, P. 2004. Nitrogen and phosphorus availability from liquid dairy manure to potatoes. *American Journal of Potato Research* 82: 287-397.
- Dalzell, H. W.; Riddlestone, A. J.; Gray, K. R.; Thurairajan, K. 1991. Manejo del suelo: producción y uso del compost en ambientes tropicales y subtropicales (en línea). Roma, FAO. Disponible en [http://books.google.com.pe/books?id=WgZ47ud\\_bpoC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com.pe/books?id=WgZ47ud_bpoC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- Egúsqiza, R.; López, P.; Villagómez, V. 1980. Cultivo de la papa. Centro Nacional de Capacitación e Investigación para la Reforma Agraria. CENCIRA. Lima. 127 p.
- Egúsqiza, R. 2000. La Papa: Producción, Transformación y Comercialización. Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Micro enterprises and Small Producer Support Project (MSP). Asociación de Exportadores (ADEX). Lima. 192 p.
- Erich, M. S.; Fitzgerald, C. B.; Porter, G. A. 2002. The effect of organic amendments on phosphorous chemistry in a potato cropping system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88: 79 – 88.

- Food and Agriculture Organization (FAO) e International Fertilizer Association (IFA). 2002. Los fertilizantes y su uso. (en línea). Cuarta edición. Roma. Disponible en <ftp://ftp.fao.org/agl/agli/docs/fertuso.pdf>
- Food and Agriculture Organization (FAO) - FAOSTAT.2011. (en línea). Consultado el 10 oct. 2011. Disponible en <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>
- Gallandt, E. R.; Mallory, E. B.; Afford, A. R.; Drummond, F. A.; Groden, E; Liebman, M.; Marra, M. C.; McBurnie, J. C.; Porter, G. A. 1998. Comparison of alternative pest and soil management strategies for Maine potato production systems. *American Journal of Alternative Agriculture* 13:146-161.
- Gros, A.; Domínguez, V. A. 1992. Abonos: guía práctica para la fertilización. Ed. Mundi-Prensa. Madrid – España. 450 p.
- Guerrero, B. J. 1993. Manual de abonos orgánicos. Red de acción en alternativa al uso de agroquímicos. Lima – Perú. 89 p.
- Hijmans, R. J. 2001. Global distribution of the potato crop. *American Journal of Potato Research* 78: 403-412.
- Huamán, Z. 1986. Botánica sistemática y morfología de la papa. Boletín de información técnica 6, 2<sup>da</sup> edición revisada. (en línea). Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima. Disponible en <http://www.cipotato.org/library/pdfdocs/TIBes20915.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). 2005. IX Censo de Población y IV de Vivienda. (en línea). Consultado 20 ene. 2011. Disponible en <http://www.inei.gob.pe/>
- Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN). 2005. Compost – Clasificación y requisitos. Primera edición. Santiago de Chile.
- Julca O., A.; Meneses F., L.; Blas S., R.; Bello A., S. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *Idesia* 24(1):49-61.
- Kelling, K. A.; Panique, E.; Speth, P.E.; Stevenson, W. R. 2002. Effect of potassium rate, source and application timing on potato yield and quality. Presentado en la Conferencia de la Papa de Idaho, el 23 de Enero del 2002. Disponible en <http://www.extension.uidaho.edu/nutrient/pdf/Potato/EffectPRateSourceApplicationTimingPotato.pdf>
- Laboski, C. A.; Kelling, K. 2007. Influence of fertilizer management and soil fertility on tuber specific gravity: A review. *American Journal of Potato Research* 84: 283-290.
- Lozano, B. M. 1997. Comportamiento de la papa Huayro (*Solanum x Chaucha* Juz. et Buk.) en tres condiciones de almacenamiento. Tesis Ing. Agr. UNALM. 99 p.

- Meléndez, G; Molina, E. 2003. Memoria, Fertilizantes: Características y Manejo. (Meléndez y Molina, eds.). Costa Rica. 140 p.
- Ministerio de Agricultura del Perú (MINAG). 2010a. Cultivos de importancia nacional. Portal Agrario. (en línea). Consultado 25 ago. 2011. Disponible en <http://www.minag.gob.pe/portal/sector-agrario/agricola/cultivos-de-importancia-nacional>
- Ministerio de Agricultura del Perú (MINAG). 2010b. Intenciones de siembra campaña 2010 - 2011. (en línea). Consultado 25 ago. 2011. Disponible en [http://www.minag.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/orientacionalproductor/intenciones\\_de\\_siembra/resumen\\_ejecutivo\\_intenciones\\_siembra2010-2011\\_modificado.pdf](http://www.minag.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/orientacionalproductor/intenciones_de_siembra/resumen_ejecutivo_intenciones_siembra2010-2011_modificado.pdf)
- Ministerio de Agricultura del Perú (MINAG). 2010c. Dinámica agropecuaria 1997 - 2009. (en línea). Consultado 25 ago. 2011. Disponible en <http://www.minag.gob.pe/portal/herramientas/dinamica/dinamicaagropecuaria1997-2009.pdf>
- Ministerio de Agricultura del Perú (MINAG). 2010d. Perspectivas de la producción de papa por departamentos y a nivel nacional en el periodo 2007. (en línea). Consultado 25 ago. 2011. Disponible en <http://www.minag.gob.pe/portal/download/pdf/especiales/sondeosypronosticos/perspectiva-papa-2007.pdf>
- McNabney, M.; Dean, B. B.; Bajema, R. W.; Hyde, G. M. 1999. The effect of potassium deficiency on chemical, biochemical and physical factors commonly associated with blackspot development in potato tubers. *American Journal of Potato Research* 76: 53 - 60.
- Mora, J. 2006. Contribuciones del compost al mejoramiento de la fertilidad del suelo. 9:1-6. (en línea). Disponible en [http://unazul.ucaaldas.edu.co/downloads/5c04e9a4Revista9\\_10\\_9.pdf](http://unazul.ucaaldas.edu.co/downloads/5c04e9a4Revista9_10_9.pdf)
- Nyiraneza, J. Snapp, S. 2007. Integrated management of inorganic and organic nitrogen and efficiency in potato systems. *Soil Science Society of America Journal* 71: 1508 - 1515.
- Ochoa, C. 2007. Un don universal. En: Graves, Ch. Ed. La papa tesoro de los andes de la agricultura a la cultura. Pag. 125 – 134. Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima – Perú. Disponible en [http://cipotato.org/publications/books/papa\\_tesoro\\_andes\\_online](http://cipotato.org/publications/books/papa_tesoro_andes_online)

- Opeña, G. B. y Porter, G. A. 1999. Soil management and supplemental irrigation effects on potato: Root growth. *Agronomy Journal* 91:426-431.
- Oyarzún, P.; Chamorro, F.; Córdova, J.; Merino, F.; Valverde, F. y Velásquez, J. 2002. Manejo Agronómico. En: Pumisacho, M. y Sherwood, S. Eds. El Cultivo de la papa en Ecuador. Pág. 51 – 83. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) y Centro Internacional de la Papa (CIP). Quito – Ecuador. Disponible en <http://cipotato.org/region-quito/sistemas-de-informacion-tecnica-1/PumisachoySherwoodCultivodePapaenEcuador.pdf>
- Palomino M., R. 1998. Aplicación directa e indirecta de azufre vía fertilización química y orgánica y su efecto en el cultivo de papa cultivar Huayro en un suelo altoandino del departamento de Ayacucho. Tesis MSc. Especialidad de suelos, EPG – UNALM. 157 p.
- Pang, X. P.; Letey, J. 2000. Organic farming: Challenge of timing nitrogen availability to crop nitrogen requirements. *Soil Science Society of America Journal* 64: 247–253.
- Panique, E.; Kelling, K. A.; Schulte, E. E.; Hero, D. E.; Stevenson, W. R.; James, R. V. 1997. Potassium rate and source effects on potato yield, quality, and disease interaction. *American Potato Journal* 74: 379 - 398.
- R Development Core Team. 2011. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- Rodríguez, L. E. 2009. Teorías sobre la clasificación taxonómica de las papas cultivadas (*Solanum* L. sect. *Petota* Dumort.). Una revisión. *Agronomía Colombiana* vol. 27. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=180316242003>
- Sierra, B. C.; Santos, R. J.; Kalazich, B. J. 2002. Manual de fertilización del cultivo de la papa en la zona sur de Chile. Boletín INIA N° 76. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 104 p.
- Sincik, M.; Metin, Z.; Tanju, A. 2008. Responses of potato (*Solanum tuberosum* L.) to green manure cover crops and nitrogen fertilization rates. *American Journal of Potato Research* 85: 150 - 158.
- Stark, J. C.; Porter, G. A. 2005. Potato nutrient management in sustainable cropping systems. *American Journal of Potato Research* 82: 329-338.
- Van Delden, A. 2001. Yield and growth components of potato and wheat under organic nitrogen management. *Agronomy Journal* 93: 1370–1385.

- Varis, E.; Pietila, L.; Koikkalainen, K. 1996. Comparison of conventional, integrated and organic potato production in field experiments in Finland. *Acta Agriculturae Scandinavica* 46:4148.
- Villagarcía H., S. 1983. La Fertilización del cultivo de la papa en el Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) y Centro internacional de la Papa (CIP), Dpto. de Fisiología. Lima – Perú. 15 p.
- Westermann, D. T. 2005. Nutritional requirements of potatoes. *American Journal of Potato Research* 82: 301-307.

## VIII. ANEXOS

**Anexo 8.1 Parámetros evaluados en las muestras de planta de papa cv. 'Huayro' tomadas en campo**

Bloque	Tratamiento	Altura de planta(cm)	#tallos/metro lineal	Peso (g/m <sup>2</sup> )		MS parte aérea (%)
				Fresco	Seco	
I	1	77.60	13.70	737.50	107.68	14.60
I	2	99.40	25.70	1031.25	136.13	13.20
I	3	100.60	20.30	2812.50	320.63	11.40
I	4	105.40	20.70	3125.00	340.63	10.90
I	5	127.60	26.00	4562.50	666.13	14.60
I	6	114.00	27.30	2906.25	316.78	10.90
II	1	73.80	15.00	625.00	89.38	14.30
II	2	64.40	16.70	703.13	97.73	13.90
II	3	87.00	25.30	2328.13	323.61	13.90
II	4	95.60	25.00	2265.63	276.41	12.20
II	5	96.40	23.70	3968.75	456.41	11.50
II	6	92.40	28.00	2812.50	405.00	14.40
III	1	73.80	21.00	668.75	97.64	14.60
III	2	67.20	15.00	625.00	86.88	13.90
III	3	101.20	23.30	2125.00	267.75	12.60
III	4	88.00	20.70	1843.75	274.72	14.90
III	5	93.00	25.30	2328.13	323.61	13.90
III	6	93.20	20.70	2484.38	330.42	13.30

**Anexo 8.2 Parámetros evaluados en relación a la calidad de las muestras de tubérculos de papa cv. 'Huayro' (Considerando el número de tubérculos cosechados)**

Bloque	Tratamiento	Nº Total	Nº comercial	Nº no comercial	Nº dañados
		tubérculos/m <sup>2</sup>			
I	1	23.7	8.3	12.9	2.5
I	2	32.3	8.5	23.8	0.0
I	3	45.8	10.8	33.3	1.7
I	4	50.5	11.3	30.4	8.8
I	5	35.4	11.7	13.3	10.4
I	6	45.5	13.0	24.6	7.9
II	1	21.8	4.3	15.0	2.5
II	2	26.5	7.8	10.8	7.9
II	3	34.7	8.8	19.6	6.3
II	4	41.7	10.9	23.3	7.5
II	5	32.1	11.3	10.4	10.4
II	6	46.7	14.1	23.8	8.8
III	1	21.2	5.3	11.7	4.2
III	2	20.9	7.5	11.3	2.1
III	3	43.4	12.5	26.7	4.2
III	4	38.8	8.3	23.8	6.7
III	5	44.9	11.5	18.8	14.6
III	6	37.9	10.4	15.4	12.1

**Anexo 8.3 Parámetros evaluados en relación a la calidad de las muestras de tubérculos de papa cv. 'Huayro' (considerando el peso de los tubérculos cosechados)**

Bloque	Tratamiento	Rendimiento total (g/m <sup>2</sup> )	Rendimiento comercial (g/m <sup>2</sup> )	Rendimiento no comercial (g/m <sup>2</sup> )	Peso seco total (g/m <sup>2</sup> )	Mat. Seca (%)
I	1	915.9	596.4	274.5	280.3	30.6
I	2	1898.7	1039.8	858.9	476.6	25.1
I	3	2429.8	1241.3	1070.0	534.6	22.0
I	4	2321.4	1128.7	686.4	550.2	23.7
I	5	2531.4	1 241.4	687.6	640.4	25.3
I	6	2957.3	1 760.5	842.4	626.9	21.2
II	1	957.2	452.4	435.4	249.8	26.1
II	2	1491.2	879.4	215.8	380.3	25.5
II	3	2208.7	1090.0	776.9	547.6	24.8
II	4	2369.4	1 151.1	758.2	623.1	26.3
II	5	1941.4	1 033.8	330.9	421.3	21.7
II	6	3031.1	1808.0	809.9	797.2	26.3
III	1	1104.5	525.9	361.1	300.4	27.2
III	2	1140.8	734.0	325.3	326.3	28.6
III	3	2292.4	1 316.5	779.4	469.9	20.5
III	4	2467.4	1 063.2	620.1	673.6	27.3
III	5	2533.9	1 219.9	497.1	608.1	24.0
III	6	2694.8	1 423.8	642.2	668.3	24.8

**Anexo 8.4 Parámetros evaluados en relación a la calidad de las muestras de tubérculos de papa cv. 'Huayro' (considerando el peso de los tubérculos cosechados por calibre)**

Bloque	Tratamiento	Peso de tubérculo por calibre (gr)							
		Extra	1 <sup>ra</sup>	2 <sup>da</sup>	3 <sup>ra</sup>	4 <sup>ta</sup>	5 <sup>ta</sup>	6 <sup>ta</sup>	Dañados
I	1	0.0	793.2	638.3	350.2	135.6	114.6	58.4	108.0
I	2	448.9	1276.8	769.8	595.6	388.0	1077.8	0.0	0.0
I	3	601.6	1563.1	814.4	987.6	662.9	733.2	184.3	284.3
I	4	0.0	1668.0	1 040.9	972.1	288.8	284.4	102.1	1 215.1
I	5	646.7	905.3	1 427.4	1 420.0	230.2	0.0	0.0	1 445.8
I	6	885.4	1 465.0	1 874.8	1 272.4	635.7	113.7	0.0	850.6
II	1	0.0	391.7	694.1	463.1	359.8	149.4	72.7	166.6
II	2	0.0	1 261.7	848.9	300.3	169.5	48.1	0.0	950.4
II	3	452.3	1405.4	758.3	614.9	902.3	347.4	0.0	820.3
II	4	493.0	860.7	1 408.9	815.8	615.5	335.3	53.1	1 104.2
II	5	0.0	1 327.5	1 153.6	348.6	445.6	0.0	0.0	1 384.1
II	6	566.2	1 385.7	2 387.3	816.9	843.7	207.4	758	991.7
III	1	0.0	553.2	709.0	685.3	143.6	37.7	0.0	522.0
III	2	0.0	1 104.6	657.0	249.9	352.1	178.7	0.0	195.6
III	3	0.0	2 132.6	1 027.0	1 296.8	398.1	175.7	0.0	471.6
III	4	747.6	488.9	1 315.2	537.8	544.3	300.5	105.6	1 881.8
III	5	562.1	1 208.4	1 157.3	957.9	209.2	25.9	0.0	1 960.6
III	6	716.2	1 721.2	979.7	1 541.3	0.0	0.0	0.0	1 509.1

**Anexo 8.5 Asimilación de carbono en el cultivo de papa cv. 'Huayro'**

Bloque	Tratamiento	Follaje		Tubérculo		C total
		%	g/m <sup>2</sup>	%	g/m <sup>2</sup>	g/m <sup>2</sup>
I	1	42.40	45.65	46.53	130.41	176.06
I	2	39.60	53.91	44.90	213.98	267.89
I	3	40.40	129.53	44.90	240.02	369.55
I	4	38.30	130.46	49.80	273.99	404.45
I	5	41.60	277.11	47.35	303.25	580.36
I	6	36.40	115.31	43.67	273.79	389.10
II	1	44.80	40.04	46.53	116.25	156.29
II	2	40.80	39.88	47.76	181.61	221.49
II	3	41.20	133.33	46.34	253.83	387.16
II	4	41.20	113.88	47.85	298.18	412.06
II	5	42.00	191.69	43.30	182.42	374.11
II	6	39.60	160.38	44.08	351.4	511.78
III	1	43.60	42.57	45.56	136.87	179.44
III	2	39.20	34.06	43.22	141.01	175.07
III	3	44.40	118.88	44.90	211.00	329.88
III	4	38.40	105.49	46.73	314.77	420.26
III	5	39.60	128.15	47.35	287.95	416.10
III	6	41.60	137.46	44.08	294.59	432.05

**Anexo 8.6 Extracción de nitrógeno en el cultivo de papa cv. 'Huayro'**

Bloque	Tratamiento	Follaje		Tubérculo		N total
		%	g/m <sup>2</sup>	%	g/m <sup>2</sup>	g/m <sup>2</sup>
I	1	2.35	2.53	1.40	3.92	6.45
I	2	2.52	3.43	1.54	7.34	10.77
I	3	2.77	8.88	1.65	8.82	17.70
I	4	2.74	9.33	2.10	11.55	20.88
I	5	2.32	15.45	1.96	12.55	28.00
I	6	2.24	7.1	1.79	11.22	18.32
II	1	2.15	1.92	1.57	3.92	5.84
II	2	2.24	2.19	1.65	6.27	8.46
II	3	2.71	8.77	1.85	10.13	18.90
II	4	2.37	6.55	1.72	10.72	17.27
II	5	2.29	10.45	1.18	4.97	15.42
II	6	2.43	9.84	1.30	10.36	20.20
III	1	2.26	2.21	1.12	3.36	5.57
III	2	2.04	1.77	1.76	5.74	7.51
III	3	3.08	8.25	1.96	9.21	17.46
III	4	2.77	7.61	1.68	11.32	18.93
III	5	3.52	11.39	1.32	8.03	19.42
III	6	2.16	7.14	1.57	10.49	17.63

**Anexo 8.7 Extracción de fósforo en el cultivo de papa cv. 'Huayro'**

Bloque	Tratamiento	Follaje		Tubérculo		P total
		%	g/m <sup>2</sup>	%	g/m <sup>2</sup>	g/m <sup>2</sup>
I	1	0.30	0.32	0.16	0.45	0.77
I	2	0.24	0.33	0.18	0.86	1.19
I	3	0.32	1.03	0.20	1.07	2.10
I	4	0.29	0.99	0.22	1.21	2.20
I	5	0.26	1.73	0.23	1.47	3.20
I	6	0.33	1.05	0.24	1.50	2.55
II	1	0.29	0.26	0.13	0.32	0.58
II	2	0.34	0.33	0.17	0.65	0.98
II	3	0.29	0.94	0.21	1.15	2.09
II	4	0.19	0.53	0.20	1.25	1.78
II	5	0.21	0.96	0.22	0.93	1.89
II	6	0.31	1.26	0.24	1.91	3.17
III	1	0.24	0.23	0.13	0.39	0.62
III	2	0.22	0.19	0.19	0.62	0.81
III	3	0.43	1.15	0.22	1.03	2.18
III	4	0.26	0.71	0.21	1.41	2.12
III	5	0.23	0.74	0.26	1.58	2.32
III	6	0.23	0.76	0.25	1.67	2.43

**Anexo 8.8 Extracción de potasio en el cultivo de papa cv. 'Huayro'**

Bloque	Tratamiento	Follaje		Tubérculo		K total
		%	g/m <sup>2</sup>	%	g/m <sup>2</sup>	g/m <sup>2</sup>
I	1	1.44	1.55	1.54	4.32	5.87
I	2	2.92	3.97	2.03	9.67	13.64
I	3	1.84	5.90	1.95	10.42	16.32
I	4	3.37	11.48	2.25	12.38	23.86
I	5	1.60	10.66	2.37	15.18	25.84
I	6	2.28	7.22	2.60	16.30	23.52
II	1	2.43	2.17	1.78	4.45	6.62
II	2	3.02	2.95	2.10	7.99	10.94
II	3	2.48	8.03	2.09	11.45	19.48
II	4	2.55	7.05	2.27	14.15	21.20
II	5	3.23	14.74	2.45	10.32	25.06
II	6	2.86	11.58	1.84	14.67	26.25
III	1	1.00	0.98	1.67	5.02	6.00
III	2	2.57	2.23	1.96	6.39	8.62
III	3	2.52	6.75	2.12	9.96	16.71
III	4	2.60	7.14	2.34	15.76	22.90
III	5	1.70	5.50	2.05	12.47	17.97
III	6	1.27	4.20	2.20	14.70	18.90

**Anexo 8.9 Eficiencia de uso de nitrógeno en el cultivo de papa cv. 'Huayro'**

Bloque	Tratamiento	N total extraído	N aportado			Eficiencia de uso de N (%)
			Enmienda orgánica	Fertilizante	Total	
		g/m <sup>2</sup>				
I	1	6.45	0.00	0.00	0.00	0.00
I	2	10.77	21.73	0.00	21.73	19.88
I	3	17.70	0.00	18.00	18.00	62.50
I	4	20.88	21.73	18.00	39.73	36.32
I	5	28.00	12.83	18.00	30.83	69.90
I	6	18.32	18.07	18.00	36.07	32.91
II	1	5.84	0.00	0.00	0.00	0.00
II	2	8.46	21.73	0.00	21.73	9.25
II	3	18.90	0.00	18.00	18.00	69.17
II	4	17.27	21.73	18.00	39.73	27.23
II	5	15.42	12.83	18.00	30.83	29.10
II	6	20.20	18.07	18.00	36.07	38.12
III	1	5.57	0.00	0.00	0.00	0.00
III	2	7.51	21.73	0.00	21.73	4.88
III	3	17.46	0.00	18.00	18.00	61.17
III	4	18.93	21.73	18.00	39.73	31.41
III	5	19.42	12.83	18.00	30.83	42.07
III	6	17.63	18.07	18.00	36.07	31.00

**Anexo 8.10 Propiedades físicas del suelo en el cultivo de papa cv. 'Huayro'**

Bloque	Tratamiento	pH	CE dS/m	Capacidad de campo
I	1	4.86	0.11	0.246
I	2	5.15	0.36	0.304
I	3	4.98	0.38	0.371
I	4	5.24	0.36	0.317
I	5	5.29	0.16	0.314
I	6	5.26	0.26	0.301
II	1	5.65	0.15	0.348
II	2	5.66	0.30	0.296
II	3	5.34	0.18	0.330
II	4	5.37	0.32	0.322
II	5	5.46	0.38	0.290
II	6	5.37	0.18	0.266
III	1	4.91	0.13	0.256
III	2	4.95	0.15	0.273
III	3	4.70	0.41	0.362
III	4	4.77	0.43	0.286
III	5	4.84	0.16	0.290
III	6	4.82	0.25	0.282

### Anexo 8.11 Análisis de variancia para el parámetro altura de planta (cm)

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F calculado	Pr > F
Tratamiento	5	11 952.6	2 390.5	16.545	2.89x10 <sup>-11</sup> ***
Bloques	2	6 938.5	3 469.2	24.011	6.19x10 <sup>-09</sup> ***
Error	82	11 847.8	155.5		

CV = 13.10

Ns = No significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente significativo

### Anexo 8.12 Análisis de variancia para el parámetro número de tallos/metro

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F calculado	Pr > F
Tratamiento	5	176.031	35.206	2.3457	0.1177 Ns
Bloques	2	6.588	3.294	0.2195	0.8067 Ns
Error	10	150.086	15.009		

CV = 17.72

Ns = No significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente significativo

### Anexo 8.13 Análisis de variancia para el parámetro peso fresco del follaje (g/m<sup>2</sup>)

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F calculado	Pr > F
Tratamiento	5	19987373	3997475	22.08	4.163x10 <sup>-05</sup> ***
Bloques	2	2168178	1084089	5.988	0.01951*
Error	10	1810422	181042		

CV = 20.18

Ns = No significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente significativo

**Anexo 8.14 Análisis de variancia para el parámetro contenido de materia seca en el follaje (%)**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F calculado	Pr > F
Tratamiento	5	0.000782	0.00015636	0.8384	0.5517 Ns
Bloques	2	0.000488	0.00024422	1.3096	0.3125 Ns
Error	10	0.001865	0.00018649		

CV = 10.50

Ns = No significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente significativo

**Anexo 8.15 Análisis de variancia para el parámetro peso seco del follaje (g/m<sup>2</sup>)**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F calculado	Pr > F
Tratamiento	5	328266	65653	13.3925	0.0003659***
Bloques	2	21438	10719	2.1865	0.1630236 Ns
Error	10	49022	4902		

CV = 25.63

Ns = No significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente significativo

**Anexo 8.16 Análisis de variancia para el parámetro número total de tubérculos/m<sup>2</sup>**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F calculado	Pr > F
Tratamiento	5	1 264.41	252.881	9.8335	0.001289**
Bloques	2	87.57	43.785	1.7026	0.231009 Ns
Error	10	257.16	25.716		

CV = 14.18

Ns = No significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente significativo

**Anexo 8.17 Análisis de variancia para el parámetro número de tubérculos comerciales/m<sup>2</sup>**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F calculado	Pr > F
Tratamiento	5	87.909	17.5819	7.7869	0.003161**
Bloques	2	6.081	3.0406	1.3466	0.303481 Ns
Error	10	22.579	2.2579		

CV = 15.35

Ns = No significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente significativo

**Anexo 8.18 Análisis de variancia para el parámetro número de tubérculos no comerciales/m<sup>2</sup>**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F calculado	Pr > F
Tratamiento	5	535.18	107.036	5.2262	0.01287 *
Bloques	2	122.92	61.46	3.0009	0.09532 .
Error	10	204.81	20.481		

CV = 23.35

Ns = No significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente significativo

**Anexo 8.19 Análisis de variancia para el parámetro número de tubérculos dañados/m<sup>2</sup>**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F calculado	Pr > F
Tratamiento	5	200.251	40.050	7.5797	0.003495 **
Bloques	2	16.968	8.484	1.6056	0.248476 Ns
Error	10	52.839	5.284		

CV = 34.88

Ns = No significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente significativo

**Anexo 8.20 Análisis de variancia para el parámetro rendimiento total de tubérculo (g/m<sup>2</sup>)**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F calculado	Pr > F
Tratamiento	5	7146188	1429238	26.637	1.782x10 <sup>-05***</sup>
Bloques	2	102376	51188	0.954	0.4176 Ns
Error	10	536567	53657		

CV = 11.18

Ns = No significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente significativo

**Anexo 8.21 Análisis de variancia para el parámetro rendimiento de tubérculos comerciales (g/m<sup>2</sup>)**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F calculado	Pr > F
Tratamiento	5	2139433	427887	28.1403	1.386x10 <sup>-05***</sup>
Bloques	2	49707	24853	1.6345	0.2431 Ns
Error	10	152055	15205		

CV = 11.26

Ns = No significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente significativo

**Anexo 8.22 Análisis de variancia para el parámetro peso seco total de tubérculos (g/m<sup>2</sup>)**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F calculado	Pr > F
Tratamiento	5	348814	69763	10.3934	0.001034 **
Bloques	2	702	351	0.0523	0.949332 Ns
Error	10	67122	6712		

CV = 16.07

Ns = No significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente significativo

**Anexo 8.23 Análisis de variancia para el parámetro porcentaje de materia seca de tubérculos (%)**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F calculado	Pr > F
Tratamiento	5	0.006152	0.00123036	2.3021	0.1226 Ns
Bloques	2	0.000172	0.00008606	0.1610	0.8534 Ns
Error	10	0.005345	0.00053446		

CV = 36.99

Ns = No significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente significativo

**Anexo 8.24 Análisis de variancia para el parámetro asimilación de carbono por el follaje (g/m<sup>2</sup>)**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F calculado	Pr > F
Tratamiento	5	54252	10 850.5	10.9138	0.0008497***
Bloques	2	2907	1 453.6	1.4621	0.2773211 Ns
Error	10	9942	994.2		

CV = 28.41

Ns = No significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente significativo

**Anexo 8.25 Análisis de variancia para el parámetro asimilación de carbono por el tubérculo (g/m<sup>2</sup>)**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F calculado	Pr > F
Tratamiento	5	71847	14 369.4	8.819	0.001971 **
Bloques	2	284	141.9	0.0871	0.917261 Ns
Error	10	16294	1 629.4		

CV = 17.28

Ns = No significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente significativo

**Anexo 8.26 Análisis de variancia para el parámetro extracción de nitrógeno por el follaje (g/m<sup>2</sup>)**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F calculado	Pr > F
Tratamiento	5	231.897	46.376	25.486	2.179x10 <sup>-05</sup> ***
Bloques	2	6.697	3.348	1.840	0.2087 Ns
Error	10	18.198	1.820		

CV = 19.47

Ns = No significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente significativo

**Anexo 8.27 Análisis de variancia para el parámetro extracción de nitrógeno por el tubérculo (g/m<sup>2</sup>)**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F calculado	Pr > F
Tratamiento	5	118.808	23.7615	9.6213	0.001404 **
Bloques	2	7.626	3.8131	1.544 0	0.260403 Ns
Error	10	24.697	2.4697		

CV = 18.86

Ns = No significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente significativo

**Anexo 8.28 Análisis de variancia para el parámetro extracción de fosforo por el follaje (g/m<sup>2</sup>)**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F calculado	Pr > F
Tratamiento	5	2.28523	0.45705	8.0382	0.002806 **
Bloques	2	0.24488	0.12244	2.1534	0.166837 Ns
Error	10	0.56859	0.05686		

CV = 31.79

Ns = No significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente significativo

**Anexo 8.29 Análisis de variancia para el parámetro extracción de fósforo por el tubérculo ( $g/m^2$ )**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F calculado	Pr > F
Tratamiento	5	3.2962	0.65924	17.4294	0.0001185 ***
Bloques	2	0.0212	0.01062	0.2807	0.7610204 Ns
Error	10	0.3782	0.03782		

CV = 18.01

Ns = No significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente significativo

**Anexo 8.30 Análisis de variancia para el parámetro extracción de potasio por el follaje ( $g/m^2$ )**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F calculado	Pr > F
Tratamiento	5	168.811	33.762	6.3129	0.006765 **
Bloques	2	34.293	17.146	3.2060	0.083982 .
Error	10	53.481	5.348		

CV = 36.48

Ns = No significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente significativo

**Anexo 8.31 Análisis de variancia para el parámetro extracción de potasio por el tubérculo ( $g/m^2$ )**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F calculado	Pr > F
Tratamiento	5	240.356	48.071	20.3271	$6.023 \times 10^{-05}$ ***
Bloques	2	2.491	1.245	0.5266	0.6061 Ns
Error	10	23.649	2.365		

CV = 14.15

Ns = No significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente significativo

### Anexo 8.32 Análisis de variancia para el parámetro pH del suelo

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F calculado	Pr > F
Tratamiento	5	0.10178	0.02036	1.0414	0.445 Ns
Bloques	2	1.24381	0.62191	31.8183	4.619x10 <sup>-05</sup> ***
Error	10	0.19546	0.01955		

CV = 2.71

Ns = No significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente significativo

### Anexo 8.33 Prueba de Tukey para el parámetro pH del suelo

Agrupamiento Tukey	Tratamientos	Promedios
a	2	5.25
a	5	5.20
a	6	5.15
a	1	5.14
a	4	5.13
a	3	5.01

### Anexo 8.34 Análisis de variancia para el parámetro conductividad eléctrica en el suelo (dS/m)

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F calculado	Pr > F
Tratamiento	5	0.104161	0.0208322	2.1620	0.1402 Ns
Bloques	2	0.001378	0.0006889	0.0715	0.9315 Ns
Error	10	0.096356	0.0096356		

CV = 35.75

Ns = No significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente significativo

**Anexo 8.35 Prueba de Tukey para el parámetro conductividad eléctrica en el suelo (dS/m)**

Agrupamiento Tukey	Tratamientos	Promedios
a	4	0.37
a	3	0.32
a	2	0.27
a	5	0.23
a	6	0.23
a	1	0.13

**Anexo 8.36 Análisis de variancia para el parámetro asimilación total de carbono del cultivo en kg/ha**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F calculado	Pr > F
Tratamiento	5	21859675	4371935	13.0950	0.0004019 ***
Bloques	2	459261	229630	0.6878	0.5249645 Ns
Error	10	3338639	333864		

CV = 16.77

Ns = No significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente significativo

**Anexo 8.37 Prueba de Tukey para el parámetro asimilación total de carbono del cultivo en kg/ha**

Agrupamiento Tukey	Tratamientos	Promedios
a	5	4 568.57
a	6	4 443.10
a	4	4 122.57
ab	3	3 621.97
bc	2	2 214.83
c	1	1 705.97

**Anexo 8.38 Análisis de variancia para el parámetro extracción total de nitrógeno del cultivo en kg/ha**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F calculado	Pr > F
Tratamiento	5	57896	11 579.2	16.0586	0.000169 ***
Bloques	2	2781	1 390.3	1.9281	0.195781 Ns
Error	10	7211	721.1		

CV = 17.59

Ns = No significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente significativo

**Anexo 8.39 Análisis de variancia para el parámetro extracción total de fosforo del cultivo en kg/ha**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F calculado	Pr > F
Tratamiento	5	1 019.96	203.992	17.8046	0.000108 ***
Bloques	2	25.84	12.921	1.1277	0.361705 Ns
Error	10	114.57	11.457		

CV = 18.48

Ns = No significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente significativo

**Anexo 8.40 Análisis de variancia para el parámetro extracción total de potasio del cultivo en kg/ha**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F calculado	Pr > F
Tratamiento	5	76432	15 286.3	30.0337	1.027x10 <sup>-05</sup> ***
Bloques	2	3683	1 841.3	3.6176	0.06575 .
Error	10	5090	509.0		

CV = 13.11

Ns = No significativo

\* = Significativo

43796

**Anexo 8.41 Análisis de variancia para el parámetro asimilación total de carbono por tonelada de tubérculo en kg/t**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F calculado	Pr > F
Tratamiento	5	4 564.9	912.98	2.5467	0.09774 .
Bloques	2	496.5	248.23	0.6924	0.52284
Error	10	3585.0	358.50		

CV = 11.37

Ns = No significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente significativo

**Anexo 8.42 Prueba de Tukey para el parámetro asimilación total de carbono por tonelada de tubérculo en kg/t**

Agrupamiento Tukey	Tratamientos	Promedios
a	5	195.39
a	4	172.82
a	1	172.66
a	3	157.09
a	6	153.58
a	2	147.70

**Anexo 8.43 Análisis de variancia para el parámetro extracción total de nitrógeno por tonelada de tubérculo en kg/t**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F calculado	Pr > F
Tratamiento	5	21.5497	4.3099	4.3841	0.02251 *
Bloques	2	2.4281	1.2141	1.235 0	0.33165 Ns
Error	10	9.8308	0.9831		

CV = 13.77

Ns = No significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente significativo

**Anexo 8.44 Análisis de variancia para el parámetro extracción total de fosforo por tonelada de tubérculo en kg/t**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F calculado	Pr > F
Tratamiento	5	0.35971	0.071942	5.2732	0.01249 *
Bloques	2	0.02472	0.012359	0.9059	0.43494 .
Error	10	0.13643	0.013643		

CV = 13.74

Ns = No significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente significativo

**Anexo 8.45 Análisis de variancia para el parámetro extracción total de potasio por tonelada de tubérculo en kg/t**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F calculado	Pr > F
Tratamiento	5	30.2951	6.059 0	4.1412	0.02677 *
Bloques	2	8.2085	4.1042	2.8052	0.10788 Ns
Error	10	14.631 0	1.4631		

CV = 14.92

Ns = No significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente significativo