

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



Ensayo de extracción periódica de nutrientes con las
tuberosas andinas mashua (*Tropaeolum tuberosum* R. et
P.) y oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) en un suelo del valle del
Mantaro (Huayao 3,350 msnm)

Tesis para optar el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

JUAN MIGUEL GUERRERO LÁZARO

LIMA-PERU
2004

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Ensayo de extracción periódica de nutrientes con las
tuberosas andinas mashua (*Tropaeolum tuberosum* R. et
P.) y oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) en un suelo del valle del
Mantaro (Huayao 3,350 msnm)

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

JUAN MIGUEL GUERRERO LÁZARO

SUSTENTADA Y APROBADA ANTE EL SIGUIENTE JURADO

Ing. Rolando Egúsqüiza Bayona
PRESIDENTE

Ing. Guillermo Aguirre Yato
PATROCINADOR

Ing. Gilberto Rodríguez Soto
MIEMBRO

Dr. Oscar Loli Figueroa
MIEMBRO

LIMA-PERU
2004

A mis padres,
Estela y Miguel,
quienes me han orientado, apoyado
y guiado en el camino de la vida.

A mis hermanos,
Marco y Marilú,
en quienes reconozco
el sacrificio del trabajo
diario

*K'ay huk yupaychaynita noq'apaq
Ilaqtamasikunata alikunapa kaskachiychiq*

*(Un homenaje a mi pueblo domesticador de
plantas)*

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer y reconocer a todas las personas que hicieron posible que el presente trabajo se haya realizado y vea la luz del conocimiento. Entre ellos permítaseme citar a: los Ingenieros Edgardo Alaluna, Guillermo Aguirre, César Ponce, Abel Meza, Sady García, Julio Nazario, Braulio La Torre, Rubén Bazán, Luis Tomassini, a la Bióloga Silvia Agüero, a mis amigos y compañeros de estudio del Taller de Conservación de Suelos y Agroecología, a mis compañeros de trabajo del Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes, a la Sra. Antonia Príncipe (in memorian), al Sr. Heraclio Cabrera (in memorian) y a la Sra. Regina Chani.

INDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Absorción de nutrientes	3
2.2. Elementos esenciales	4
2.3. Clasificación de los elementos esenciales	4
2.4. Curvas de respuesta a los nutrientes	7
2.5. El sistema suelo-planta	8
2.6. Los nutrientes minerales	9
2.6.1. El nitrógeno	9
2.6.1.1. El nitrógeno en la planta	9
2.6.1.2. El nitrógeno en el suelo	11
2.6.2. El fósforo	13
2.6.2.1. El fósforo en la planta	13
2.6.2.2. El fósforo en el suelo	15
2.6.3. El potasio	17
2.6.3.1. El potasio en la planta	17
2.6.3.2. El potasio en el suelo	19
2.6.4. El calcio	22
2.6.4.1. El calcio en la planta	22
2.6.4.2. El calcio en el suelo	23
2.6.5. El magnesio	25
2.6.5.1. El magnesio en la planta	25
2.6.5.2. El magnesio en el suelo	27
2.7. Los cultivos	28
2.7.1. La mashua	28
2.7.1.1. Generalidades	28
2.7.1.2. Taxonomía	28
2.7.1.3. Nombres comunes	29
2.7.1.4. Morfología general	29
2.7.1.5. Tubérculos	30

2.7.1.6. Fases fenológicas del cultivo de la mashua	30
2.7.1.7. Rendimiento	31
2.7.1.8. Usos	32
2.7.2. La oca	34
2.7.2.1. Generalidades	34
2.7.2.2. Taxonomía	34
2.7.2.3. Nombres comunes	34
2.7.2.4. Morfología general	35
2.7.2.5. Estolones y tubérculos	36
2.7.2.6. Fases fenológicas del cultivo de la oca	36
2.7.2.7. Rendimiento	37
2.7.2.8. Usos	38
III. MATERIALES Y MÉTODOS	39
3.1. Campo experimental	39
3.1.1. Ubicación geográfica	39
3.2. Materiales empleados	39
3.2.1. Condiciones climáticas	39
3.2.2. Características del suelo	41
3.2.3. Material vegetal	44
3.2.3.1. Semilla de mashua	44
3.2.3.2. Semilla de oca	44
3.2.3. Fuente de materia orgánica	45
3.2.4.1. Estiércol de vacuno	45
3.2.5. Fertilizantes empleados	46
3.2.6. Equipo de campo	46
3.2.7. Instalación en campo	46
3.2.7.1. Área de parcela	46
3.2.7.2. Distanciamientos	46
3.2.7.3. Fecha de siembra	46
3.2.7.4. Número de plantas por parcela	46
3.2.7.5. Aplicación de fertilizantes	47
3.2.7.6. Fecha de cosecha	47

3.2.8	Trabajo de laboratorio	47
3.2.8.1	Lugar de evaluación	47
3.2.8.2	Materiales	47
3.2.8.3	Equipos	47
3.2.8.4	Reactivos	48
3.2.8.5	Lavado de las muestras	48
3.2.7.6	Pesado de las muestras frescas	48
3.2.7.7	Secado de muestras	48
3.2.7.8	Pesado de las muestras	49
3.2.7.9	Molienda de las muestras	49
3.2.7.10	Ataque de las muestras y determinación de los elementos	49
3.3	Metodología	50
3.4	Diseño estadístico	50
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
4.1.	EL CULTIVO DE LA MASHUA	53
4.1.1.	Formación y acumulación de materia seca total en la mashua	53
4.1.2.	Absorción total de nitrógeno	58
4.1.3.	Absorción total de fósforo	63
4.1.4.	Absorción total de potasio	68
4.1.5.	Absorción total de calcio	73
4.1.6.	Absorción total de magnesio	78
4.1.7.	Rendimiento total estimado de la mashua	83
4.2.	EL CULTIVO DE LA OCA	84
4.2.1.	Formación y acumulación de materia seca total en la oca	84
4.2.2.	Absorción total de nitrógeno	89
4.2.3.	Absorción total de fósforo	94
4.2.4.	Absorción total de potasio	99
4.2.5.	Absorción total de calcio	104
4.2.6.	Absorción total de magnesio	109

4.2.7. Rendimiento total estimado de la oca	114
4.3. Extracción total de elementos por los dos cultivos y su contribución en el rendimiento de tubérculos	115
V. CONCLUSIONES	117
VI. RECOMENDACIONES	119
VII. RESUMEN	120
VIII BIBLIOGRAFÍA	122
ANEXOS	130

CUADROS

Nº	TÍTULOS	Pág.
1	Clasificación de los nutrientes vegetales de acuerdo a la función bioquímica.	6
2	Fases fenológicas del cultivo de la mashua	33
3	Fases fenológicas del cultivo de la oca	33
4	Datos meteorológicos (1994-1995) de la Estación de Huayao. Departamento de Junín. Provincia de Huancayo	40
5	Resultados del análisis físico-químico del suelo experimental	42
6	Resultados del análisis físico-químico del estiércol de vacuno empleado en el presente ensayo (Establo Huayao)	43
7	Resultados del análisis físico-químico de otros estiércoles de vacuno procedentes de lugares cercanos al del presente ensayo	44
8	Producción total de biomasa estimada al momento de la cosecha (unidades en kg/ha)	116
9	Extracción de los elementos considerados en el estudio para producir 1 tonelada de tubérculo según tratamiento (unidades del elemento en kg)	116

FIGURAS

Nº	TÍTULOS MASHUA	Pág.
1	Formación total de materia seca	54
1a	Formación total de materia seca en el testigo	55
1b	Formación total de materia seca en el tratamiento con estiércol	56
1c	Formación total de materia seca en el tratamiento con NPK	57
2	Absorción total de Nitrógeno	59
2a	Absorción total de Nitrógeno con el testigo	60
2b	Absorción total de Nitrógeno con el tratamiento estiércol	61
2c	Absorción total de Nitrógeno con el tratamiento NPK	62
3	Absorción total de Fósforo	64
3a	Absorción total de Fósforo con el testigo	65
3b	Absorción total de Fósforo con el tratamiento estiércol	66
3c	Absorción total de Fósforo con el tratamiento NPK	67
4	Absorción total de Potasio	69
4a	Absorción total de Potasio con el testigo	70
4b	Absorción total de Potasio con el tratamiento estiércol	71
4c	Absorción total de Potasio con el tratamiento NPK	72
5	Absorción total de Calcio	74
5a	Absorción total de Calcio con el testigo	75
5b	Absorción total de Calcio con el tratamiento estiércol	76
5c	Absorción total de Calcio con el tratamiento NPK	77
6	Absorción total de Magnesio	79
6a	Absorción total de Magnesio con el testigo	80
6b	Absorción total de Magnesio con el tratamiento estiércol	81
6c	Absorción total de Magnesio con el tratamiento NPK	82

OCA

7	Formación total de materia seca	85
7a	Formación total de materia seca en el testigo	86
7b	Formación total de materia seca en el tratamiento con estiércol	87
7c	Formación total de materia seca en el tratamiento con NPK	88
8	Absorción total de Nitrógeno	90
8a	Absorción total de Nitrógeno con el testigo	91
8b	Absorción total de Nitrógeno con el tratamiento estiércol	92
8c	Absorción total de Nitrógeno con el tratamiento NPK	93
9	Absorción total de Fósforo	95
9a	Absorción total de Fósforo con el testigo	96
9b	Absorción total de Fósforo con el tratamiento estiércol	97
9c	Absorción total de Fósforo con el tratamiento NPK	98
10	Absorción total de Potasio	100
10a	Absorción total de Potasio con el testigo	101
10b	Absorción total de Potasio con el tratamiento estiércol	102
10c	Absorción total de Potasio con el tratamiento NPK	103
11	Absorción total de Calcio	105
11a	Absorción total de Calcio con el testigo	106
11b	Absorción total de Calcio con el tratamiento estiércol	107
11c	Absorción total de Calcio con el tratamiento NPK	108
12	Absorción total de Magnesio	110
12a	Absorción total de Magnesio con el testigo	111
12b	Absorción total de Magnesio con el tratamiento estiércol	112
12c	Absorción total de Magnesio con el tratamiento NPK	113

TABLAS

Nº	TÍTULOS MASHUA	Pág.
1	Formación total de materia seca en kg de MS/ha	54
1a	Formación total de materia seca en kg de MS/ha en el testigo	55
1b	Formación total de materia seca en kg de MS/ha en el tratamiento estiércol	56
1c	Formación total de materia seca en kg de MS/ha en el tratamiento NPK	57
2	Absorción total de Nitrógeno en kg N/ha	59
2a	Absorción total de Nitrógeno en kg N/ha con el testigo	60
2b	Absorción total de Nitrógeno en kg N/ha con el tratamiento estiércol	61
2c	Absorción total de Nitrógeno en kg N/ha con el tratamiento NPK	62
3	Absorción total de Fósforo en kg P/ha	64
3a	Absorción total de Fósforo en kg P/ha con el testigo	65
3b	Absorción total de Fósforo en kg P/ha con el tratamiento estiércol	66
3c	Absorción total de Fósforo en kg P/ha con el tratamiento NPK	67
4	Absorción total de Potasio en kg K/ha	69
4a	Absorción total de Potasio en kg K/ha con el testigo	70
4b	Absorción total de Potasio en kg K/ha con el tratamiento estiércol	71
4c	Absorción total de Potasio en kg K/ha con el tratamiento NPK	72
5	Absorción total de Calcio en kg Ca/ha	74
5a	Absorción total de Calcio en kg Ca/ha con el testigo	75
5b	Absorción total de Calcio en kg Ca/ha con el tratamiento estiércol	76
5c	Absorción total de Calcio en kg Ca/ha con el tratamiento NPK	77
6	Absorción total de Magnesio en kg Mg/ha	79
6a	Absorción total de Magnesio en kg Mg/ha con el testigo	80
6b	Absorción total de Magnesio en kg Mg/ha con el tratamiento estiércol	81
6c	Absorción total de Magnesio en kg Mg/ha con el tratamiento NPK	82

OCA

7	Formación total de materia seca	85
7a	Formación total de materia seca en el testigo	86
7b	Formación total de materia seca en el tratamiento con estiércol	87
7c	Formación total de materia seca en el tratamiento con NPK	88
8	Absorción total de Nitrógeno	90
8a	Absorción total de Nitrógeno con el testigo	91
8b	Absorción total de Nitrógeno con el tratamiento estiércol	92
8c	Absorción total de Nitrógeno con el tratamiento NPK	93
9	Absorción total de Fósforo	95
9a	Absorción total de Fósforo con el testigo	96
9b	Absorción total de Fósforo con el tratamiento estiércol	97
9c	Absorción total de Fósforo con el tratamiento NPK	98
10	Absorción total de Potasio	100
10a	Absorción total de Potasio con el testigo	101
10b	Absorción total de Potasio con el tratamiento estiércol	102
10c	Absorción total de Potasio con el tratamiento NPK	103
11	Absorción total de Calcio	105
11a	Absorción total de Calcio con el testigo	106
11b	Absorción total de Calcio con el tratamiento estiércol	107
11c	Absorción total de Calcio con el tratamiento NPK	108
12	Absorción total de Magnesio	110
12a	Absorción total de Magnesio con el testigo	111
12b	Absorción total de Magnesio con el tratamiento estiércol	112
12c	Absorción total de Magnesio con el tratamiento NPK	113

I. INTRODUCCIÓN

La zona central de los Andes de América del Sur está registrada como un centro principal de diversidad genética, además de ser un área de domesticación de muchas especies vegetales útiles en la alimentación tales como la papa, el maíz, el frijol, el pallar, el tomate, el tarwi, la quinua, la kiwicha, la cañihua, la arracacha, el yacón, el mashua, la oca, el olluco, etc. Antes de la llegada de los españoles, las especies antes mencionadas constituían parte de la dieta alimenticia de diario sustento para los pobladores nativos de estas tierras según testimonios dejados por los cronistas y los vestigios encontrados en las ofrendas de los entierros, representaciones iconográficas y depósitos de alimentos. La denominada extirpación de idolatrías también trajo consigo el abandono y olvido de varias especies cultivadas so pena de castigo, reemplazándolas por foráneas. Más de quinientos años después de la colonización española asistimos al renacer del interés por los cultivos considerados marginales, los cuales fueron resguardados tercamente por el agricultor andino quizás previendo su valor alimenticio y/o medicinal.

Este es el caso de los tubérculos considerados menores (oca, olluco, mashua) tan solo por las áreas de su cultivo en comparación con la papa. Estos tubérculos forman parte de la cultura y costumbre del poblador andino quien los cultiva en pequeñas parcelas tanto para su alimentación como también para el intercambio o regalo.

El abonamiento prehispánico de las especies cultivadas era básicamente con residuos orgánicos (estiércol, residuos de pescado, guano de islas entre otros). Esta práctica persistió durante la colonia y la república hasta los primeros decenios del siglo XX cuando se extiende el uso y aplicación de los fertilizantes químicos producidos industrialmente.

Debido a su difusión mundial, la papa ha sido el tubérculo más estudiado habiéndose determinado una adecuada dosificación de nutrientes vía fertilización puesto que se conoce el ritmo extractivo de los mismos. No es el mismo caso para la oca y la mashua, desconociéndose por tanto sus requerimientos nutricionales aunque ya se han realizado ensayos con aplicación de enmiendas orgánicas solas (estiércoles, rastrojos), mezclándolas con fertilizantes químicos o abonándolas como si se tratara de un cultivo de papa. Estos tratamientos se han reflejado en el rendimiento económico, es decir en la producción de los tubérculos, el cual es motivo del presente trabajo.

OBJETIVOS

1. Determinar los requerimientos de nutrientes en el transcurso del desarrollo fenológico de los cultivos de mashua y oca.
2. Efectuar una comparación de absorción de nutrientes entre una aplicación de estiércol solo y una aplicación con dosis conocida de nitrógeno, fósforo y potasio según el tipo de suelo empleado.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ABSORCIÓN DE NUTRIENTES

Diversas teorías se han formulado para explicar los mecanismos de absorción de nutrientes, muchas investigaciones se han realizado al respecto y con el pasar del tiempo los métodos son más refinados y gracias a los programas en el desarrollo de la bioquímica, los métodos de análisis químicos, el análisis foliar, los trabajos realizados con soluciones nutritivas, los trazadores isotópicos y otros, se determinaron avances importantes sobre ciertas teorías de la absorción de nutrientes. De varias teorías planteadas por algunos autores se aceptan las formas de absorción por las células de la raíz, siendo las más activas aquellas localizadas en raíces jóvenes (Pari, 1996).

La aptitud de las plantas para absorber tanto el agua como los nutrientes minerales del suelo está relacionada a su capacidad de desarrollar un extenso sistema radicular. El punto preciso de entrada de los minerales dentro del sistema radicular ha sido un tópico de bastante interés. Algunos investigadores han pretendido que la absorción de nutrientes tiene lugar únicamente en las regiones apicales de los ejes o ramas radiculares, mientras que otros creen que la absorción tiene lugar sobre la superficie íntegra de las raíces. El suelo que rodea a las raíces de las plantas puede considerarse como un material heterogéneo que contiene una fase sólida, una fase líquida y una fase gaseosa. Todas estas fases están involucradas en el suministro de nutrientes hacia la superficie radicular. Las partículas inorgánicas de la fase sólida actúan como una reserva de nutrientes (Taiz y Zeiger, 1991).

Hoagland (1948) citado por Mengel y Kirkby (1978), en razón de sus estudios sobre la absorción de nutrientes por las plantas, concluyó lo siguiente:

- Los iones son absorbidos por las plantas de manera selectiva.
- La absorción tiene lugar aún en contra de la concentración.

- La planta requiere energía para los procesos de absorción la cual es generada por el metabolismo celular.

2.2. ELEMENTOS ESENCIALES

Se considera que son 13 elementos los esenciales para todas las angiospermas y gimnospermas, aunque de hecho sólo se han investigado bien los requerimientos nutritivos de más de 100 especies (en su mayor parte cultivadas). Si se agregan O, H y C (provenientes de O₂, H₂O y CO₂) se tiene un total de 16 elementos.

Según Epstein (1972) citado por Salisbury y Ross (1992), son dos los criterios principales por los que un elemento puede considerarse esencial o no esencial para cualquier vegetal: En primer lugar, un elemento es esencial si el vegetal no puede completar su ciclo de vida (esto es, formar semillas viables) en ausencia de tal elemento. En segundo lugar, un elemento es esencial si forma parte de cualquier molécula o constituyente de la planta que es, en sí mismo, esencial para éste (como el nitrógeno en las proteínas o el magnesio en la clorofila, por ejemplo). Cualquiera de estos criterios es suficiente para demostrar si un elemento es esencial. Empero, debe agregarse que muchos investigadores consideran que un elemento es esencial si aparecen síntomas de deficiencia en plantas cultivadas cuando no se agrega ese elemento a la solución nutritiva, aun cuando tales plantas produzcan semillas viables. El uso de este criterio ha hecho posible evidenciar que sodio y silicio son esenciales para ciertas plantas.

2.3. CLASIFICACION DE LOS ELEMENTOS ESENCIALES

Los elementos esenciales se clasifican usualmente como macronutrientes o micronutrientes, de acuerdo a sus concentraciones relativas en los tejidos de las plantas. Sin embargo, algunos investigadores han discutido que tal clasificación es difícil de justificar fisiológicamente.

La identificación tradicional de los macronutrientes como elementos plásticos, con una dedicación a la construcción de la estructura celular, en contraposición a los micronutrientes como elementos catalíticos o metabólicos, por su participación en la dinámica celular o tisular, va perdiendo significación por cuanto un elemento mayoritario como el K, puede estar poco implicado en la arquitectura de las estructuras vivas, mientras que otro menos abundante, como el S, puede ser esencial a la misma (Lachica y Gonzáles, 1985).

Los microelementos son todavía denominados elementos trazas, oligoelementos, elementos menores, etc. Estas denominaciones no son totalmente satisfactorias. La última en particular que los contrapone a los elementos mayores N, P, K, no es especialmente feliz, ya que parece darle un papel secundario, igualmente inferior aquel de los medio elementos que son S, Ca, Mg. La expresión más completa es en calidad, la de microelementos nutritivos, dado que evoca a la vez su papel nutritivo indispensable y su presencia en muy pequeña cantidad. Los microelementos son por lo tanto, elementos indispensables para la vida de las plantas pero se encuentran presentes en proporciones muy pequeñas en los tejidos biológicos (Loué, 1988).

Mengel y Kirkby (1978) han propuesto que los elementos esenciales deberán clasificarse de acuerdo a sus roles bioquímicos y funciones fisiológicas. Tal clasificación se puede ver en la Cuadro N° 1, en la cual los nutrientes de las plantas se han dividido en cuatro grupos básicos.

Cuadro N° 1: Clasificación de los nutrientes vegetales de acuerdo a la función bioquímica

Elemento nutriente	Absorción	Funciones bioquímicas
Grupo 1 C, H, O, N, S	H ₂ O. Iones de la solución suelo: HCO_3^- , NO_3^- , NH_4^+ , SO_4^{2-} . Gases de la atmósfera: CO_2 , O_2 .	Constituyente principal de todo el material orgánico. Asimilados mediante los procesos de carboxilación y óxido-reducción.
Grupo 2 P, B, Si	En la forma de fosfatos, ácido bórico o borato. Silicato de la solución suelo.	Esterificación con los grupos alcohólicos de las plantas. Los ésteres de fosfato están involucrados en las reacciones de transferencia de energía.
Grupo 3 K, Na, Mg, Ca, Mn, Cl	Iones de la solución suelo	Funciones no específicas que establecen potenciales osmóticos. Contribuciones específicas a la estructura y la función de la proteína enzimática. El balanceo de los aniones no difusibles y difusibles.
Grupo 4 Fe, Cu, Zn, Mo	En la forma de iones o quelatos de la solución suelo.	Presentes predominantemente en los grupos prostéticos. Permiten el transporte de electrones mediante los cambios de valencia.

Fuente: Mengel y Kirkby (1978).

2.4. CURVAS DE RESPUESTA A LOS NUTRIENTES

Las curvas de respuesta a los nutrientes han sido descritas de modo analítico por diversos autores. Una de las formulaciones más conocidas es la realizada por Mitscherlich, que sólo es aplicable a la zona creciente de las curvas de respuesta. Para su formulación, este autor supone que en más condiciones ambientales definidas hay una producción máxima teórica (A); y que aplicaciones adicionales de un nutriente (dx) provocan un aumento en el crecimiento (dy) tanto menor cuanto más próximo es el valor de éste (y) al máximo teórico, del modo:

$$dy/dx = a (A-y)$$

Expresión que integrada da la conocida expresión:

$$Y = A (1 - e^{-ax})$$

En que **a** sería una constante característica para cada elemento mineral e independiente de la especie y las condiciones ambientales.

Esta supuesta constancia del factor de respuesta **a** no ha sido confirmada experimentalmente, y la ecuación de Mitscherlich, así como los ajustes sucesivos que de ella se han hecho, se desvía en muchas ocasiones de modo significativo de las curvas de respuesta experimentales. Solamente en los casos en que la producción está limitada por un solo elemento mineral, se obtiene un ajuste razonablemente bueno. Sin embargo un aspecto central en su formulación, la respuesta decreciente a las aportaciones sucesivas de un elemento mineral, se ha comprobado repetidamente para todos los elementos minerales y es un factor central a considerar en la optimización económica de la fertilización.

Las curvas de respuesta a un elemento mineral son afectadas marcadamente por las condiciones de desarrollo de las plantas, entre las que se incluye asimismo la disponibilidad de los restantes elementos minerales.

Estas relaciones en la respuesta a la nutrición se caracterizaron ya a principios del siglo XIX y fueron formuladas por Liebig en la que ha venido a conocerse como Ley del Mínimo, que establece que el crecimiento sólo puede aumentarse mediante la aplicación del elemento mineral más débilmente representado. Una formulación tan estricta no es correcta salvo en condiciones muy extremas, en que un elemento está muy lejos de su valor óptimo. Por el contrario, en multitud de circunstancias se ha comprobado experimentalmente que la aplicación de prácticamente cualquier elemento que está por debajo del óptimo provoca una respuesta positiva en la planta, si bien la magnitud de la respuesta es mayor cuando los demás elementos se encuentran a niveles óptimos (Guardiola y García, 1990).

2.5. EL SISTEMA SUELO-PLANTA

El sistema suelo-planta es un sistema abierto en el que los elementos (M) son constantemente removidos de un lado, la fase sólida del suelo, y acumulados en otro, la planta:

$$M \text{ (fase sólida)} \leftrightarrow M \text{ (solución)} \leftrightarrow M \text{ (raíz)} \leftrightarrow M \text{ (parte aérea)}$$

(Malavolta et. al. 1989)

Dentro del suelo ocurren fenómenos de naturaleza química, física o biológica, que afectan a los nutrientes vegetales. Los mecanismos involucrados son diversos y pueden afectar a los nutrientes de manera diferente, en algunos casos aumentando su disponibilidad, en otras disminuyéndolas (Van Raij, 1981).

2.6. LOS NUTRIENTES MINERALES

2.6.1. EL NITRÓGENO

2.6.1.1. El Nitrógeno en la Planta

La materia seca vegetal contiene alrededor de 2 a 4% de N. Esto parece mucho más bajo en comparación con el contenido de C que está en el orden de más del 40%. No obstante el N es un constituyente elemental indispensable de numerosos componentes orgánicos de importancia general (aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos). Las plantas superiores son los principales contribuyentes para la gran cantidad de N que se convierte continuamente de formas inorgánicas a formas orgánicas. Las fuentes inorgánicas más importantes involucradas en esta conversión son el NO_3^- y el NH_4^+ .

Tanto las formas NO_3^- como las NH_4^+ pueden ser absorbidas y metabolizadas por las plantas. El nitrato es siempre una fuente preferencial para el crecimiento de los cultivos pero depende bastante de la especie vegetal y de factores medio ambientales. Los cultivos superficiales absorben principalmente el NO_3^- incluso cuando se aplican fertilizantes NH_4^+ , debido a la oxidación microbiana del NH_4^+ , en el suelo.

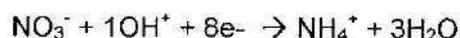
Una diferencia muy importante entre la absorción del NO_3^- y la absorción del NH_4^+ está en su sensibilidad al pH. La mejor absorción del N- NH_4 tiene lugar en un medio neutro y se deprime cuando disminuye el pH. Lo contrario sucede para la absorción del NO_3^- , ocurriendo una absorción más rápida a valores bajos de pH. Los investigadores sugieren que la reducción de la absorción de NO_3^- a valores elevados de pH se debe al efecto competitivo de los iones OH^- que suprimen el sistema de transporte de la absorción del NO_3^- (Mengel y Kirkby, 1978).

La forma en que se absorbe no es indiferente, ya que el ión amonio reduce la absorción de otros cationes (Ca^{2+} y Mg^{2+} fundamentalmente), y las distintas especies presentan diferencias marcadas en la preferencia y/o tolerancia hacia ambas formas de nitrógeno.

El nitrógeno elemental, que es la forma más abundante en la naturaleza, no puede ser asimilado directamente por las plantas, salvo determinados grupos que forman asociaciones simbióticas con microorganismos fijadores.

En general, cuando el suministro en nitrato es bajo, una proporción elevada se reduce en las raíces, mientras al aumentar aquél, una proporción creciente del nitrógeno se transporta por el xilema hasta las hojas en forma de NO_3^- , teniendo lugar en éstas su reducción. La capacidad de reducción de nitratos en las raíces de la mayor parte de las especies leñosas es muy elevada, por lo que la cantidad de nitratos en hojas es invariablemente muy bajo (menos de 10 ppm); por el contrario, en algunas especies herbáceas (por ejemplo: tomate y remolacha) así como en *Vitis*, la mayor parte del nitrato es reducido en las hojas, en las que llega a alcanzar concentraciones superiores a 1000 ppm.

En todos los casos, la reducción de nitrato a amonio es catalizada por dos enzimas distintas: la nitrato reductasa, que reduce el nitrato a nitrito, y la nitrito reductasa, que reduce el nitrito hasta amonio de acuerdo con la reacción:



Debido al elevado número de electrones necesarios para reducir una molécula de NO_3^- , la reducción de éste consume un porcentaje apreciable del poder reductor producido por los procesos fotosintéticos.

El ión amonio es extremadamente tóxico para las plantas. Tanto el absorbido por las raíces como el producido mediante la reducción de los

nitratos es metabolizado rápidamente mediante su incorporación en aminoácidos. Cuando esta tiene lugar en las raíces, el transporte del nitrógeno en el xilema se realiza fundamentalmente en forma de amidas (glutamina y asparagina), o de aminoácidos (arginina) (Guardiola y García, 1990).

2.6.1.2. El Nitrógeno en el Suelo

El Nitrógeno combinado del suelo está bastante ligado a la materia orgánica y al material mineral; en general, solamente unos pocos kilogramos por hectárea existen en formas minerales disponibles (como NO_3^- y NH_4^+ intercambiable) en cualquier momento.

La cantidad total de nitrógeno en muchos suelos es apreciable, a menudo exceden los 4000 kg/ha hasta la profundidad de aradura. Cuando el terreno se coloca bajo cultivo por primera vez, el contenido de nitrógeno del suelo usualmente declina, y se establece un nuevo nivel de equilibrio que es característico del clima, la práctica cultural y el tipo de suelo.

No todas las transformaciones del nitrógeno del suelo son mediatizadas por los microorganismos. El amoniaco y el nitrito (NO_2^-), producidos como productos de la descomposición microbiana de los materiales orgánicos nitrogenados, son capaces de proseguir reacciones químicas con la materia orgánica, conduciendo en algunos casos hacia la evolución de gases de Nitrógeno. Mediante la asociación físico química de los materiales húmicos con la materia orgánica, se forman los complejos metalo-orgánicos y los órgano-arcillosos, con lo cual los componentes Nitrógeno están protegidos contra el ataque de microorganismos.

El ión NH_4^+ cargado positivamente continua las reacciones de sustitución con otros cationes del complejo de intercambio y puede ser fijado por los minerales de arcilla. La característica básica de las transformaciones biológicas del Nitrógeno se centra en reacciones de oxidación y de reducción.

Los componentes Nitrógeno inorgánicos detectados en los suelos son seis e incluyen al NO_3^- , el NO_2^- , el NH_4^+ intercambiable, el NH_4^+ no intercambiable (mineralmente fijado), el nitrógeno molecular (N_2) y el óxido nitroso (N_2O). Otros compuestos químicos y biológicos intermediarios, tales como el óxido nítrico (NO), el dióxido de nitrógeno (NO_2), la hidroxilamina (NH_2OH), el ácido hiponitroso ($\text{HON}=\text{NOH}$), la azida (N_3^-) e incluso algunos compuestos ciano también pueden formarse en el suelo pero aún tienen que ser identificados inequívocamente.

Más del 90% del Nitrógeno de la capa superficial de la mayoría de los suelos está orgánicamente combinado. La importancia de este nitrógeno orgánico desde el punto de vista de la fertilidad del suelo ha sido bastante reconocida, y nuestro saber concerniente a la naturaleza y composición química del nitrógeno orgánico es extenso. No obstante, aproximadamente la mitad del nitrógeno orgánico del suelo no ha sido caracterizado adecuadamente, y se sabe poco sobre los enlaces químicos que unen los constituyentes nitrogenados con otros componentes del suelo.

El nitrógeno pueden entrar o salir del sistema suelo-planta por más rutas que cualquier otro nutriente. El nitrógeno está sujeto a pérdidas vía NH_3 , volatilización, denitrificación, lixiviación y puede ser aumentada por la lluvia y la fijación biológica. Estos intercambios son procesos importantes en el ciclo del Nitrógeno y operan tanto bajo condiciones naturales como de cultivo. En algunas situaciones, pequeñas cantidades de gases que contienen N escapan hacia la atmósfera desde las hojas de las plantas. El nitrógeno también está en el agua de gutación excretada del follaje y en las exudaciones de las raíces. Debido a que las ganancias y pérdidas son procesos naturales, los cálculos del balance neto del N del suelo mediante un balance de masa no son más que aproximaciones.

En contraste a la mayoría de otros nutrientes vegetales, no existe ningún mecanismo para el almacenamiento prolongado de N fertilizante disponible para las plantas en los suelos (Stevenson, 1982).

2.6.2. EL FÓSFORO

2.6.2.1. EL FÓSFORO EN LA PLANTA

Las raíces de las plantas son capaces de absorber fosfatos de soluciones con muy bajas concentraciones de estos iones. Generalmente el contenido de fosfato de las células radiculares y de la savia del xilema es de 100 a 1000 veces superiores al de la solución suelo. Esto demuestra que los fosfatos son absorbidos por las células de las plantas contra una gradiente de concentración muy elevada. La absorción es activa. La relación entre el metabolismo de las plantas y la absorción de fosfatos ha sido estudiada por numerosos autores quienes habían observado principalmente las tasas incrementadas de absorción de fosfatos asociados con la elevada actividad metabólica. La tasa de absorción de fosfatos es dependiente del pH. Los fosfatos absorbidos por las células de las plantas llegan a involucrarse rápidamente en los procesos metabólicos. Los fosfatos orgánicos formados en este corto tiempo consisten principalmente de fosfatos de hexosa y uridina difosfato. El fosfato se moviliza rápidamente en la planta y puede trasladarse en una dirección hacia arriba o hacia abajo.

Las hojas jóvenes son suministradas no solamente mediante el fosfato absorbido por las raíces, sino también con el fosfato que se origina desde las hojas viejas. Sin embargo, después de algunos días ocurre la retranslocación y el fosfato se transporta parcialmente hacia las hojas viejas. Este movimiento hacia abajo ocurre principalmente en el floema.

El fosfato en la planta se presentan en formas inorgánicas como ortofosfato y en menor grado como pirofosfato. Las formas orgánicas del fosfato son componentes en las cuales el ortofosfato es esterificado con los

grupos hidróxilo de los azúcares y de los alcoholes o ligado mediante un enlace pirofosfato a otro grupo fosfato.

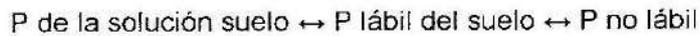
El componente más importante en el cual los grupos fosfato están ligados mediante enlaces pirofosfato es de adenosina trifosfato (ATP). La energía absorbida durante la fotosíntesis, o liberada durante la respiración o ruptura anaeróbica de carbohidratos es utilizada la síntesis del enlace pirofosfato en ATP. En esta forma de energía puede transferirse a varios procesos endergónicos tales como la absorción activa de iones y la síntesis de varios componentes orgánicos. En estos procesos existe usualmente una reacción inicial de fosforilación. Esto involucra la transferencia del grupo fosforil del ATP hacia otro componente. Parece que la única función del fosfato en el metabolismo es su formación de enlace pirofosfato que permiten la transferencia de energía. La mayor parte del fosfato presente en las raíces, tallos y hojas esta en forma inorgánica. Las hojas jóvenes contienen elevadas cantidades de P orgánica predominantemente en la forma de ácidos nucleicos. Otro componente P orgánico es la fitina. Este sucede principalmente en las semillas. El ácido fítico es el ester hexafosfórico de inositol (Mengel y Kirkby, 1978).

Entre las funciones y cualidades más significativas de las plantas sobre las cuales el fosfato tiene un efecto importante están:

1. La fotosíntesis
2. La fijación del nitrógeno
3. La maduración del cultivo: floración y fructificación, incluyendo la formación de semillas.
4. El desarrollo radicular, particularmente de las raicillas laterales y fibrosas.
5. La dureza de la paja de los cereales, que ayuda a prevenir el acame o tumbada.
6. El mejoramiento de la calidad de los cultivos, especialmente de forrajes y de hortalizas (Brady, 1990).

2.6.2.2. EL FÓSFORO EN EL SUELO

Se acostumbra describir el P del suelo en términos de la siguiente relación:



donde el equilibrio se establece rápidamente entre el P lábil y el de la solución suelo, mientras que el equilibrio verdadero se establece rara vez entre las reservas lábiles y no lábiles del P del suelo. El componente solución suelo del P del suelo tiene varias características, las cuales no son únicas para el P sino también aplicables para otros nutrientes.

Debido a que la solución suelo es el medio del cual el P es absorbido por las plantas y, puesto que la composición de la solución suelo esta bastante determinada por la fase sólida, su caracterización proporciona datos que pueden usarse para inferencias agronómicas y físico-químicas.

El factor de intensidad ha sido medido y expresado en muchas formas por muchos investigadores, y esto ha ocasionado cierta confusión en la literatura. Entre los que se emplean se encuentran los siguientes:

- a) **Concentración molar de P.** Aquí la concentración se refiere al total analizable en la solución, e inclusive todas las especies de iones ortofosfato así como también a los pares de iones su asociación con otros cationes. De aquí que a menudo la concentración se expresa en ppm más que en unidades molares.
- b) **Actividades molares de iones fosfato específicos, tales como el H_2PO_4^- o HPO_4^{2-} .** Esta proporción es determinada por el pH y las constantes de disociación termodinámicas del ácido polibásico.
- c) **El potencial químico del H_2PO_4^- .**
- d) **El potencial del fosfato monocálcico.**

Aunque es el menos adecuado, el primer método es la expresión más ampliamente utilizada de la intensidad del P. La persistencia en su uso se atribuye a la conveniencia y la simplicidad, es el que reporta el analista, sin mayores cálculos complicados.

Desde el punto de vista de la absorción de plantas, la actividad del H_2PO_4^- juega un rol mayor que el del HPO_4^{2-} en la determinación de la absorción de P por las raíces, por dos razones: (i) el ión H_2PO_4^- es de lejos el más extendido de los dos en las soluciones con pH menor de 6, y (ii) las raíces de las plantas absorben el H_2PO_4^- cerca de 10 veces más rápido que el HPO_4^{2-} .

No solamente la concentración de P de la solución suelo es usualmente baja, sino que también el P se mueve muy lentamente, principalmente por difusión. El coeficiente de difusión para el P de la solución suelo encontrado por Olsen et. al. (1962) era $< 10^{-2}$ que en el agua. Barber et al (1963) reportaron valores para la tasa de difusión del ^{32}P en el suelo tan bajos como 4×10^{-11} $\text{cm} \cdot \text{seg}^{-1}$, en tanto Lewis y Quirk (1965) dieron la velocidad promedio de los iones fosfato en tan solo 0.04 mm/día para un nivel de P aplicado de 100 ppm.

Como resultado de este movimiento muy lento en el suelo, el P tiende a acumularse cerca de la superficie. El P orgánico de los residuos vegetales y heces animales es retornado normalmente a la superficie del suelo, e incorporado dentro de la capa superior solo hasta cierto límite por los insectos, lombrices, hongos, etc.; a menos que la tierra se cultive. Gran parte del P devuelto al suelo por el sistema planta-animal está en forma orgánica alrededor del 40% del P en los residuos vegetales y del 60 a 70% en las heces animales.

Recientemente se han intensificado los estudios sobre las asociaciones simbióticas de las raíces. Los efectos benéficos bastante conocidos de las micorrizas ectotróficas, comúnmente encontradas en los árboles, se deben al suministro mejorado de P hacia la planta hospedera. Los trabajos más recientes sobre las micorrizas endotróficas, donde los hongos no formen una

envoltura, sino que viven dentro de las raíces, han demostrado beneficios similares al suministrar P para una gama de hierbas y pastos (Khasawneh, Sample y Kamprath, 1980).

2.6.3. EL POTASIO

2.6.3.1. EL POTASIO EN LA PLANTA

El potasio es un elemento esencial para todos los organismos vivos. En la fisiología de las plantas es el catión más importante no solamente con respecto a su contenido en los tejidos vegetales sino también con respecto a sus funciones fisiológicas y bioquímicas. Una característica principal del K^+ es la elevada tasa a la cual es absorbida por los tejidos vegetales. Esta elevada tasa de absorción depende de un mecanismo de absorción activa, y existe la evidencia de que de todos los cationes minerales esenciales, el K^+ es el único que puede ser transportado en contra de un gradiente electroquímico dentro de las células vegetales. El potasio en la planta es muy móvil, siendo su principal dirección de transporte hacia los tejidos meristemáticos. A menudo el K^+ de los órganos más viejos de la planta es redistribuido hacia los tejidos más jóvenes.

La razón por la cual el K^+ es transportado preferencialmente hacia los tejidos meristemáticos jóvenes aún se desconoce, pero se han postulado las relaciones hacia la síntesis de proteínas, la tasa de crecimiento y el suministro de citoquininas. Así, la absorción y el transporte del K^+ hacia las hojas más jóvenes son favorecidos en las plantas bien suministradas con N. La síntesis de proteínas y la tasa de crecimiento son estimuladas por las citoquininas, que también mejoran la absorción de K^+ . El grueso del K^+ es absorbido principalmente durante la fase del crecimiento vegetativo. Bajo condiciones metabólicas normales difícilmente ocurre cualquier pérdida neta de K^+ del tejido radicular. La elevada tasa de absorción del K^+ infiere de que se trata de un fuerte competidor en la absorción de otros cationes. Sus tasas de absorción se mejoran especialmente cuando la absorción de K es baja. De otro lado, la

absorción y retención de K en las células vegetales también son afectadas competitivamente por el H^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+ .

Una característica típica del K es su elevado contenido en la savia del floema. Desde luego que aquí es el catión más abundante, alcanzando alrededor del 80% de la suma total de cationes. Es bastante probable que éste elevado contenido de K resulte del transporte activo del K dentro de los tubos cribosos.

En el régimen hídrico, la elevada tasa de absorción de K dentro de la planta ocasiona la acumulación de K en las células de varios tejidos, incluso cuando la solución de nutrientes es relativamente baja en concentración de K. La acumulación de potasio en el xilema rebaja el potencial hídrico y por esta razón mejora tanto la absorción de agua como la presión radicular. Las elevadas concentraciones de K en las células del mesófilo disminuyen su potencial osmótico de manera similar. Otra vez este tiene un efecto benéfico sobre el consumo de agua, puesto que el bajo potencial osmótico mejora la retención de agua. Aparentemente esta es una razón por la que las plantas bien suministradas con K requieren relativamente bajas cantidades de agua en relación a la síntesis de materiales orgánicos.

Varios autores han demostrado que el K^+ mejora la traslocación de asimilados y también promueve la tasa de asimilación de CO_2 , deduciéndose que el efecto benéfico del K^+ sobre la traslocación de los fotosintatos es una resultante indirecta de la elevada tasa de asimilación de CO_2 . Cuando el nivel de K^+ en la planta es elevado existe probablemente una estimulación en la síntesis de ATP; que es necesario en la carga de los tubos cribosos con fotosintatos. Así, el efecto benéfico del K^+ sobre la síntesis del ATP fotosintético también influye indirectamente estos procesos.

La principal función del K en la bioquímica es la activación de varios sistemas enzimáticos. Ahora se conoce que más de 60 enzimas diferentes

requieren cationes univalentes para su actividad. En la mayoría de los casos el ión K^+ es el catión más eficiente para efectuar esta activación.

Las enzimas activadas por cationes monovalentes son principalmente sintetasa, oxidorreductasas, dehidrogenasas, transferasas y quinasas. Así, el potasio está involucrado en numerosos pasos de la síntesis de proteína y por esta razón la tasa de reorganización del N y la síntesis de proteínas en las plantas integradas depende del contenido de K. La deficiencia más severa de K conduce a la síntesis de aminos tóxicas tales como la putrescina y la agmatina.

La deficiencia de potasio no ocasiona inmediatamente síntomas visibles. Los síntomas comienzan generalmente en las hojas más viejas, debido al hecho que estas hojas suministran K^+ a las más jóvenes (Mengel y Kirkby, 1978).

2.6.3.2. EL POTASIO EN EL SUELO

Las diversas formas de potasio en el suelo pueden clasificarse en tres grupos generales: (a) no disponible, (b) rápidamente disponible, y (c) lentamente disponible. Aunque la mayor parte del potasio del suelo esta en la primera de las tres formas, desde un punto de vista práctico intermedio los últimos dos son los de mayor significación.

Formas no disponibles: Entre el 90-98% de todo el potasio del suelo de un suelo mineral está en formas relativamente no disponibles. Los componentes que contienen la mayor parte de esta forma de potasio son los feldespatos y las micas. Estos minerales son bastante resistentes a la meteorización y suministran relativamente pequeñas cantidades de potasio durante una temporada de crecimiento dada. Sin embargo, la liberación acumulativa de potasio por un período de años indudablemente es el de alguna importancia. Esta liberación es mejorada mediante la acción solvente del ácido carbónico y de ácidos orgánicos e inorgánicos más fuertes, así como también por la presencia de arcillas ácidas y humus.

Formas rápidamente disponibles. Solamente del 1-2% del potasio total del suelo es rápidamente disponible. El potasio disponible existe en los suelos en dos formas: (a) en la solución suelo y (b) como potasio intercambiable adsorbido sobre las superficies coloidales del suelo. Aunque la mayor parte de este potasio disponible está en forma intercambiable (aproximadamente el 90%), el potasio de la solución suelo es rápidamente más absorbido por las plantas superiores. Desafortunadamente, el potasio de la solución suelo está sujeto a pérdida considerable por lixiviación.

Cuando las plantas absorben el potasio de la solución suelo, inmediatamente el potasio intercambiable se moviliza dentro de la solución suelo hasta que se establezca el equilibrio nuevamente. Si se agregan fertilizantes solubles en agua al suelo, el equilibrio se revierte y el potasio de la solución suelo se moviliza sobre el complejo de intercambio. El potasio intercambiable puede considerarse como un mecanismo buffer importante para el potasio de la solución suelo.

Formas lentamente disponibles. En presencia de la vermiculita, la esmectita y otros minerales tipo 2:1, los iones de K^+ así como también los de NH_4^+ de la solución suelo (o los agregados como fertilizantes) no solamente llegan a ser absorbidos sino que también pueden quedar definitivamente "fijadas" por los coloides del suelo. Los iones de potasio (y de amonio) son justo del tamaño preciso para acomodarse entre las capas de los cristales de estas arcillas normalmente expandibles y llegan a convertirse en parte integral del cristal. Estos iones no pueden ser reemplazados por los métodos de intercambio ordinario y consecuentemente se refiere a ellos como no intercambiables. De tal forma, los iones no son rápidamente disponibles por mucho tiempo para las plantas superiores. Sin embargo, los iones no intercambiables están en equilibrio con las formas más disponibles y consecuentemente actúan como una reserva extremadamente importante de nutrientes disponibles en forma lenta. El equilibrio integro para el potasio puede representarse como sigue:

K no intercambiable \leftarrow lento \rightarrow K intercambiable \leftarrow rápido \rightarrow K de la solución
suelo

La importancia de este equilibrio para las prácticas agrícolas no debería pasarse por alto. Es de especial valor en la conservación del potasio agregado y también es un medio por el cual la reserva de potasio eventualmente puede liberarse para ser usada por las plantas.

Se consideran cuatro las condiciones del suelo que afectan marcadamente las cantidades de potasio fijado: (a) la naturaleza de los coloides del suelo, (b) el humedecimiento y el secado, (c) el congelamiento y el derretimiento, y (d) la presencia de calcáreo en exceso.

A veces las aplicaciones de calcáreo ocasionan un incremento en la fijación del potasio de los suelos. El encalado puede tener efectos adversos sobre la disponibilidad del potasio de otras formas. Por ejemplo, en los suelos donde las cargas negativas son dependientes del pH, el encalado incrementa la capacidad de intercambio catiónico, lo que ocasiona una adsorción de potasio incrementada por los coloides del suelo y una disminución del nivel de potasio de la solución suelo. Además, los elevados niveles de calcio en la solución suelo pueden reducir la absorción de potasio por las plantas. Finalmente, se ha notado deficiencias de potasio en los suelos con exceso de carbonato de calcio.

Las aplicaciones de potasio frecuentes y ligeras tienen algunas ventajas sobre las aplicadas en una sola vez y menos frecuentes. Tal conclusión se basa en el consumo de lujo del potasio por algunos cultivos, y al hecho de que el exceso de potasio está sujeto a fijación (Brady, 1990).

2.6.4. EL CALCIO

2.6.4.1. EL CALCIO EN LA PLANTA

El ión Ca^{2+} exhibe más características de coordinación parecidas a las del Mg^{2+} , pero su escasa vocación geométrica lo excluye de los complejos altamente orientados. Por el contrario, esto lo hace ideal para servir de puente entre restos ácidos de diferente naturaleza, formando un entramado tridimensional consistente. En las membranas celulares el Ca^{2+} sirve de enlace entre los grupos PO_4^{3-} y COO^- de fosfolípidos y proteínas, aumentando su hidrofobicidad y elasticidad, factores esenciales en los procesos de crecimiento y división celular. Al mismo tiempo, insolubiliza los ácidos pécticos para formar la estructura peptocelulósica de las paredes celulares. Por ello, una deficiencia de Ca produce irregularidades de desarrollo (entrenudos cortos, frutos no turgentes, escoriaciones, abscisión precoz de hojas y frutos, etc), aunque parece también estar implicada su participación en la organización de los microtúbulos.

Con excepción de su papel activador en las ATPasas membranales, existen pocas enzimas con una activación específica demostrada por el Ca^{2+} . Ciertas hidrolasas de sustratos macromoleculares (amilasas, nucleasas) parecen requerir específicamente Ca^{2+} , aunque con un papel estructural, más que propiamente catalítico. Recientemente, se ha sugerido un papel del Ca^{2+} en la activación histerética de la fructosa 1,6-bisfosfatasa fotosintética, y algunos investigadores postulan un papel promotor del Ca^{2+} en la nodulación de las leguminosas por el *Rhizobium*, así como su necesidad en el proceso de la reducción del N_2 .

Una función poco reconocida del Ca^{2+} es su papel antitóxico. Contribuye a neutralizar la acidez excesiva que pueda originarse en la intimidad celular, pero además bloquea por insolubilización la toxicidad específica de ciertos aniones, como el oxálico, neutralizando en forma de cristales de oxalato de

calcio. No es este el caso del fitato de calcio, que constituye una forma de reservorio, tanto de P como de Ca.

Se conoce desde antaño el antagonismo del Ca^{2+} con el K^+ que, si bien puede contemplarse como una competencia en la neutralización de la acidez celular, constituye un mecanismo –por el papel del Ca^{2+} en la regulación de la permeabilidad de la pared celular– de control de la toxicidad que el exceso de K^+ puede producir. En esta misma línea, el exceso de Ca^{2+} disminuye la utilización de los micronutrientes Fe, Mn y Zn. Finalmente, el Ca^{2+} desempeña a nivel de raíz, una función de protección frente a la acidez, los elementos tóxicos, la salinidad y el defecto del balance iónico del suelo. Los niveles edáficos entre 1 y 5 mM de Ca^{2+} constituyen un elemento protector del vegetal.

De lo expresado se deduce que el Ca tiene una escasa movilidad en la planta, con un desplazamiento limitado en sentido ascendente, vía xilema. Ello produce una acumulación progresiva e irreversible de Ca en los tejidos de los órganos senescentes. Por ello, a diferencia de otros nutrientes, una deficiencia en Ca se manifiesta preferentemente en los tejidos jóvenes. Sin embargo, a pesar de la necesidad de un aporte continuo de Ca exógeno, esta deficiencia es muy poco frecuente (Lachica y Gonzáles, 1985).

2.6.4.2. EL CALCIO EN EL SUELO

El calcio en el suelo se presenta en varios minerales primarios. Estos incluyen el Ca contenido en los aluminosilicatos tales como los feldespatos y los anfiboles, los fosfatos de Ca y los carbonatos de Ca. Los últimos son particularmente importantes en los suelos calcáreos y están usualmente presentes como calcita (CaCO_3) o dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$). El contenido de Ca de diferentes tipos de suelo varía ampliamente dependiendo principalmente del material parental y del grado en el cual la meteorización y la lixiviación han influenciado en el desarrollo del suelo.

Aparte del Ca contenido en los minerales una cantidad sustancial de Ca^{2+} está adsorbida a los coloides orgánicos e inorgánicos del suelo. Para los suelos en los cuales dominan los minerales arcillosos 2:1, alrededor del 80% de la capacidad de intercambio del suelo debe saturarse con Ca^{2+} para así mantener una estructura del suelo satisfactoria. Para los suelos con caolinita como el mineral arcilloso más importante se recomienda un bajo porcentaje de saturación de Ca^{2+} en el orden de alrededor del 20%. Los sitios de adsorción de los coloides inorgánicos del suelo no son muy selectivos para el Ca^{2+} . El calcio adsorbido a los coloides del suelo tiende a equilibrarse con el Ca^{2+} de la solución suelo. La mayoría de los suelos inorgánicos contienen suficientes niveles de Ca^{2+} en la solución suelo y sus sitios de intercambio están bien saturados con Ca^{2+} , para cubrir adecuadamente las demandas de los cultivos.

Los suelos difieren ampliamente en sus pH y contenidos de Ca. Particularmente este es el caso de los suelos no cultivados. Durante la evolución, las especies vegetales se han adaptado a estas condiciones variables de pH y de Ca. Por esta razón existen diferencias saltantes en la tolerancia entre las especies vegetales e incluso variedades de una misma especie. Al respecto las especies vegetales pueden dividirse en calcícolas y calcífugas. Las calcícolas son típicas de la flora observada en los suelos calcáreos mientras que las especies calcífugas crecen en suelos ácidos pobres en Ca.

En suelos donde no es deseable un incremento de pH, pero si es necesario el Ca^{2+} para mejorar la estructura del suelo, deben aplicarse sales neutras de Ca (Mengel y Kirkby, 1978).

2.6.5. EL MAGNESIO

2.6.5.1. EL MAGNESIO EN LA PLANTA

Su concentración en el vegetal es relativamente alta, con un 70% del total en forma libremente difusible. Constituye con el K^+ y el Ca^{2+} , uno de los tres cationes fundamentales de la materia viva, con características intermedias, especialmente en lo que respecta a la solubilidad de sus sales, menor que las de K^+ y mayor que las de Ca^{2+} .

El ión Mg^{2+} presenta un radio iónico inferior a los iones K^+ y Ca^{2+} y, como consecuencia, una mayor energía de hidratación, lo que condiciona la estructura de sus complejos. Se comporta como un enérgico ácido de Lewis, aceptando electrones ligandos tipo N y O, con los que forma complejos estables de coordinación octaédrica. A diferencia del Ca^{2+} , el ión Mg^{2+} es muy exigente geoméricamente, completando dicha coordinación, bien sirviendo de enlace entre dos centros, o con agua de hidratación.

A tales demandas geométricas puede deberse la especificidad del Mg^{2+} en la clorofila. La coordinación planar 4 que establece con los átomos de N pirrólicos, se completa con una axial de diferente naturaleza. En los "centros de reacción" de los fotosistemas I y II mediante la formación de dímeros de clorofila, en que una de las posiciones axiales, vacante en cada molécula, es complejada por un grupo C=O de la otra. En los complejos clorofílicos de las "antenas" por un grupo C=O de la otra. En los complejos clorofílicos, en que una de las posiciones axiales, vacante en cada molécula, es complejada por un grupo C=O tiende a crear oligómeros de moléculas aparece frecuentemente no ocupada, consecuencia de dificultades estéricas por desplazamientos del Mg^{2+} en el plano tetrapirrólico.

El Mg de la clorofila no representa más del 5-15% del total de la planta. Existe una larga lista de enzimas que, con mayor o menor especificidad, son

activados por el Mg^{2+} , en especial los vinculados a reacciones que transfieren fosfatos (fosfatasas, pirofosfatasas, quinasas, etc), restos nucleotídicos (sintasa, nucleótido transferasas) o carboxilos (carboxilasas). Muchas veces, como con el K^+ , la activación es genérica, por neutralización de restos ácidos de la enzima y/o sustrato, efectos de hidratación, etc. En otras, el Mg^{2+} tiene carácter coenzimático, bien formando complejos ternarios al actuar como puente del complejo enzima-sustrato, o actuando en un lugar diferente al de la unión al sustrato. El mayor problema para catalogar las enzimas activadas por el Mg^{2+} radica en que, en la mayoría de ellos, cuando se analizan "in vitro", dicho elemento puede ser sustituido por el Ca^{2+} o el Mn^{2+} con mantenimiento, al menos parcial, de la actividad.

En el cloroplasto, el Mg^{2+} desempeña un papel fundamental en la activación de ciertas enzimas del ciclo de Calvin. El aumento de la concentración del Mg^{2+} , que ocurre en el estroma al iluminar, induce la activación de la ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa y fructosa -1,6-bisfosfatasa, las dos enzimas claves de dicho ciclo. Por otro lado, el Mg^{2+} y/o Ca^{2+} son activadores de la ATPasas cloroplastídicas y mitocondriales.

Como ya se mencionó, el Mg^{2+} es el catión preferente en la neutralización del PO_4^{3-} , tanto en los polifosfatos energéticos, como azúcares fosforilados, nucleótidos, etc., formando sales altamente solubles, comportándose por tanto, como un movilizador de los mismos. Por ello, en las deficiencias de Mg hay una emigración del mismo hacia las partes jóvenes de la planta, manifestándose los síntomas de carencia primeramente en los tejidos senescentes; si la deficiencia es profunda o prolongada, quedan también afectada las zonas jóvenes, con alteraciones de la morfogénesis. No obstante, e igual le ocurre al Ca, en situación de aporte normal el Mg tiende a acumularse con la edad de los tejidos (Lachica y Gonzales, 1985).

2.6.5.2. EL MAGNESIO EN EL SUELO

Se encuentran elevados niveles de Mg en los suelos arcillosos debido al Mg presente en los minerales ferromagnesianos fácilmente meteorizables, tales como la biotita, la serpentina, la hornblenda y el olivino. Además se presenta en los minerales arcillosos secundarios que incluyen a la clorita, la vermiculita, la illita y la montmorillonita. Los suelos de las regiones áridas o semiáridas pueden contener grandes cantidades de Mg como $MgSO_4$.

La distribución del Mg en los suelos puede considerarse en la misma forma que la distribución del K, y dividirse en formas no intercambiables, intercambiables y solubles en el agua. Estas tres formas están en equilibrio. Desde lejos la mayor fracción del Mg del suelo está en la forma no intercambiable que incluye a todo el Mg de los minerales primarios y la mayor parte del Mg de los minerales arcillosos secundarios.

Generalmente esta fracción no ha sido considerada de importancia en la liberación directa del Mg para las plantas. Sin embargo, la evidencia más reciente sugiere que en algunos suelos el Mg no intercambiable puede estar más disponible que lo anotado anteriormente.

En los suelos que poseen elevados contenidos de minerales arcillosos expandibles tanto el Mg de los lattice como el de las entrecapas puede estar disponible para las plantas, aunque la tasa de liberación de este Mg es lenta en comparación con la demanda del cultivo. Algo de Mg se presenta en el suelo en asociación con la materia orgánica, pero esta fracción es usualmente pequeña y menor del 1% del Mg total del suelo.

Se ha observado que el magnesio, como el calcio, es fácilmente lixiviado del suelo en cantidades del orden de 2 a 30 kg de Mg/ha/año. La tasa de remoción depende considerablemente de la cantidad de Mg que contengan los minerales del suelo, su tasa de meteorización y la intensidad de la

lixiviación, así como también la absorción del Mg del suelo por las plantas. En muchos suelos la liberación del Mg^{2+} mediante la meteorización es capaz de balancear lo removido por la lixiviación.

El nivel de Mg en los suelos depende en gran medida del tipo de suelo. El material parental también juega un papel y generalmente los suelos desarrollados a partir de rocas ricas en Mg tales como el basalto, la peridotita, y la dolomita están bien suministrados con Mg (Mengel y Kirkby, 1978).

2.7. LOS CULTIVOS

2.7.1. LA MASHUA

2.7.1.1. Generalidades

La mashua ocupa el tercer lugar en importancia entre los tubérculos menores de los Andes, después de la oca y el olluco. Se cultiva poco fuera del área andina.

2.7.1.2. Taxonomía

Según el sistema de Takhtajan (1980), está ubicada en los siguientes taxa:

Reino	:	Plantae
División	:	Magnoliophyta
Clase	:	Magnoliopsida
Subclase	:	Rosidae
Orden	:	Geraniales
Familia	:	Tropaeolaceae
Género	:	<i>Tropaeolum</i>
Especie	:	<i>Tropaeolum tuberosum</i> R. & P.

2.7.1.3. Nombres comunes

Quechua	:	Mashua, añu, apiñu, apiña-mama, yanaoca, maswa
Aymara	:	Isau, issanu, kkayacha, isaño
Español	:	Mashua (o majua, mafua, mauja, maxua), mashuar, añu, anyú (Perú); cubios, navios, navo (Colombia), puel (sur de Colombia), isaño, isañu, apilla (bolivia).

(National Research Council, 1989).

2.7.1.4. Morfología general

Tropaeolum tuberosum "mashua" es una planta anual, de porte al principio erecto y luego semi postrado, que forma una masa compacta de follaje.

Sus tallos aéreos son cilíndricos, de 3-5 mm de diámetro, de color púrpura claro, por lo general muy ramificados. Las hojas alternas son peltadas; pecíolos cilíndricos, de 5-20 cm de largo, verdes y con puntos rojos, volubles que pueden arrollarse alrededor de un soporte. La lámina es lobada, de 3-6 cm de ancho con 2 a 3 lobos en la parte inferior, siendo la superior entera y más angosta. La nervadura es palmeada, con 7 a 9 nervios principales. La cara superior de las hojas es verde mate; la inferior más clara con nervios y bordes purpúreos.

Las flores solitarias nacen en las axilas de las hojas; sus pedúnculos miden de 10-18 cm de largo. El cáliz, de color rojo, se forma de 5 sépalos; los tres superiores se prolongan en un espolón, típico de esta familia, que a veces es doble. Los 5 sépalos son anaranjados, los dos superiores más anchos, orbiculares, con venas de color rojo; los tres inferiores espatulados y con nervios rojo-oscuros. Hay 8 estambres, de 7 a 12 mm de largo; el estilo es más corto y termina en un estigma trifido. El fruto se compone de tres nueces pequeñas unidas (esquizocarpo).

2.7.1.5. Tubérculos

La forma de los tubérculos varía de cónica a elipsoidal con el eje mayor frecuentemente curvo. El tamaño fluctúa entre 5-15 cm de largo por 3-6 cm de ancho. El perfil del tubérculo es marcadamente ondulado, y cada ondulación corresponde a un entrenudo.

Las yemas u "ojos" son por lo general profundos y en algunos clones más concentrados en el ápice, lo que da a éste un aspecto plano. En otros clones, especialmente los colombianos, las yemas están más espaciadas y el ápice es marcadamente agudo. La base del tubérculo es por lo común cónica y alargada. Son muy frecuentes en mashua los tubérculos fasciados (León, 1964).

Chacón (1960) ha descrito la estructura del tubérculo. La epidermis se compone de una sola capa de células, cuyas paredes externas son más gruesas y dan un aspecto lustroso a la superficie; en mashua como en oca y olluco, no hay epidermis suberizada. La zona cortical que sigue se forma de más 10 capas de parénquima muy ricas en almidón; cuando hay áreas coloreadas en mashua, los pigmentos ocupan las células más externas de este tejido y la epidermis. La endodermis está bien desarrollada y forma una capa continua, más o menos paralela a la superficie. El pecíolo se forma de 1-3 capas de células más pequeñas. El cilindro vascular es una estructura continua; el xilema en forma de banda tiene prolongaciones que penetran en la médula y alternan con áreas más estrechas, inmediatas al pecíolo. El floema se presenta en bandas interrumpidas opuestas a las prolongaciones de xilema. La médula ocupa la mayor parte del tubérculo; en ella las células contienen menos almidón y más agua que en la zona cortical.

2.7.1.6. Fases fenológicas del cultivo de la mashua

Según Catacora y Barboza (1989) se describe las siguientes:

- **Emergencia:** Cuando los brotes emergen a la superficie del suelo; estos brotes tienen una ligera pigmentación de color violáceo en el envés de la hoja.
- **Formación de estolones:** Sus estolones aparecen de la raíz principal, cuando la planta alcanza de 15 a 20 cm de altura, esta fase se cumple cuando los estolones tienen de 3 a 5 cm de longitud.
- **Inicio de la tuberización:** Esta fase se inicia con un pequeño abultamiento ligeramente alargado en el extremo terminal de los estolones.
- **Formación del botón floral:** Se forma un estolón injerto en forma perpendicular a los peciolo de pigmentación intensa, los botones florales inician a formarse cuando el índice del área foliar es máximo.
- **Inicio de floración:** Se apertura la primera floración, esto ocurre aproximadamente a los 148 días de la siembra, y que coincide con el máximo número de estolones en el suelo.
- **Fructificación:** Se da cuando los frutos inician su madurez hasta dividirse y casi individualmente el fruto es un esquizocarpio conformado de tres minicarpios uniseminados.
- **Madurez fisiológica:** Cuando los primeros tubérculos de mashua alcanza su máximo desarrollo, se observa que las hojas inician a cambiar de color hasta amarillo pálido en un 80% del área foliar de la planta y se inicia la caída de las mismas (Lescano, 1994).

2.7.1.7. Rendimiento

La mashua se siembra en lotes pequeños; generalmente en las laderas de los cerros, junto con papas y otros tubérculos menores. Los tubérculos se recogen unos 200 días después de la siembra. El rendimiento comercial fluctúa entre 20,000 a 30,000 Kg por hectárea.

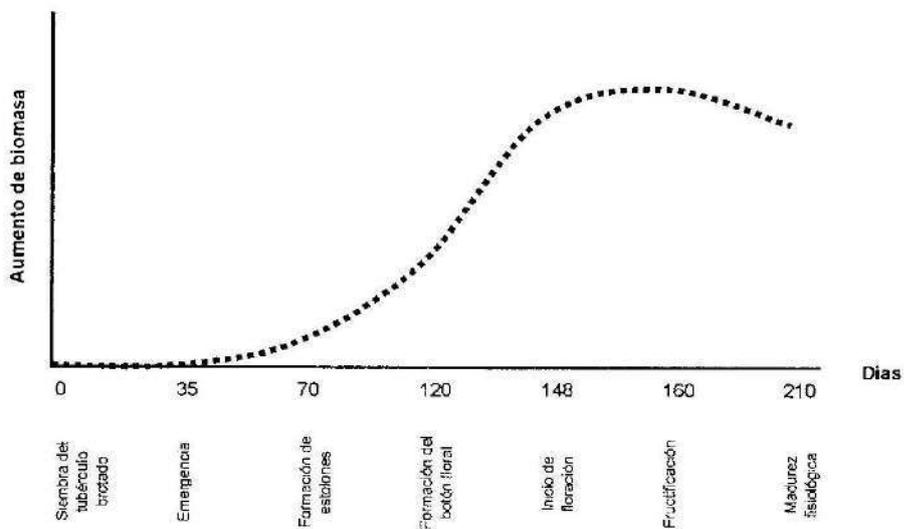
2.7.1.8. USOS

Los tubérculos de la mashua contienen isotiocianatos (aceites de la mostaza) los cuales les otorgan un sabor picante bien marcado que nos remite a los nabos picantes cuando se comen crudos (Clark, 1999). La preparación y consumo de la mashua varía dentro de los países y los grupos culturales. Los tubérculos llegan a atenuar su sabor y en algunos casos endulzan cuando son cocidos. Son también embebidos en melaza y se comen como dulce. En Bolivia y en algunos lugares del Perú los tubérculos son revestidos con melaza y congelados para hacer un postre especial. Además, las hojas tiernas jóvenes pueden comerse como hortaliza verde cocida lo mismo que las flores. Se ha sugerido también que la mashua puede servir como alimento para el ganado debido al elevado valor nutritivo del follaje y tubérculos (National Research Council, 1989).

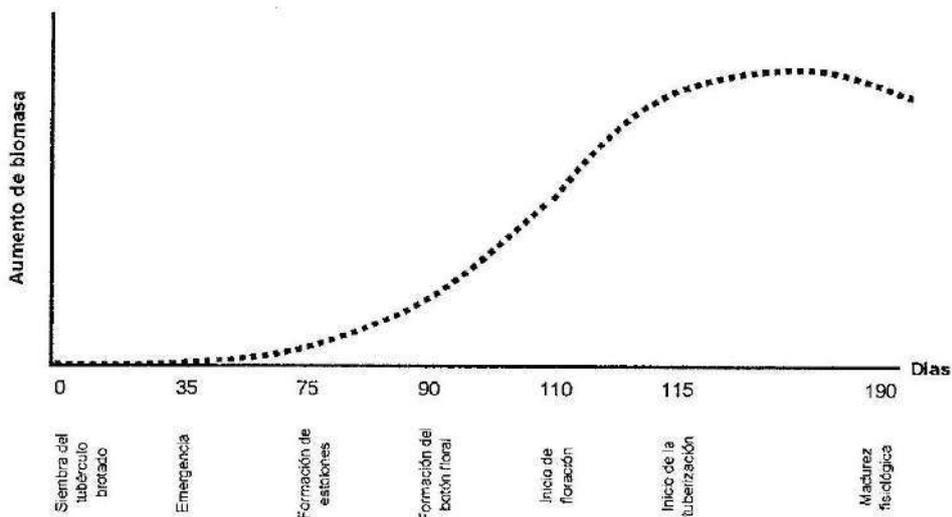
Tradicionalmente la mashua tiene varios usos medicinales dentro de la medicina folklórica de la región andina, y su domesticación puede estar relacionada a su importancia como agente medicinal. Muchos de los usos medicinales de la mashua se relacionan a la presencia del p-metoxibenzil isotiocianato, que se ha utilizado en la etnomedicina andina.

Recientes estudios científicos han aislado los componentes que son antibióticos, diuréticos y que afectan los niveles de testosterona en los machos y los niveles de estrógeno en las hembras. El efecto sobre el nivel de testosterona parece relacionarse a los isotiocianatos de los tubérculos. Los resultados preliminares sugieren que la N-N-di-(metoxi-4-benzil) tiourea inhibe competitivamente al estradiol ligante y puede tener actividad estrogénica en las hembras humanas. Las propiedades antibióticas, insecticidas, bactericidas, nematocidas y diuréticas de los isotiocianatos verifican los variados usos de la mashua en la medicina folklórica andina. La mashua tiene el potencial para convertirse en un principal alimento vegetal alrededor del mundo (Clark, 1999).

Cuadro N° 2: Fases Fenológicas del Cultivo de la Mashua



Cuadro N° 3: Fases Fenológicas del Cultivo de la Oca



2.7.2. LA OCA

2.7.2.1. Generalidades

La oca es después de la papa, el tubérculo que más se cultiva en los Andes, y por su rendimiento y sabor agradable es uno de los elementos más apreciados en la alimentación andina. Su cultivo se extiende desde Venezuela hasta Argentina y Chile.

2.7.2.2. Taxonomía

Según el sistema de Takhtajan (1980) esta ubicada en los siguientes taxa:

Reino	:	Plantae
División	:	Magnoliophyta
Clase	:	Magnoliopsida
Subclase	:	Rosidae
Orden	:	Geraniales
Familia	:	Oxalidaceae
Género	:	<i>Oxalis</i>
Especie	:	<i>Oxalis tuberosa</i> Molina

2.7.2.3. Nombres comunes

Quechua	:	O'qa, okka
Aymara	:	Apiña, apilla, kawi
Español	:	Oca, ibia (Colombia); quiba, ciuba, ciuva (Venezuela), huisisai, ibias (Sudamérica), papa roja (México)
Inglés	:	Oca, sorrel; kao, yam (Nueva Zelanda)
Francés	:	Truffette acide
Alemán	:	Knollen-Sauerklee

(Ríos, 1982).

2.7.2.4. Morfología general

La oca es una hierba anual, baja y compacta, de 20-30 cm de alto. Los tallos cilíndricos y suculentos, brotan de la base de la planta y dan a ésta una forma cónica y semi-esférica. Sus entrenudos son más cortos y delgados en la parte inferior, y en las plantas adultas es frecuente que los tallos se doblen hacia fuera. El color de los tallos varía según el clon, desde el verde a vino oscuro. Internamente están compuestos de tejidos corticales con parénquima lleno de agua, y de un cilindro central poco desarrollado, con haces vasculares aislados y médula formada de parénquima. En la oca es común la presencia de tallos fasciados, planos y con estrias longitudinales.

Las hojas colocadas en filotaxia de 2/5 tienen peciolo largo y acanalado; en éstos se distinguen claramente dos partes, separadas por la superficie de abscisión y cuando las hojas caen, las bases de los peciolo permanecen adheridas al tallo. La lámina de la hoja es trifoliada. Los folíolos son obcordiformes, de 1-4 cm de largo, verde oscuros y lisos en la cara superior, púrpura o verde y densamente pubescentes en la inferior.

Las inflorescencias cimosas, en pedúnculos largos de 10-15 cm, aparecen en las axilas de las hojas superiores y sobresalen de la planta. El cáliz está formado por 5 sépalos agudos y verdes. La corola tiene 5 pétalos unidos en la base, festoneados en su parte superior, amarillos con líneas longitudinales purpúreas; miden 10-12 mm de largo. Los 10 estambres forman dos grupos de cinco, de diferente longitud cada grupo. El gineceo está formado por 5 carpelos separados, cuyos estilos son a veces más largos que el grupo más alto de estambres (longistilia); otras veces están situadas entre los dos grupos de estambres (mesostilia) o pueden ser más cortos que el grupo inferior de estambres (brevistilia).

El fruto es una cápsula de cinco cavidades con 1-3 semillas diminutas en cada una. La oca rara vez forma frutos, pues por lo común las flores se desprenden poco después de abrirse.

2.7.2.5. Estolones y tubérculos

Los estolones brotan de los nudos subterráneos del tallo y alcanzan varios centímetros de longitud; son blancos y provistos de escamas caedizas. El rizoma resulta del engrosamiento terminal de un estolón, en que los entrenudos se agrandan, mientras que de los nudos se forman "ojos" de los que brotan yemas. La forma de los tubérculos varía de claviforme y elipsoidal hasta cilíndrica; el color es muy variado y la combinación de forma y color es la base para la clasificación de los clones. La longitud del tubérculo es muy variable, fluctuando entre 3-20 cm (León, 1964).

Según Orbegoso (1958) el tubérculo se compone de una epidermis formada por una capa de células seguida por los estratos de colénquima. La región cortical que sigue hacia el interior contiene células llenas de almidón y pigmentos. Los haces vasculares forman unidades separadas. La médula o parte central ocupa la mayor parte del tubérculo pues al expandirse empuja hacia fuera los haces vasculares y reduce el tamaño relativo de la región cortical. En ésta como en la médula, el tejido básico es parénquima, rico en agua, granos de almidón casi tan grandes como los de la papa y cristales de oxalato de calcio, más numerosos en las llamadas "ocas amargas". El tamaño de los rizomas es mayor cuando provienen de estolones formados en los nudos inferiores, los que se desarrollan de estolones superficiales son más largos y livianos.

2.7.2.6. Fases fenológicas del cultivo de la oca

Vallenas (1989) indica las siguientes fases fenológicas para el cultivo de oca.

- **Emergencia:** Cuando las plantas han emergido a la superficie del suelo, lo que ocurre aproximadamente a los 35 días de la siembra.

- **Formación de estolones:** Cuando los primeros estolones tienen entre uno y dos centímetros de longitud, lo cual ocurre aproximadamente a los 75 días de la siembra.
- **Formación de botón floral:** Cuando en las plantas se observa a simple vista la formación de botones florales, lo que ocurre aproximadamente a los 90 días de la siembra.
- **Inicio de la floración:** Cuando las plantas presentan las primeras flores abiertas. La ocurrencia de esta fase es aproximadamente a los 110 días de la siembra.
- **Inicio de la tuberización:** Cuando los estolones encuentran en su ápice un engrosamiento observable a simple vista, en la parte externa de la planta la intensidad de la floración es mayor que en la fase anterior. La tuberización ocurre aproximadamente a los 115 días de la siembra, asimismo se observa que los primeros frutos empiezan a desarrollar.
- **Madurez fisiológica:** Esta fase se caracteriza porque los tubérculos tienen la máxima velocidad de tuberización, completan el llenado de tubérculos, adquieren la intensidad del color del tubérculo de acuerdo a la variedad. En la parte aérea de fructificación, muestra las semillas botánicas maduras en explosión. Se inicia el amarillamiento de las hojas. La finalización de la tuberización ocurre aproximadamente a los 190 días de la siembra, a partir de este momento los tubérculos empiezan a perder peso (Lescano, 1994).

2.7.2.7. Rendimiento

Las ocas se cosechan entre 6 a 7 meses después de la siembra. La producción varía mucho según el año y el terreno. En Perú se obtienen de 5000-7000 kg por hectárea, y en lotes experimentales hasta 20000 kg (Mantari, 1955).

2.7.2.8. USOS

La oca puede consumirse de varias maneras. En los Andes, pocos tipos se comen crudos. La mayoría, sin embargo, se agrega a los guisos y sopas; asados, cocidos o al horno como las papas; o se sirven en dulce como mazamorra.

En los Andes, los tubérculos siempre se colocan al sol por pocos días, durante los cuales llegan a ponerse dulces, y la cantidad de la glucosa puede aumentar al doble. Casi siempre las variedades amargas son convertidas en productos secos (cavi o caya), durante el cual desaparece la amargura obteniéndose productos suaves al gusto que pueden almacenarse sin refrigeración.

Debido a su elevado contenido de materia seca (normalmente alrededor del 20%, pero a veces tanto como 30%), los tubérculos pueden tener potencial para la producción de almidón o alcohol.

Las plantas de oca también pueden utilizarse como alimento para el ganado (National Research Council, 1989).

Los tubérculos ácidos o "amargos" contienen cantidades de ácido oxálico que varía hasta más de 500 ppm. Se ha encontrado que la oca es el alimento que solo contiene oxalatos en su forma soluble. Se sabe que los oxalatos solubles tienen considerablemente mayor biodisponibilidad que los oxalatos insolubles (Albiñ y Savage, 2000).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. CAMPO EXPERIMENTAL

3.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Los dos cultivos se establecieron en la campaña agrícola de sierra entre los años 1994 – 1995.

Departamento: Junín.

Provincia : Huancayo.

Distrito : Huachac.

Localidad : Huayao, se encuentra al noroeste de Huancayo, a 15 Km de distancia.

Predio : Campo de cultivo perteneciente al Sr. Heraclio Cabrera.

Coordenadas geográficas:

- Latitud : 12°05'06" S.

- Longitud : 75°18'00" W.

- Altitud : 3350 msnm.

3.2 MATERIALES EMPLEADOS

3.2.1 Condiciones climáticas

La información sobre condiciones climáticas durante el desarrollo de los cultivos fue tomada del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) registrada en la Estación de Huayao (Cuadro N° 4). Según esta información se puede observar que la precipitación fue muy baja en comparación con años anteriores (datos no mostrados) y que además existen diferencias notorias entre las temperaturas máximas y mínimas promedio mensuales, sucediendo lo mismo entre las humedades relativas máximas y mínimas promedio mensuales. La tasa de evaporación se considera baja.

Cuadro N° 4: Datos meteorológicos (1994-1995) de la Estación de Huayao.
Departamento de Junín. Provincia de Huancayo

Año	Meses	Temperatura		Humedad Relativa		Precipitación Acumulada Total Mensual (mm/mes)	Evaporación Acumulada Total Mensual (mm/mes)
		Promedio Mensual (°C)		Promedio Mensual (%)			
		Máxima	Minima	Máxima	Minima		
1994	Octubre	21.1	4.3	82	22	58.6	5.6
1994	Noviembre	21.3	5.6	78	23	61.7	6.4
1994	Diciembre	21.2	6.4	81	23	111.6	6.6
1995	Enero	19.8	6.3	84	33	68.9	5.6
1995	Febrero	20.0	6.5	84	32	131.3	5.7
1995	Marzo	18.7	6.9	85	43	125.3	5.2
1995	Abril	20.3	4.1	84	26	19.6	4.7
1995	Mayo	20.8	1.2	81	20	26.8	4.6
1995	Junio	20.5	0.3	77	16	2.6	4.5

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. SENAMHI. Estación Meteorológica de Huayao (Huancayo)

3.2.2 Características del suelo

Fisiográficamente el terreno es una terraza media, de origen aluvial, con pendiente ligera (<5%). Según su capacidad de uso el suelo es de clase III, siendo la erosión el factor limitante. El lugar del experimento se situó en la margen derecha del río Mantaro reconocida por poseer materiales edáficos de reacción básica.

Según el análisis de caracterización del suelo (Cuadro N° 5) se puede decir que existe una distribución homogénea de las fracciones de arena, limo y arcilla, aunque este último le confiere al suelo plasticidad en estado húmedo y dureza en estado seco. El contenido de sales solubles (C.E.) se considera bajo; la reacción del suelo (pH) es ligeramente ácida; el contenido de materia orgánica como humus (M.O) se considera bajo; el contenido de fósforo disponible (P disp.) se considera elevado quizás debido a remanentes de abonamientos anteriores; el contenido de potasio disponible (K disp.) se considera bajo. La capacidad de intercambio catiónico total (CIC total) se considera en un nivel medio debido principalmente al contenido de arcilla, la cual confiere al suelo una buena capacidad de retención de cationes cambiables, entre las cuales predomina el calcio en mayor grado (89%), razón por la cual sería conveniente emplear fuentes que contengan magnesio, sobre todo potasio para mejorar las relaciones catiónicas. En resumen, el nivel de fertilidad del suelo se considera medio, requiriendo manejo agronómico al momento de la aplicación de enmiendas orgánicas y fertilizantes.

Cuadro N° 5: Resultados del análisis fisicoquímico del suelo experimental

TIPO DE ANÁLISIS	VALOR	METODOLOGÍA
FISICO-MECANICO:		
Arena (%)	42	Hidrómetro
Limo (%)	30	Hidrómetro
Arcilla (%)	28	Hidrómetro
Clase textural	Franco arcilloso	Triángulo textural
QUÍMICO:		
C.E. (1:1) (dS.m ⁻¹)	0.48	Conductivimétrica
pH (1:1)	6.2	Potenciométrica
CaCO ₃ (%)	0.0	Gasovolumetrica
P disp. (ppm)	19.8	Olsen modificado
K ₂ O disp. (kg.ha ⁻¹)	274	Acetato de amonio 1N, pH7
M.O. (%)	1.15	Colorimetrico
CIC total (cm.100 g ⁻¹)	18.0	Acetato de amonio 1N, pH7
CATIONES CAMBIABLES:		
Ca ²⁺ (me.100 g ⁻¹)	16.02	Espectrofotometría de absorción atómica
Mg ²⁺ (me.100 g ⁻¹)	1.31	Espectrofotometría de absorción atómica
K ⁺ (me.100 g ⁻¹)	0.48	Espectrofotometría de absorción atómica
Na ⁺ (me.100 g ⁻¹)	0.19	Espectrofotometría de absorción atómica

FUENTE: Laboratorio de Análisis de Suelo y Plantas.
Departamento de suelos de la UNALM.

Cuadro N° 6: Resultados del análisis físico-químico del estiércol de vacuno empleado en el presente ensayo (Establo Huayao)

TIPO DE ANÁLISIS	VALOR	METODOLOGÍA
<u>FÍSICO:</u>		
Humedad (%)	33.72	Gravimétrica
<u>QUÍMICO:</u>		
pH _{o.s.}	7.80	Potenciométrica
C.E. _{e.s}	32.10	Conductivimétrica
M.O. Total(%)	30.47	Acenización
N total(%)	0.98	Micro Kjeldahl
P ₂ O ₅ total(%)	1.60	Azul de molibdeno
K ₂ O total (%)	2.65	Espectrofotometría de Absorción atómica
CaO(%)	3.95	Espectrofotometría de Absorción atómica
MgO(%)	1.17	Espectrofotometría de Absorción atómica

FUENTE: Laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas,
Departamento de Suelos de la UNALM.

Cuadro N° 7: Resultados de análisis fisicoquímicos de otros estiércoles de vacuno procedentes de lugares cercanos al del presente ensayo

DETERMINACIÓN	ESTIÉRCOL SICAYA	ESTIÉRCOL PUCCHA	ESTIÉRCOL SAN LORENZO
C.E. _{e.s.} (dS/m)	19.70	13.13	14.40
pH _{e.s.}	8.70	8.50	8.80
M.O. (%)	44.51	37.94	55.56
N(%)	1.65	1.46	1.74
P ₂ O ₅ (%)	0.96	1.03	1.49
K ₂ O	4.54	3.33	3.57
CaO	6.13	3.40	4.53
MgO	1.67	1.45	1.85
Hd. (%)	22.46	50.43	53.56

FUENTE: Laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas,
Departamento de Suelos de la UNALM.

3.2.3 MATERIAL VEGETAL

3.2.3.1 Semilla de mashua .- Clon con denominación local "Jerga" ó "Jerguita". Los tubérculos presentan como color de fondo amarillo carnosos y sobre él estrías o jaspes de color púrpura / negro. Este clon se suele sembrar en los diferentes cultivos, alcanzando un rendimiento estimado entre 30 – 40 t.ha⁻¹.

3.2.3.2 Semilla de oca .- Clon con denominación local "Amarilla". Los tubérculos presentan como color amarillo cremoso uniforme. Es un clon tardío que requiere de 8 – 9 meses hasta la madurez. Tiene buena difusión entre los agricultores por su buena calidad culinaria y rendimientos aceptables.

3.2.4 FUENTE DE MATERIA ORGÁNICA

3.2.4.1 Estiércol de vacuno

Se empleó estiércol de vacuno acumulado durante dos años procedentes del establo del agricultor (Cuadro N° 4) en donde se puede apreciar, según el análisis físico-químico, que se trata de un material procedente de ganado estabulado y con suministro de alimento balanceado en la dieta (pH alcalino y elevada conductividad eléctrica), el contenido de materia orgánica se puede calificar como aceptable (se emplea el término bueno cuando el contenido de materia orgánica es mayor al 50%), además se puede decir que los tenores de nitrógeno total (N), fósforo total (como P_2O_5), potasio total (como K_2O), calcio total (como CaO) y magnesio total (como MgO) se sitúan dentro del promedio para la mayoría de compuestos orgánicos animales (estiércoles, compost, "humus de lombriz", entre otros) reflejando en todo caso la dieta a la cual han estado sujetos los animales del establo. Lo mencionado anteriormente puede observarse mejor con los valores mostrados en el cuadro N° 6 para estiércoles de tres localidades distintas del mismo valle y con régimen de dieta semi-estabulado.

La incorporación al suelo de estas materias orgánicas se expresan en la mejoría de las propiedades físicas (ejemplo: el incremento en la retención de agua), de las propiedades químicas (ejemplo: la lenta liberación de nutrientes al mineralizarse) y de las propiedades biológicas (ejemplo: la proliferación de microorganismos que participan en la liberación y solubilización de nutrientes) del suelo.

3.2.5 FERTILIZANTES EMPLEADOS

Urea o carbodiamida (46 % N).

Superfosfato triple de calcio (46% P₂O₅).

Cloruro de potasio (60 % K₂O).

3.2.6 EQUIPO DE CAMPO

Cordel de 100 m, wincha metálica de 100 m, bolsas de plástico y sacos de polietileno, yeso (marcado de las parcelas), estacas, lampas, azadones, cajas de cartón, plumones de tinta indeleble, lápices, tarjetas. etc.

3.2.7. INSTALACIÓN EN CAMPO

3.2.7.1. Área de parcela

Largo: 9 m

Ancho: 4 m

Área de parcela: 36 m²

3.2.7.2. Distanciamientos

Entre surcos: 1 m

Entre plantas: 0.4 m

3.2.7.3. Fecha de siembra

22 de octubre de 1994

3.2.7.4. Número de plantas por parcela

90 plantas por parcela

3.2.7.5. Aplicación de fertilizantes

La fuente de nitrógeno se aplicó la mitad a la siembra y el resto al aporque. Las fuentes de fósforo y potasio se aplicaron en su totalidad a la siembra. Por cada nivel se consideran tres repeticiones.

3.2.7.6. Fecha de cosecha

5 de junio de 1995

3.2.8. TRABAJO DE LABORATORIO

3.2.8.1. Lugar de evaluación

Esta segunda parte del experimento se realizó en el Laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas de las Universidad Nacional Agraria La Molina.

3.2.8.2. Materiales

Bolsas de papel y de plástico, plumones de tinta indeleble, espátula acanalada, frascos de plásticos, cajas de cartón, crisoles de porcelana, embudos de plástico, vasos de plástico (capac. 50 ml), pizeta, botella para lavado con agua caliente, fioías (capac. 50 y 25 ml), tubos de ensayo (capac. 50 ml) y gradillas de plástico.

3.2.8.3. Equipos

Estufa con control de temperatura, balanza eléctrica, balanza de precisión analítica, cocinilla eléctrica, equipo de destilación microkjeldahl, espectrofotómetro de luz visible (colorímetro), mufia

para calcinación de muestras, espectrofotómetro de absorción atómica y molino eléctrico.

3.2.8.4. Reactivos

Agua destilada, ácido clorhídrico P.A., ácido sulfúrico P.A., mezcla catalizadora de microkjeldahl, estándares preparados para calibración de los elementos (K, Ca, y Mg), molibdato de amonio, metasulfito de sodio, cloruro de lantano, sulfito de sodio anhidro, ácido 1-amino-2-hidroxi-4-naftaleno-sulfónico, ácido bórico, azul de metileno (indicador) y rojo de metilo (indicador).

3.2.8.5. Lavado de las muestras

Las diferentes muestras (tubérculos, parte aérea y raíces) se lavaron en principio con agua corriente, luego con agua acidulada para eliminar las sustancias extrañas como polvo o residuos del suelo y enjuagándolas luego con agua destilada. Esto se cumplió tanto para la mashua como para la oca.

3.2.7.6 Pesado de las muestras frescas

Una vez lavadas las muestras, se dejó escurrir el excedente de agua empleada permitiéndolas también un ligero secado a temperatura ambiente por espacio de 20 minutos. Este peso se consideró como peso fresco, utilizándose para tal fin una balanza eléctrica con aproximación de 2 decimales.

3.2.7.7 Secado de muestras

Las muestras lavadas y oreadas fueron cortadas y embolsadas en bolsas de papel kraft, colocándolas luego en la estufa con temperatura de 70°C hasta obtener peso constante (se emplearon

en promedio 72 horas).

3.2.7.8 Pesado de las muestras

Obtenido el peso constante de las muestras, se procedió a pesarlas en una balanza eléctrica con aproximación de 2 decimales.

3.2.7.9 Molienda de las muestras

Después de pesar las muestras secas se procedió a molerlas en un molino eléctrico en tamaño suficiente para que pasen por una malla de 1 mm de diámetro en las cribas. Las muestras secas molidas se recolectaron en bolsas de plásticos previamente identificadas y con ellas se procedieron a realizar los análisis correspondientes.

3.2.7.10 Ataque de las muestras y determinación de los elementos

Para la determinación de los elementos se debe indicar que para el caso del nitrógeno se siguieron los procedimientos del método de Microkjeldahl, esto es la transformación del nitrógeno orgánico hacia sulfato de amonio en la etapa de digestión empleando para tal finalidad el ácido sulfúrico y un catalizador para luego proceder al destilado y titulación para cuantificar el amonio que se expresa como nitrógeno total, mientras que para los demás elementos se realizó por ataque vía seca que contempla la calcinación o acenización de la muestra (en una mufla a 450°C durante un tiempo de 8 horas) y su posterior solubilización en medio ácido (esto implica el tratamiento de las cenizas con HCl al 50% y su posterior disolución con agua destilada caliente, la misma que luego de enfriar fue aforada en

fiola hasta un volumen de 50 mL) la cual se denomina extracto de la muestra. Es a partir del extracto de la muestra que se cuantificó fósforo total (método del azul de molibdeno o del ácido 1-amino-4-naftaleno-sulfónico) y a los restantes elementos totales (potasio, calcio y magnesio) mediante espectrofotometría de absorción atómica.

3.3 METODOLOGÍA

Para este experimento, cada parcela (en esta ocasión iguales para la oca y mashua) tiene las siguientes dimensiones: 6m de largo por 6 m de ancho.

Niveles de estudio:

- T1 : nivel cero, testigo.
- T2 : aplicación de 5 t de estiércol de vacuno en bandas.
- T3 : aplicación de dosis del abonamiento NPK (120 – 120 – 80).

Las fuentes de la fertilización mineral fueron urea, superfosfato triple de calcio y el cloruro de potasio. La fuente de nitrógeno (Urea) se aplicó la mitad a la siembra y el resto al aporque. Las fuentes de fósforo y de potasio se aplicaron en su totalidad a la siembra. Por cada nivel se consideran tres repeticiones. El distanciamiento entre surcos será de 1 m y entre plantas de 0.40 m. con una planta por golpe (90 plantas por parcela).

3.4 DISEÑO ESTADÍSTICO

Para evaluar el presente ensayo se utilizó el diseño de bloques completos al azar (DBCA) con tres repeticiones. Las unidades experimentales siguieron esta denominación:

MASHUA	BLOQUE	NIVELES
M	I	1 (Testigo)
	II	2 (5 t estiércol)
	III	3 (N- P- K 120 – 120 – 80)

Se tuvieron 3 tratamientos con 3 repeticiones, siendo un total de 9 parcelas experimentales para el cultivo de mashua.

OCA	BLOQUE	NIVELES
O	I	1 (Testigo)
	II	2 (5 t estiércol)
	III	3 (N- P- K 120 – 120 – 80)

Se tuvieron 3 tratamientos con 3 repeticiones, siendo un total de 9 parcelas experimentales para el cultivo de oca.

En total sumados los cultivos de oca y de mashua, se obtuvieron 18 parcelas experimentales.

Se realizaron 11 muestreos en oca y 12 para la mashua. Éstos fueron secuenciales según el desarrollo fenológico de los cultivos (por cada tratamiento y repetición) y se evaluó la absorción de nutrientes.

El análisis estadístico se realizó empleando las normas establecidas para el diseño de Bloques Completos al Azar, la prueba estadística empleada fue la F y sus valores calculados se compararon con la tabla correspondiente al nivel de 5% de probabilidad. También se incluye el coeficiente de variabilidad correspondiente. Finalmente se hicieron las comparaciones entre los promedios obtenidos para cada elemento mediante la prueba de Duncan.

El modelo aditivo lineal es el siguiente:

$$X_{ij} = \mu.. + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

donde:

X_{ij} : observación correspondiente al i -ésimo abonamiento en el j -ésimo bloque o repetición.

$\mu_{..}$: Efecto de la media general

τ_i : Efecto correspondiente al i -ésimo abonamiento

β_j : Efecto correspondiente al j -ésimo bloque o repetición

\mathcal{E}_{ij} : Efecto correspondiente al error experimental en el i -ésimo abonamiento en el j -ésimo bloque o repetición.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EL CULTIVO DE LA MASHUA

4.1.1. Formación y acumulación de materia seca total en la mashua

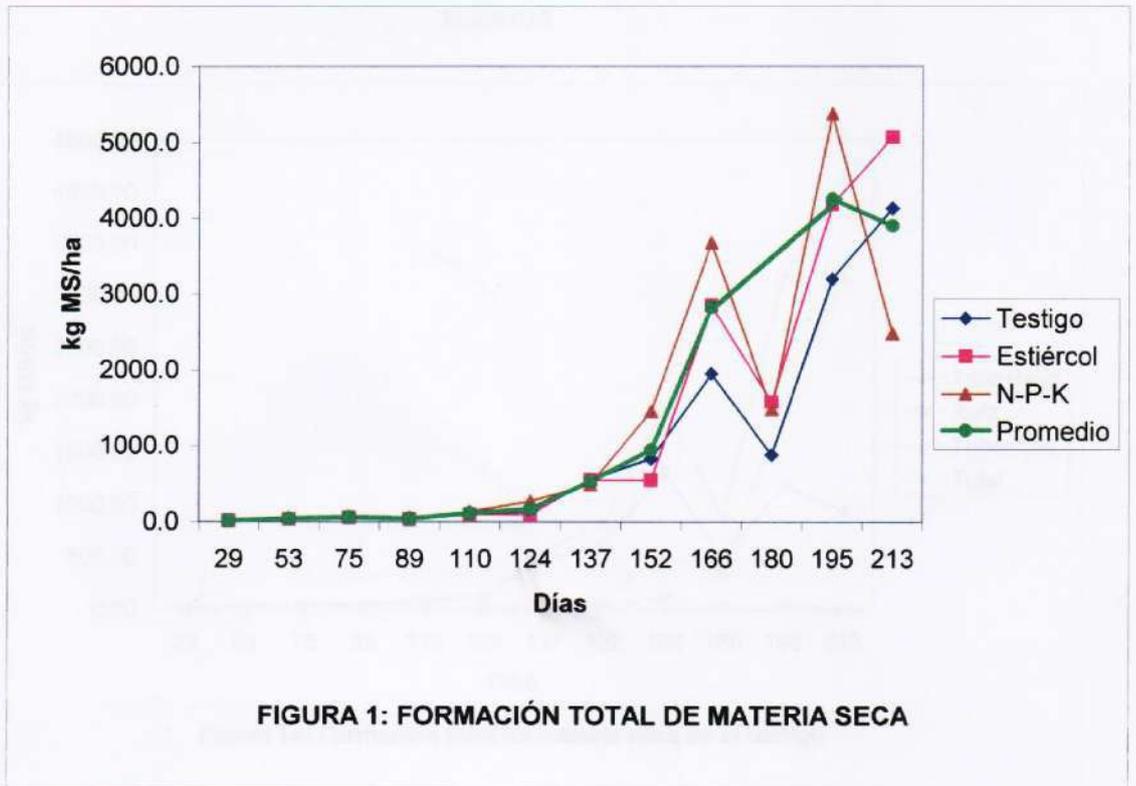
La curva de acumulación de materia seca total se presenta en la figura 1. Se aprecia que la tendencia es semejante para los 3 tratamientos hasta los 195 días, después de los cuales el tratamiento con **NPK** disminuye. El análisis estadístico no demostró diferencias significativas entre los tratamientos considerados (ANVA y prueba de Duncan en el anexo 1).

Si bien el comportamiento en la acumulación de materia seca se inicia como sigmoideal, ésta sufre una baja abrupta hacia los 180 días debido a las heladas meteorológicas provocando que el cultivo decaiga en su acumulación de biomasa en respuesta a un factor ambiental. Pero también se puede observar, posterior a ello, una notable recuperación de los 3 tratamientos. Lo antes mencionado puede indicar que si bien el cultivo puede ser afectado por factores climáticos tipo heladas y sequías, también tiene capacidad de recuperación aunque se debe hacer notar que para la fecha mencionada el cultivo ya presentaba plantas adultas (se refiere a la parte aérea bien conformada que efectúa la acción de traslocación de sustancias de reserva hacia los tubérculos).

Se ha tomado como fecha última (cosecha) a los 213 días para la mashua debido a que para tal momento los tubérculos ya no desprendían su piel externa (cáscara) al frotarlos entre los dedos de las manos.

Como información adicional se debe hacer constar que a los 213 días el tratamiento con mayor acumulación de materia seca fue el de estiércol (5071,42 kg MS/ha) y no el tratamiento con **NPK**, el cual sí muestra mayor acumulación de materia seca a los 195 días (5376,17 kg MS/ha) quizás

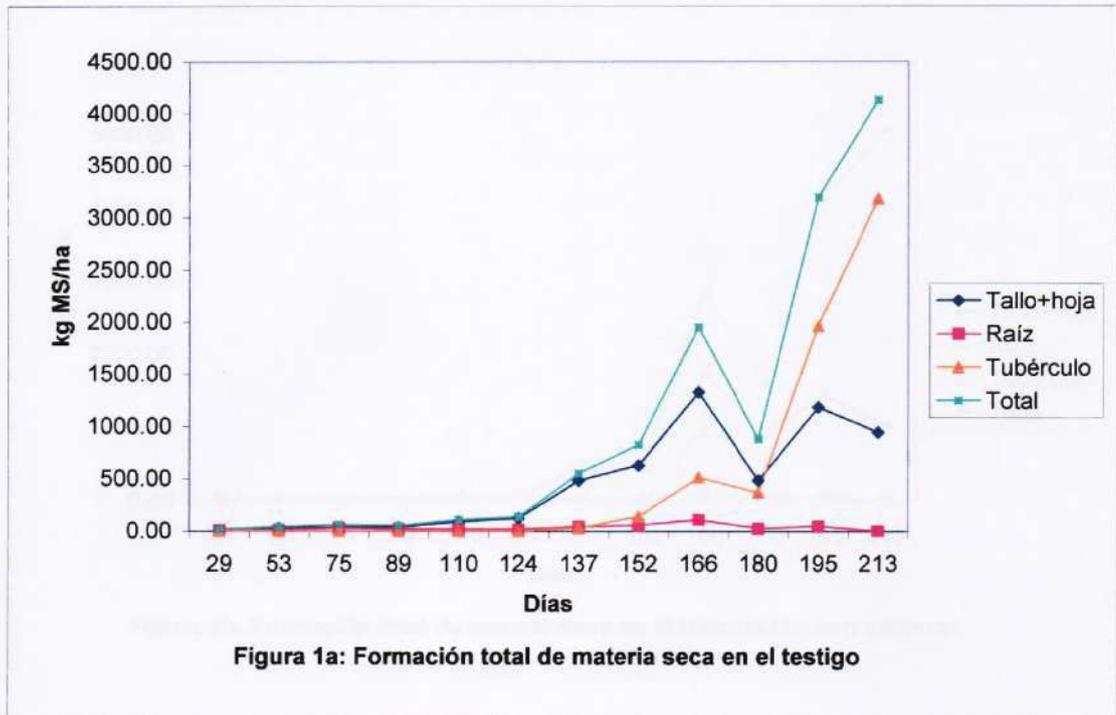
MASHUA



Tratamiento	Días transcurridos después de la siembra											
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195	213
Testigo	17.4	38.0	63.0	52.2	106.9	133.4	551.4	826.3	1951.9	880.1	3194.6	4126.0
Estiércol	16.0	30.6	51.3	35.0	91.3	92.3	549.3	545.8	2854.9	1577.1	4174.7	5071.4
N-P-K	15.7	53.6	59.4	31.4	131.4	265.4	488.6	1453.8	3674.2	1480.3	5376.2	2483.3
Promedio	16.4	40.7	57.9	39.5	109.9	163.7	529.8	941.9	2827.0	1312.5	4248.5	3893.6

Tabla 1: Formación Total de Materia Seca en Kg MS/ha

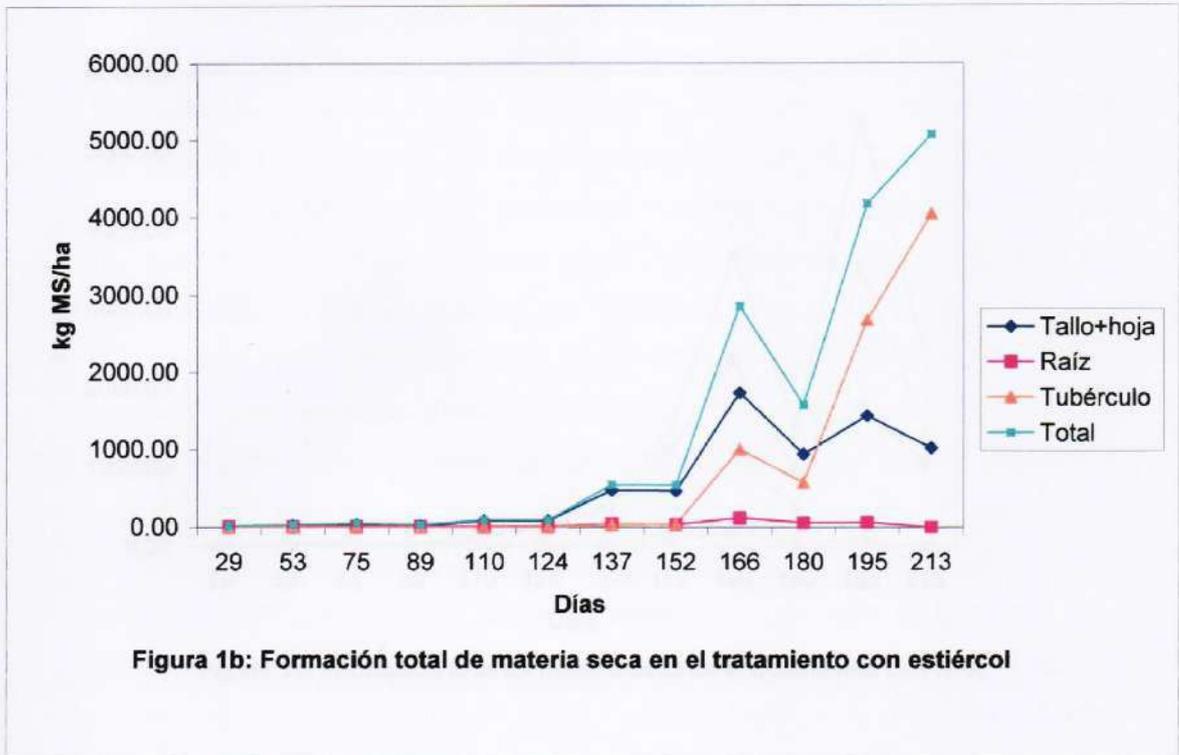
MASHUA



Parte	Días transcurridos después de la siembra											
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195	213
Tallo+hoja	8.33	27.17	34.50	34.50	89.50	119.92	484.42	631.17	1327.00	487.42	1185.00	944.67
Raíz	9.08	10.83	28.50	17.67	17.42	13.50	39.75	56.08	110.92	24.17	45.83	0.00
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.25	139.00	514.00	368.50	1963.75	3181.33
Total	17.42	38.00	63.00	52.17	106.92	133.42	551.42	826.25	1951.92	880.08	3194.58	4128.00

Tabla 1a: Formación total de Materia Seca en Kg MS/ha en el Testigo

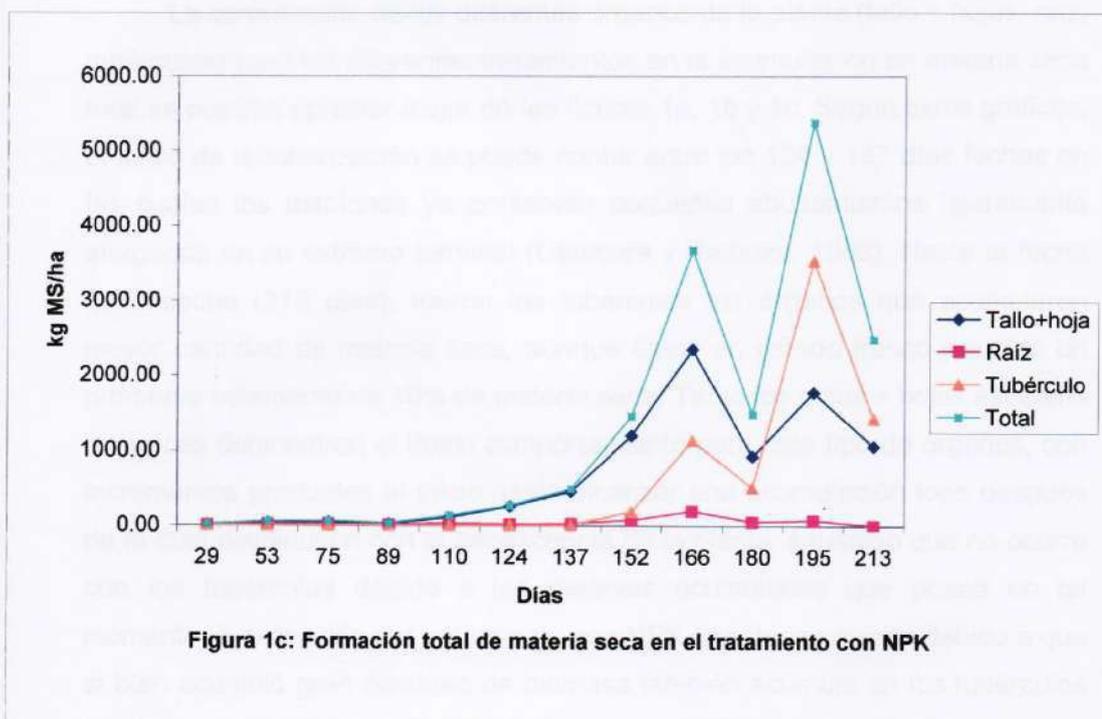
MASHUA



Parte	Días transcurridos después de la siembra											
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195	213
Tallo+hoja	8.08	22.25	35.17	20.58	79.33	78.92	475.92	469.50	1732.17	943.25	1434.58	1024.08
Raíz	7.92	8.33	16.17	14.42	12.00	13.42	43.25	33.08	120.42	55.83	64.17	0.00
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.17	43.25	1002.33	578.00	2675.92	4047.33
Total	16.00	30.58	51.33	35.00	91.33	92.33	549.33	545.83	2854.92	1577.08	4174.67	5071.42

Tabla 1b: Formación total de Materia Seca en Kg MS/ha en el Tratamiento Estiércol

MASHUA



Parte	Días transcurridos después de la siembra											
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195	213
Tallo+hoja	7.75	36.33	40.58	19.50	106.75	252.08	453.50	1198.75	2345.08	923.00	1771.58	1058.67
Raiz	7.92	17.25	18.83	11.92	24.67	13.33	26.67	72.08	197.00	49.17	70.00	0.00
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.42	182.92	1132.08	508.08	3534.58	1424.67
Total	15.67	53.58	59.42	31.42	131.42	265.42	488.58	1453.75	3674.17	1480.25	5376.17	2483.33

Tabla 1c: Formación total de Materia Seca en Kg MS/ha en el tratamiento con NPK

demostrando así que su fecha apropiada de cosecha hubiera sido a los 195 días.

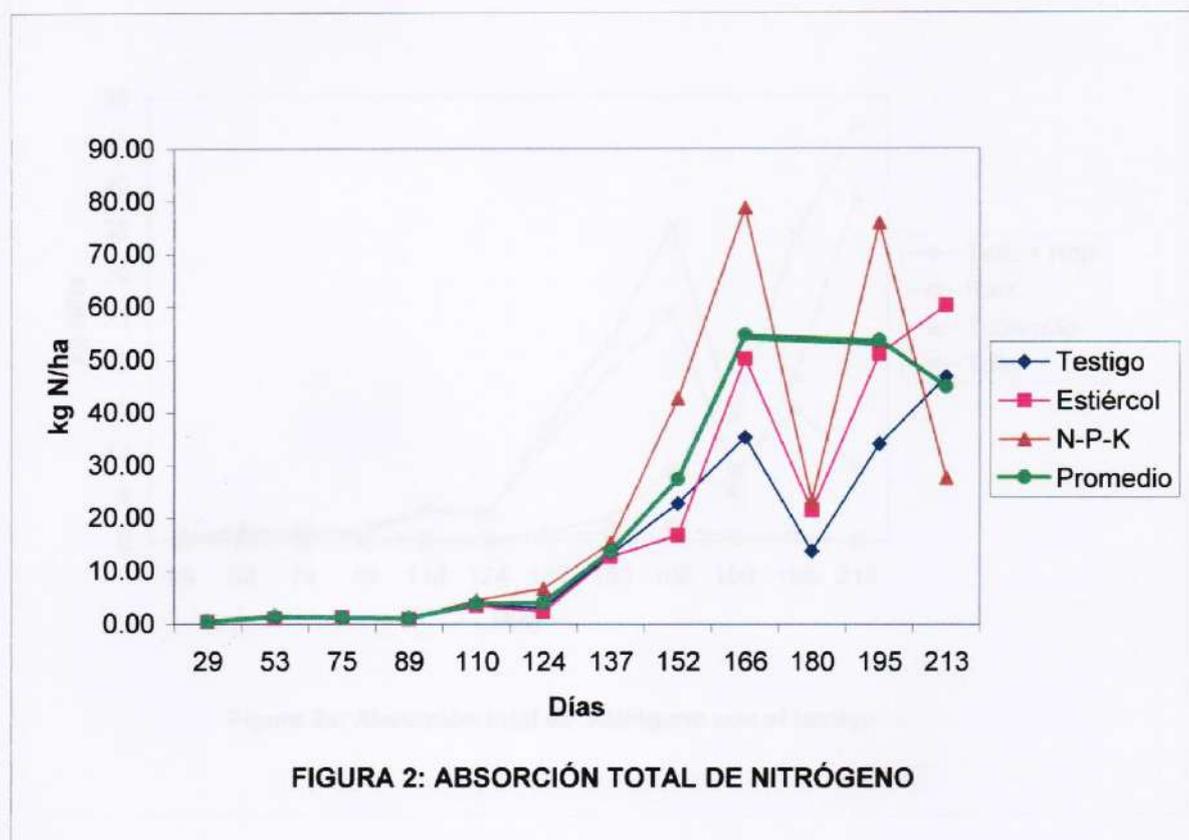
La contribución de los diferentes órganos de la planta (tallo + hojas, raíz, tubérculos) para los diferentes tratamientos en la acumulación de materia seca total se pueden apreciar mejor en las figuras 1a, 1b y 1c. Según estos gráficos, el inicio de la tuberización se puede contar entre los 124 y 137 días fechas en las cuales los estolones ya presentan pequeñas abultamientos ligeramente alargados en su extremo terminal (Catacora y Barboza, 1989). Hasta la fecha de cosecha (213 días), fueron los tubérculos los órganos que acumularon mayor cantidad de materia seca, aunque éstos en estado fresco poseían un promedio solamente de 10% de materia seca. Tanto los tallos + hojas así como las raíces demuestran el típico comportamiento para este tipo de órganos, con incrementos graduales al inicio hasta alcanzar una acumulación tope después de la cual disminuyen con la senescencia de la planta, situación que no ocurre con los tubérculos debido a las reservas acumuladas que posee en tal momento, a excepción del tratamiento con NPK que decae quizás debido a que si bien acumuló gran cantidad de biomasa también acumuló en los tubérculos gran cantidad de agua.

4.1.2. Absorción total de nitrógeno

La absorción total de nitrógeno por el cultivo de mashua estuvo regida por la formación de materia seca y el porcentaje de N en la misma.

El análisis estadístico no evidenció diferencias significativas entre las cantidades de N absorbidos por el cultivo en sus diferentes tratamientos (ANVA y prueba de Duncan en el anexo 2). Los patrones de absorción se muestran parecidas hasta los 195 días (Fig. 2). Nótese la similitud en el comportamiento del elemento nitrógeno si se compara con la acumulación de la materia seca. La caída de N en el tratamiento con NPK a los 213 también es notoria. La máxima acumulación de nitrógeno se manifiesta a los 166 días para el tratamiento con NPK, mientras que para el testigo y el tratamiento con estiércol

MASHUA



Tratamiento	Días después de la siembra											
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195	213
Testigo	0.53	1.33	1.32	1.28	3.67	3.04	13.18	22.73	35.32	13.79	34.08	46.84
Estiércol	0.46	1.09	1.34	0.97	3.47	2.37	12.72	16.73	50.21	21.49	51.09	60.25
N-P-K	0.62	1.70	1.15	1.02	4.50	6.73	15.31	42.67	78.72	23.34	75.81	27.58
Promedio	0.54	1.37	1.27	1.09	3.88	4.05	13.74	27.38	54.75	19.54	53.66	44.89

Tabla 2: Absorción total de Nitrógeno en kg N/ha

MASHUA

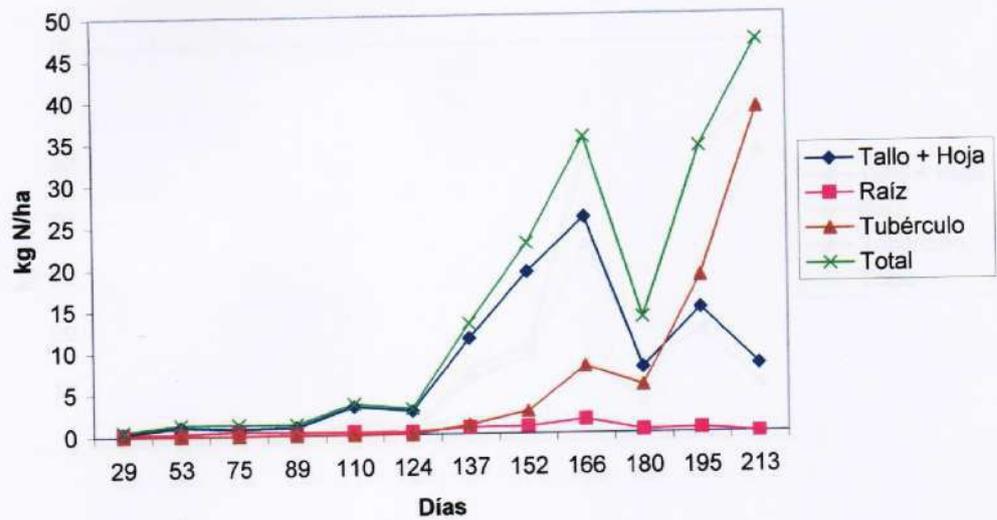
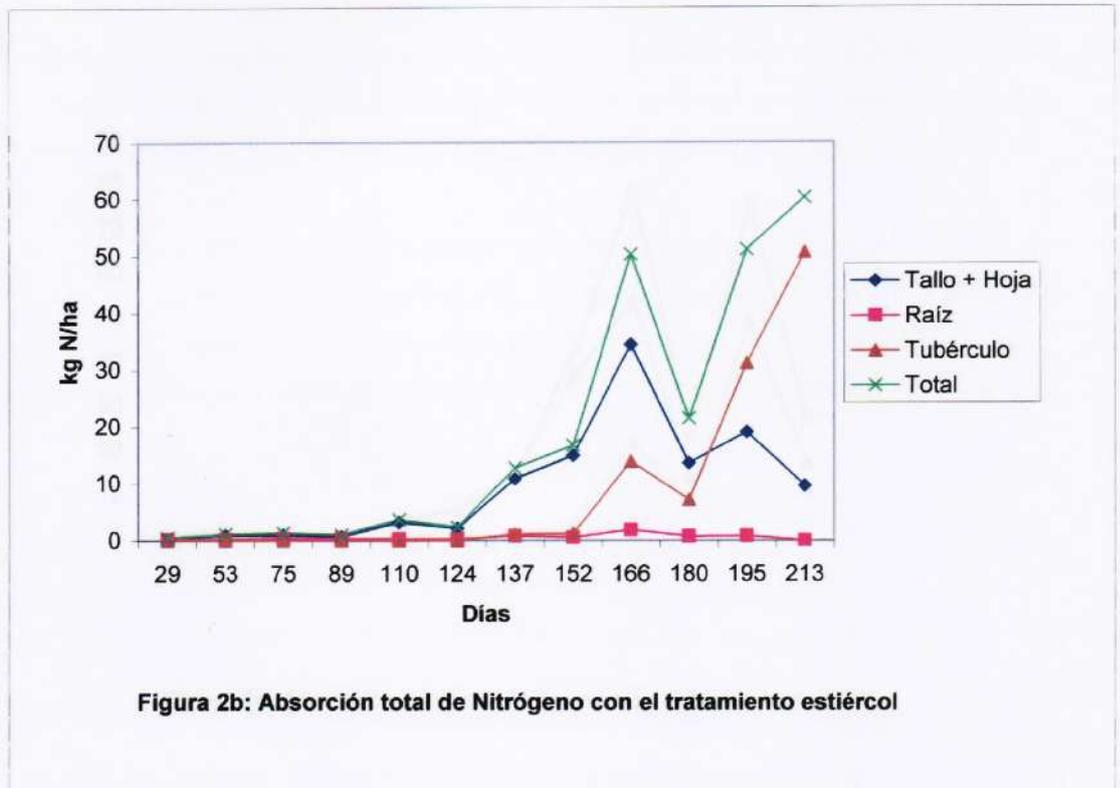


Figura 2a: Absorción total de Nitrógeno con el testigo

Parte	Días transcurridos después de la siembra											
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195	213
Tallo + Hoja	0.33	1.04	0.81	0.93	3.32	2.76	11.40	19.31	25.75	7.80	14.86	8.12
Raíz	0.20	0.28	0.51	0.35	0.35	0.28	0.75	0.80	1.62	0.33	0.52	0.00
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.03	2.61	7.95	5.66	18.7	38.72
Total	0.53	1.32	1.32	1.28	3.67	3.04	13.18	22.72	35.32	13.79	34.08	46.84

Tabla 2a: Absorción total de Nitrógeno en kg N/ha con el testigo

MASHUA



Parte	Días transcurridos después de la siembra											
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195	213
Tallo + Hoja	0.27	0.89	0.95	0.63	3.18	2.11	10.83	14.95	34.44	13.57	19.06	9.66
Raíz	0.19	0.20	0.39	0.34	0.29	0.26	0.78	0.54	1.89	0.74	0.82	0.00
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.11	1.24	13.89	7.18	31.21	50.59
Total	0.46	1.09	1.34	0.97	3.67	2.37	12.72	16.73	50.22	21.49	51.09	60.25

Tabla 2b: Absorción total de Nitrógeno en kg N/ha con el tratamiento estiércol

MASHUA

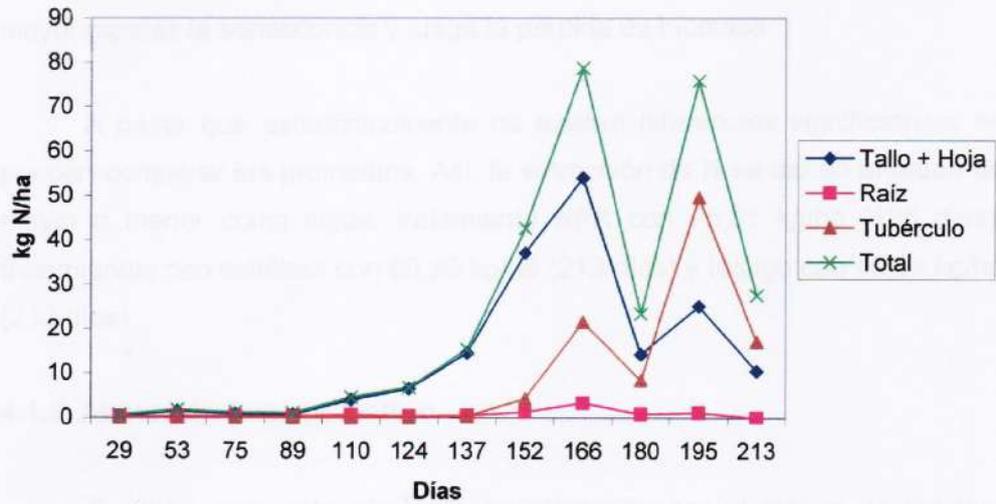


Figura 2c: Absorción total de Nitrógeno con el tratamiento NPK

Parte	Días transcurridos después de la siembra											
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195	213
Tallo + Hoja	0.35	1.39	0.82	0.72	3.92	6.41	14.49	37.1	53.88	14.17	25.1	10.45
Raiz	0.27	0.31	0.33	0.30	0.58	0.32	0.53	1.29	3.28	0.81	1.11	0.00
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	4.26	21.56	8.36	49.6	17.13
Total	0.62	1.70	1.15	1.02	4.50	6.73	15.31	42.65	78.72	23.34	75.81	27.58

Tabla 2c: Absorción total de Nitrógeno en kg N/ha con el tratamiento NPK

continúa incrementándose a los 213 días, es decir al momento de la cosecha. Este hecho puede evidenciar que si bien la nutrición mineral con **NPK** provee al cultivo con los nutrientes necesarios, también es cierto que puede alcanzar con mayor rapidez la senescencia y luego la pérdida de biomasa.

A pesar que estadísticamente no existen diferencias significativas, se pueden comparar los promedios. Así, la extracción de **N** se dio en el orden de mayor a menor como sigue: tratamiento **NPK** con 75,81 kg/ha (195 días), tratamientos con estiércol con 60,25 kg/ha (213 días) y testigo con 46,84 kg/ha (213 días).

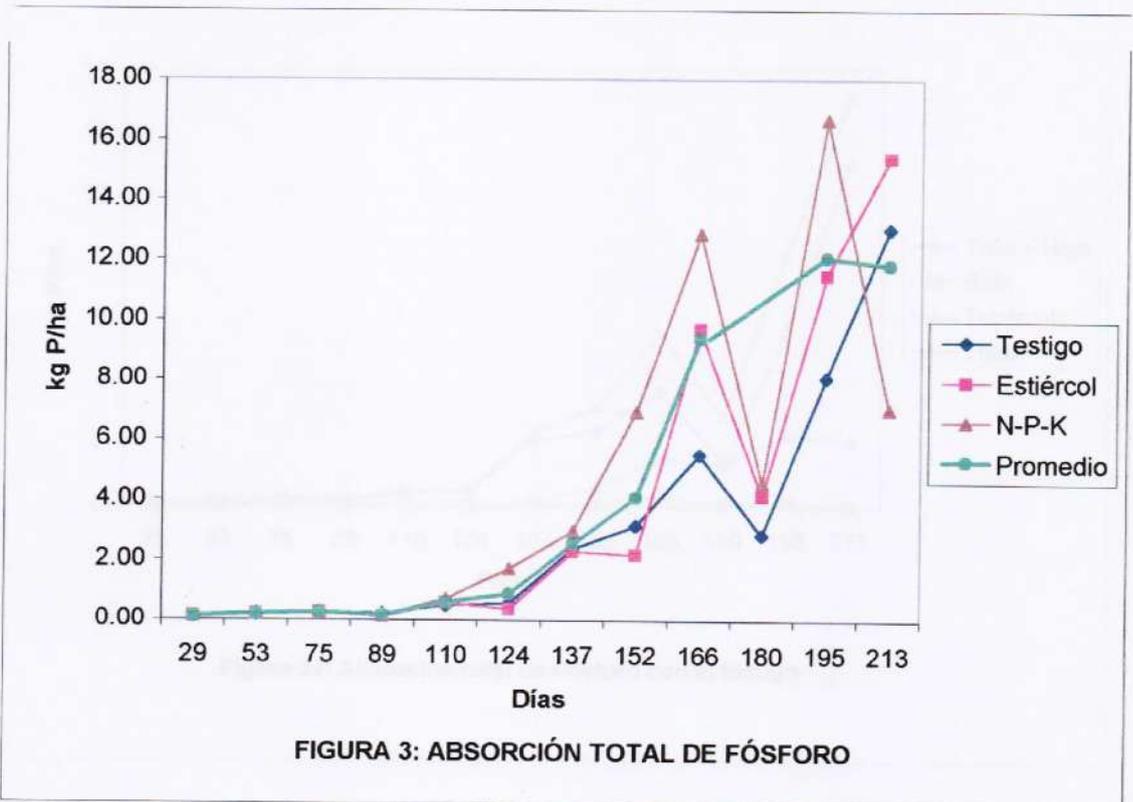
4.1.3. Absorción total de fósforo

También para este elemento su absorción por el cultivo de mashua estuvo regida por la formación de materia seca total.

El análisis estadístico no evidenció diferencias significativas entre las cantidades de **P** absorbido por el cultivo en sus diferentes tratamientos (ANVA y prueba de Duncan en el Anexo 3). Los patrones se muestran parecidos hasta los 195 días (Fig. 3). También para este elemento, su tasa y nivel de asimilación por el cultivo están directamente influenciados por la acumulación de materia seca total si se observan ambos cuadros (Fig.1 y Fig. 3) excepto en lo que respecta a la concentración del elemento **P**. Puede apreciarse que la acumulación total de **P** durante todo su desarrollo fenológico no excedió de los 18 kg de **P**/ha para todos los tratamientos.

Como también se indicó para el anterior elemento (**N**) y tomando en consideración las figuras 1a, 1b y 1c, el incremento en mayor tasa para el **P** se sitúa entre los 124 días lo cual coincide con el inicio de la tuberización y consiguiente necesidad de energía para la traslocación de sustancias de reserva (Brady, 1990).

MASHUA



Tratamiento	Días después de la siembra											
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195	213
Testigo	0.10	0.17	0.28	0.22	0.49	0.56	2.38	3.17	5.52	2.86	8.08	13.03
Estiércol	0.11	0.18	0.27	0.12	0.58	0.38	2.30	2.18	9.72	4.15	11.48	15.39
N-P-K	0.12	0.25	0.26	0.15	0.72	1.72	2.97	6.94	12.86	4.56	16.67	7.04
Promedio	0.11	0.20	0.27	0.16	0.60	0.89	2.55	4.10	9.37	3.86	12.08	11.82

Tabla 3: Absorción total de Fósforo en kg P/ha

MASHUA

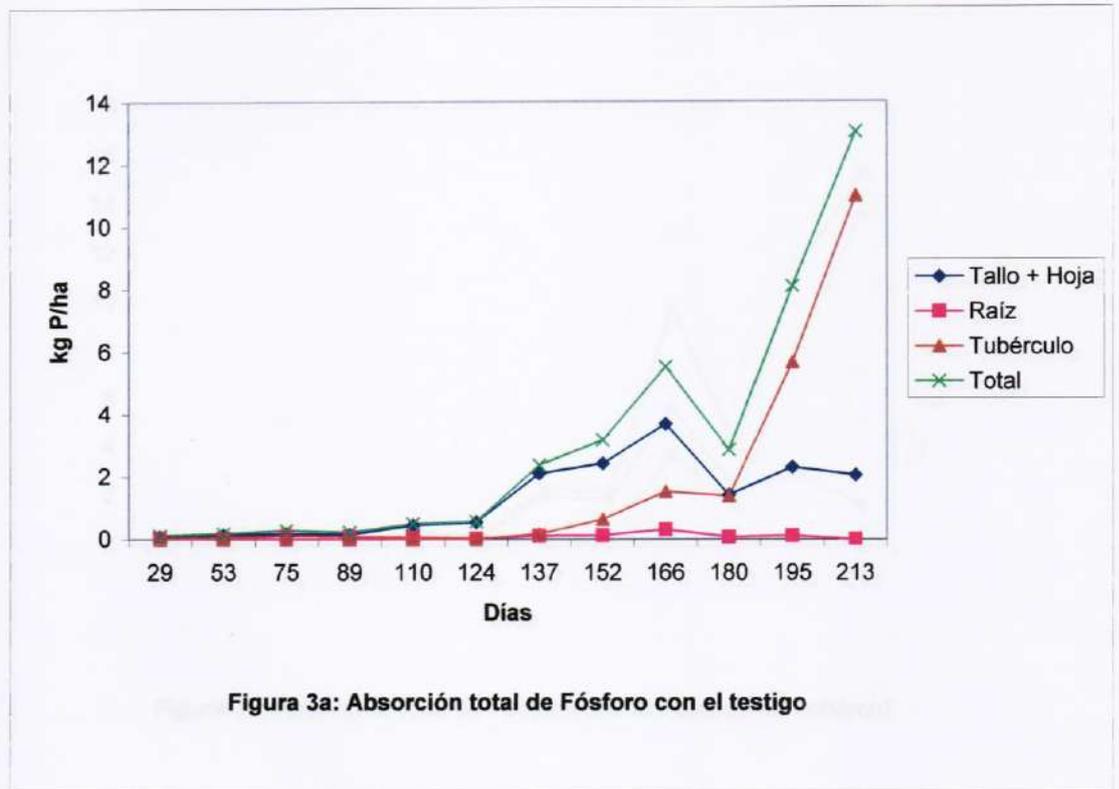


Figura 3a: Absorción total de Fósforo con el testigo

Parte	Días transcurridos después de la siembra											
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195	213
Tallo + Hoja	0.07	0.13	0.17	0.14	0.44	0.54	2.10	2.42	3.69	1.41	2.3	2.05
Raíz	0.04	0.04	0.11	0.08	0.05	0.02	0.11	0.13	0.31	0.07	0.12	0.00
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.63	1.52	1.38	5.67	10.99
Total	0.11	0.17	0.28	0.22	0.49	0.56	2.37	3.18	5.52	2.86	8.09	13.04

Tabla 3a: Absorción total de Fósforo en kg P/ha con el testigo

MASHUA

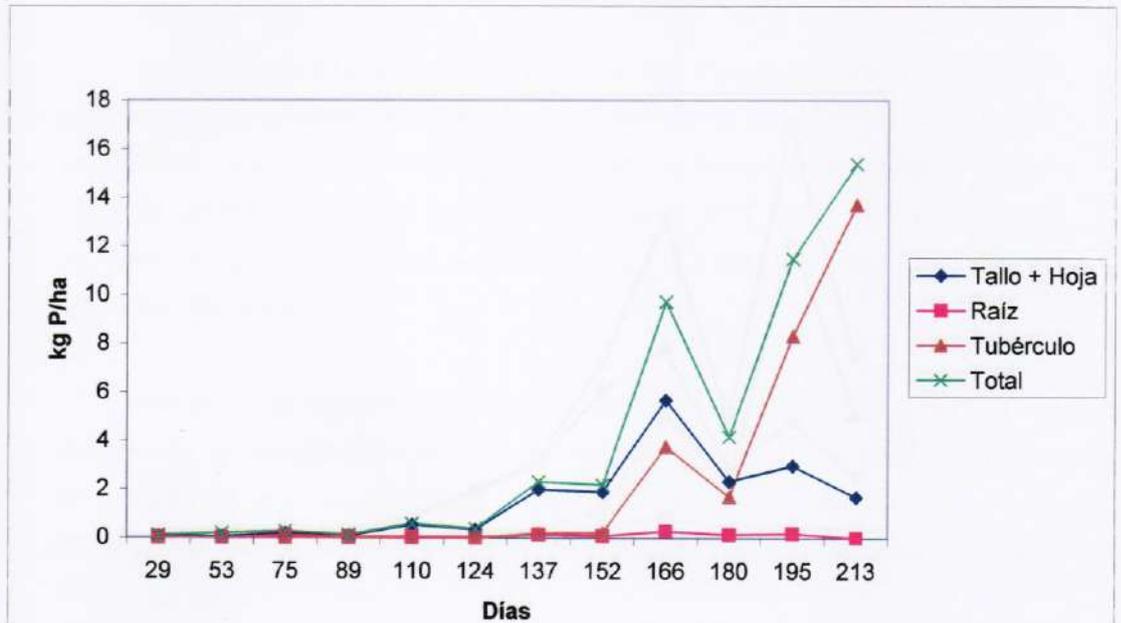


Figura 3b: Absorción total de Fósforo con el tratamiento estiércol

Parte	Días transcurridos después de la siembra											
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195	213
Tallo + Hoja	0.06	0.04	0.17	0.08	0.53	0.34	1.98	1.89	5.68	2.33	2.97	1.68
Raíz	0.04	0.00	0.1	0.05	0.05	0.03	0.13	0.08	0.28	0.14	0.18	0.00
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.21	3.76	1.69	8.32	13.71
Total	0.10	0.18	0.27	0.13	0.58	0.37	2.3	2.18	9.72	4.16	11.47	15.39

Tabla 3b: Absorción total de Fósforo en kg P/ha con el tratamiento estiércol

MASHUA

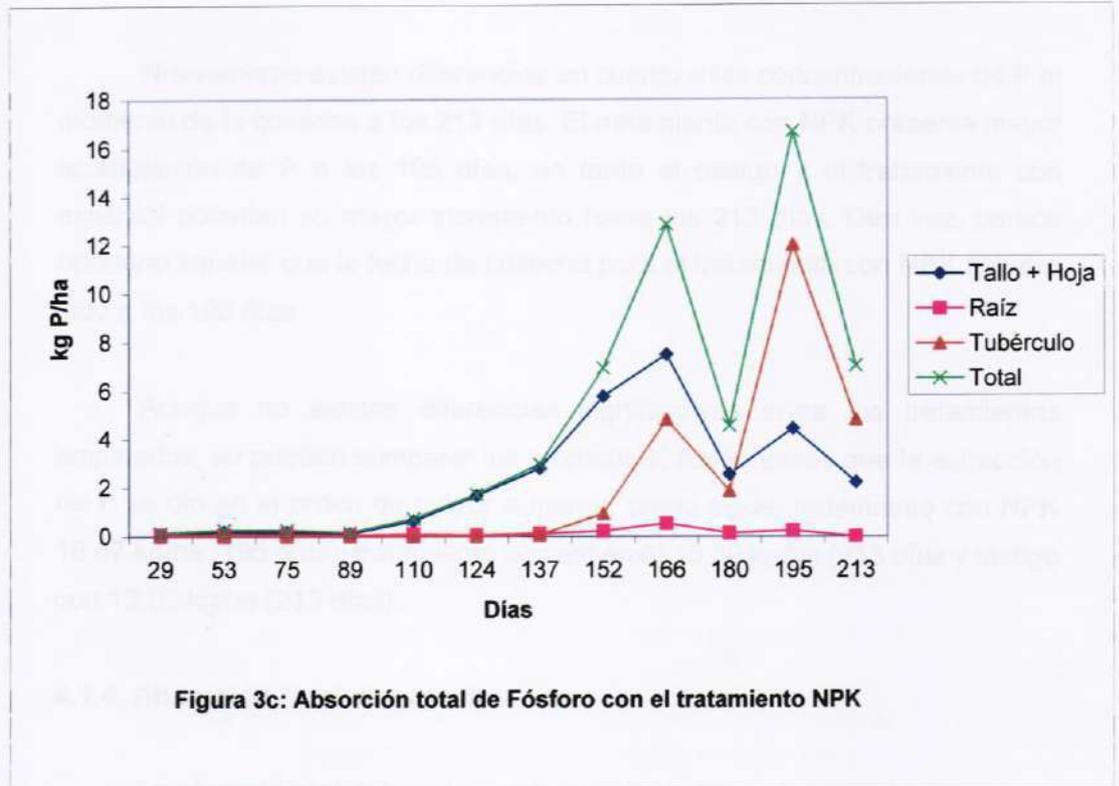


Figura 3c: Absorción total de Fósforo con el tratamiento NPK

Parte	Días transcurridos después de la siembra											
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195	213
Tallo + Hoja	0.07	0.19	0.17	0.10	0.63	1.67	2.80	5.78	7.5	2.56	4.44	2.23
Raíz	0.06	0.06	0.09	0.05	0.09	0.05	0.11	0.22	0.53	0.14	0.24	0.00
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.94	4.82	1.86	12.00	4.81
Total	0.13	0.25	0.26	0.15	0.72	1.72	2.97	6.94	12.85	4.56	16.68	7.04

Tabla 3c: Absorción total de Fósforo en kg P/ha con el tratamiento NPK

Nuevamente existen diferencias en cuanto a las concentraciones de **P** al momento de la cosecha a los 213 días. El tratamiento con **NPK** presenta mayor acumulación de **P** a los 195 días, en tanto el testigo y el tratamiento con estiércol obtenían su mayor incremento hacia los 213 días. Otra vez, parece oportuno señalar que la fecha de cosecha para el tratamiento con **NPK** hubiera sido a los 195 días.

Aunque no existen diferencias significativas entre los tratamientos empleados, se pueden comparar los promedios. Así tenemos que la extracción de **P** se dio en el orden de mayor a menor, como sigue: tratamiento con **NPK** 16,67 kg/ha (195 días), tratamiento con estiércol 15,39 kg/ha (213 días y testigo con 13,03 kg/ha (213 días).

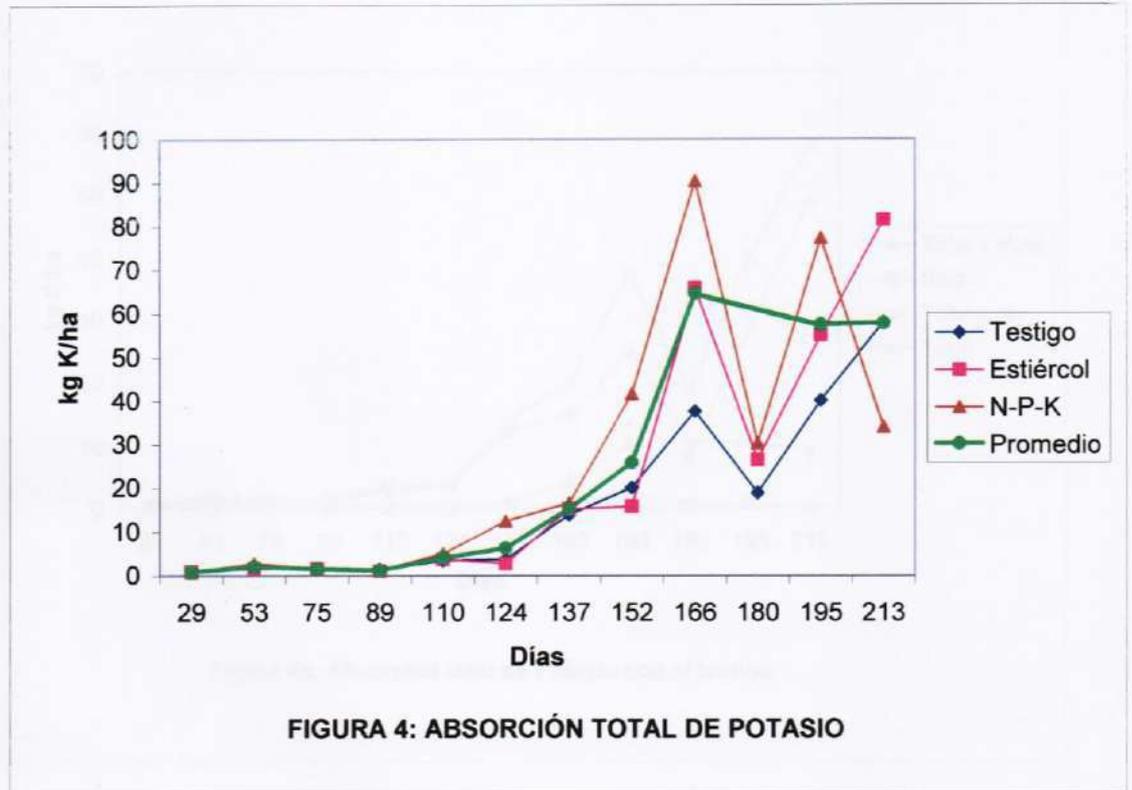
4.1.4. Absorción total de potasio

La absorción total de potasio por el cultivo de mashua estuvo regida por la formación y acumulación de materia seca y el porcentaje de **K** en la misma.

El análisis estadístico no demostró diferencias significativas entre las cantidades de **K** absorbido por el cultivo en sus diferentes tratamientos (ANVA y prueba de Duncan en el anexo 4). Los patrones de absorción se encuentran parecidos hasta los 195 días (Fig. 4).

Hasta este punto, si se comparan las cantidades extraídas de los diferentes elementos por el cultivo de mashua, se observa que según la etapa fisiológica (166 días como en el caso del tratamiento con **NPK**) llega a acumular gran cantidad de **K**, lo cual concuerda con lo mencionado por Mengel y Kirkby (1978) cuando mencionan que el **K** es transportado preferencialmente hacia los tejidos meristemáticos jóvenes. También debe señalarse que el análisis del suelo demostraba un contenido de potasio disponible que puede

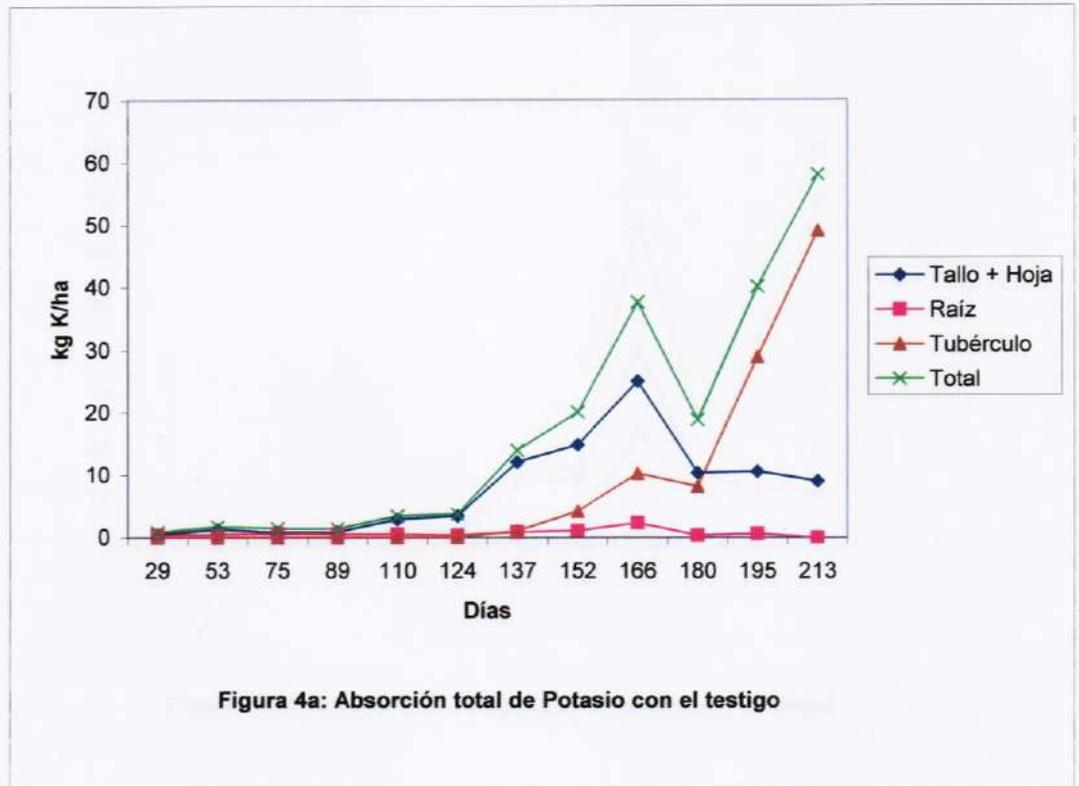
WASHUA



Tratamiento	Días después de la siembra											
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195	213
Testigo	0.79	1.73	1.42	1.4	3.4	3.73	13.94	20.11	37.62	18.89	40.12	58.08
Estiércol	0.98	1.64	1.62	1.04	3.76	2.74	15.21	15.76	65.89	26.44	55.15	81.42
N-P-K	0.78	2.74	1.53	1.19	5.02	12.45	16.58	41.66	90.41	30.33	77.28	34.05
Promedio	0.85	2.04	1.523	1.21	4.06	6.31	15.24	25.84	64.64	25.22	57.52	57.85

Tabla 4: Absorción total de Potasio en Kg K/ha

MASHUA



Parte	Días transcurridos después de la siembra											
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195	213
Tallo + Hoja	0.44	1.26	0.79	0.85	2.89	3.42	12.04	14.84	25.04	10.32	10.58	9.05
Raíz	0.35	0.47	0.63	0.55	0.51	0.31	0.87	1.08	2.35	0.38	0.64	0.00
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.03	4.18	10.23	8.20	28.9	49.03
Total	0.79	1.73	1.42	1.40	3.40	3.73	13.94	20.10	37.62	18.9	40.12	58.08

Tabla 4a: Absorción total de Potasio en kg K/ha con el testigo

MASHUA

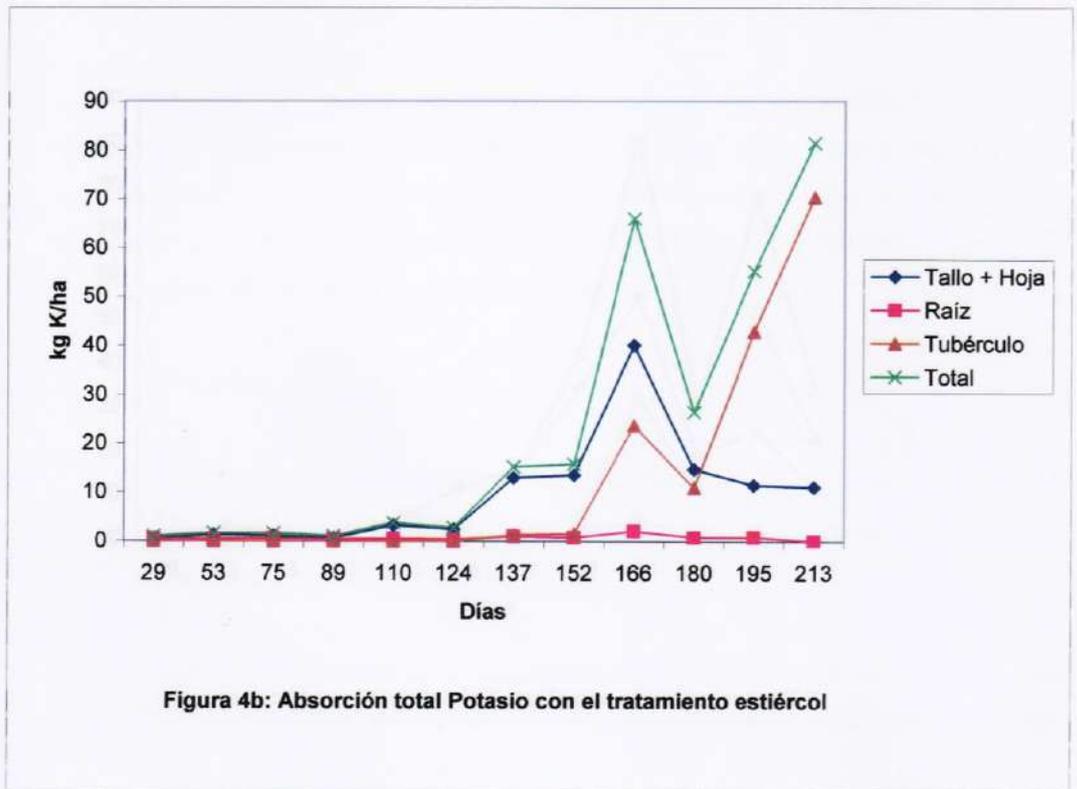
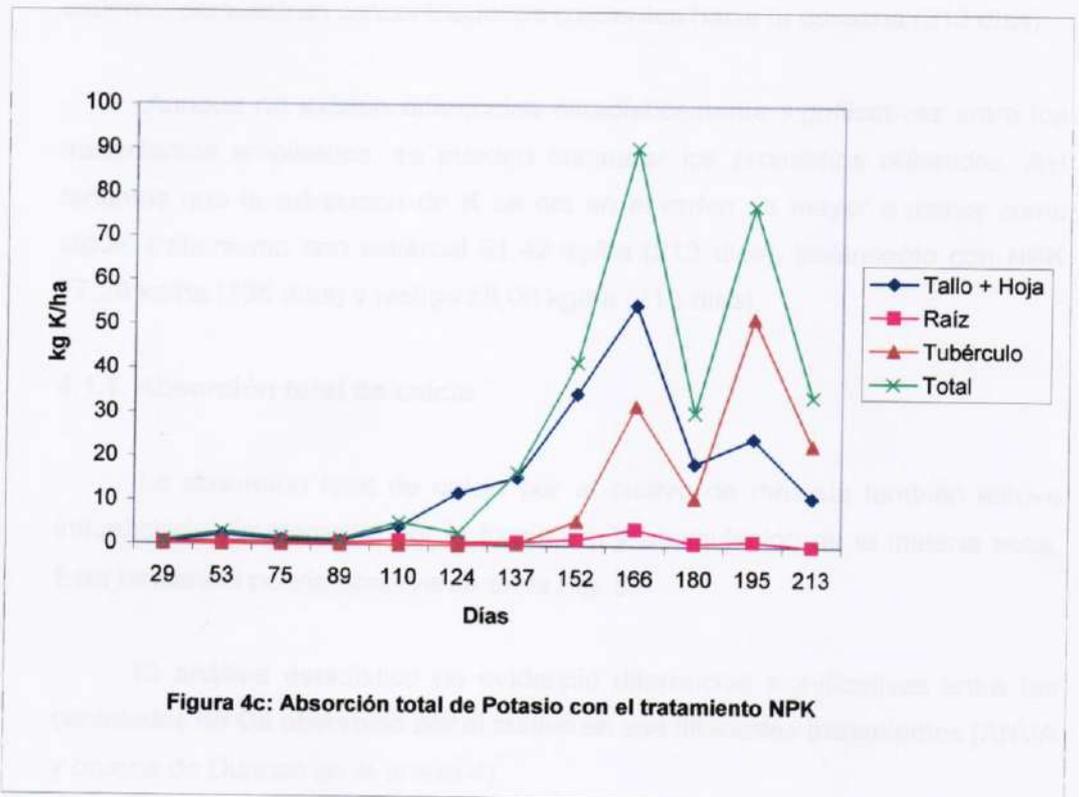


Figura 4b: Absorción total Potasio con el tratamiento estiércol

Parte	Días transcurridos después de la siembra											
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195	213
Tallo + Hoja	0.49	1.25	1.04	0.66	3.22	2.39	12.96	13.51	40.08	14.71	11.46	11.06
Raiz	0.49	0.38	0.58	0.39	0.54	0.35	1	0.75	2.09	0.8	0.84	0.00
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.24	1.5	23.72	10.92	42.86	70.36
Total	0.98	1.63	1.62	1.05	3.76	2.74	15.2	15.76	65.89	26.43	55.16	81.42

Tabla 4b: Absorción total de Potasio en kg K/ha con el tratamiento estiércol

MASHUA



Parte	Días transcurridos después de la siembra											
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195	213
Tallo + Hoja	0.38	2.08	1.00	0.76	4.07	11.78	15.40	34.54	54.64	18.71	24.47	11.05
Raiz	0.40	0.66	0.54	0.43	0.95	0.67	0.79	1.48	3.86	0.72	1.14	0.00
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39	5.64	31.91	10.90	51.67	23.00
Total	0.78	2.74	1.54	1.19	5.02	2.74	16.58	41.66	90.41	30.33	77.28	34.05

Tabla 4c: Absorción total de Potasio en kg K/ha con el tratamiento NPK

calificarse como alto, razón por el cual el testigo y aún el tratamiento con estiércol demuestran concentraciones crecientes hacia la cosecha (213 días).

Aunque no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos empleados, se pueden comparar los promedios obtenidos. Así tenemos que la extracción de **K** se dio en el orden de mayor a menor como sigue: tratamiento con estiércol 81,42 kg/ha (213 días), tratamiento con **NPK** 77,28 kg/ha (195 días) y testigo 58,08 kg/ha (213 días).

4.1.5. Absorción total de calcio

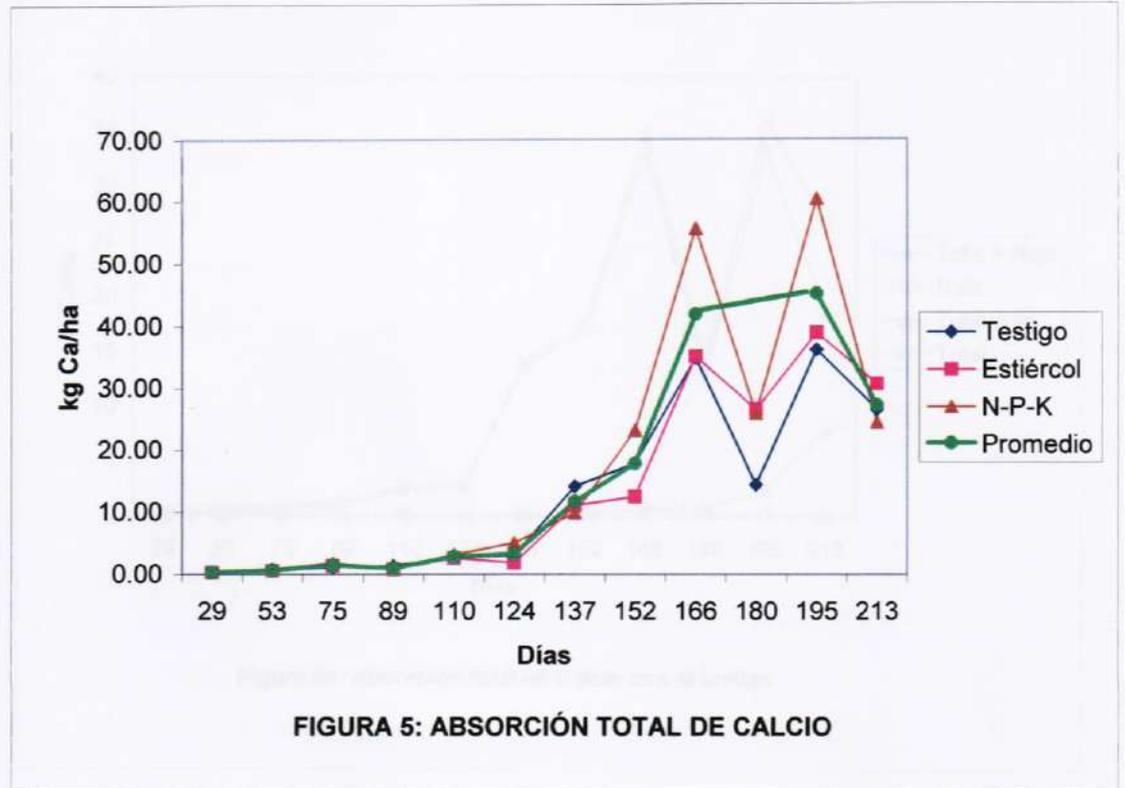
La absorción total de calcio por el cultivo de mashua también estuvo influenciada directamente por la formación y acumulación de la materia seca. Esta tendencia puede observarse en la Fig. 5.

El análisis estadístico no evidenció diferencias significativas entre las cantidades de **Ca** absorbido por el cultivo en sus diferentes tratamientos (ANVA y prueba de Duncan en el anexo 4).

Si se observa la Fig. 4 se notará que los patrones de absorción son parecidos hasta los 213 días. El tratamiento con **NPK** es el que demuestra picos con mayor concentración posiblemente debido a su interacción con los nutrientes suministrados en la fertilización. Luego, el testigo y el tratamiento con estiércol demuestran comportamientos muy parecidos entre sí.

Este es el único elemento que demuestra tendencias parecidas en su acumulación y ya no establece diferencias entre los 195 y 213 días. Además, la caída en la acumulación de **Ca** es común para los 3 tratamientos a los 213 días. Esto podría indicar que dicho cambio en concentraciones estaría sugiriendo madurez en los tejidos de la planta (tallos, hojas, raíces y principalmente tubérculos).

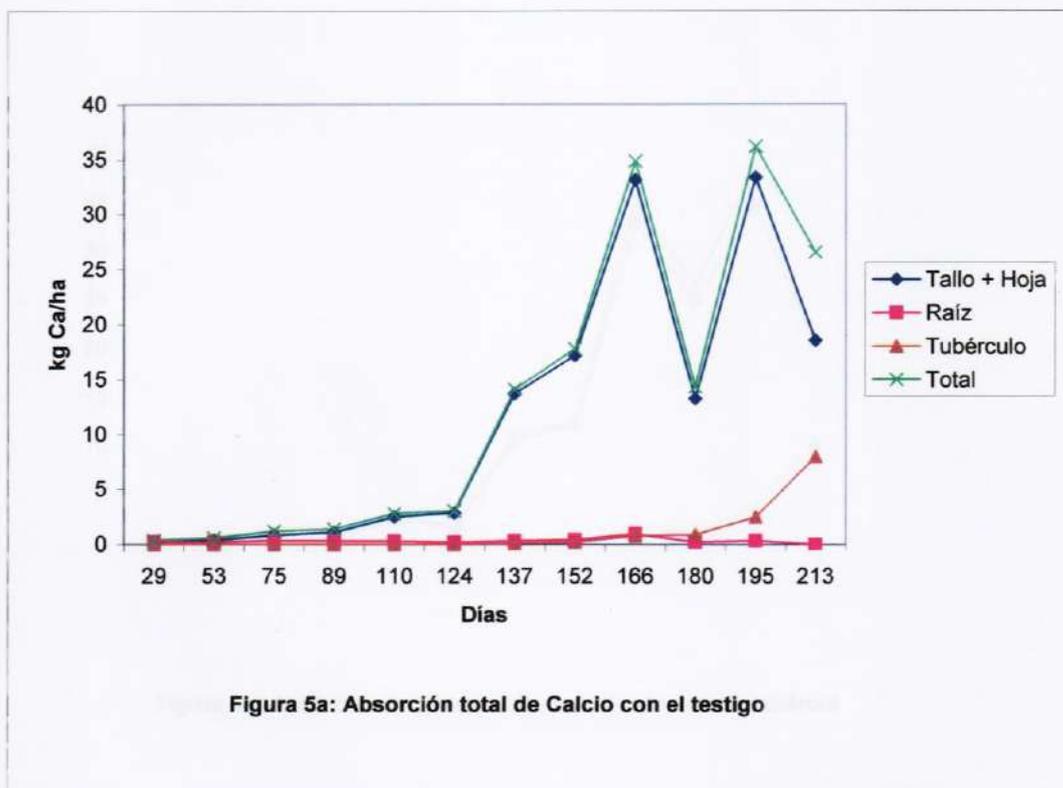
MASHUA



Tratamiento	Días después de la siembra											
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195	213
Testigo	0.37	0.55	1.17	1.38	2.78	3.02	14.10	17.78	34.84	14.34	36.17	26.53
Estiércol	0.28	0.53	1.37	0.82	2.61	1.86	11.02	12.43	35.06	26.51	38.85	30.64
N-P-K	0.36	0.81	1.76	0.82	3.16	5.09	9.87	23.14	55.60	25.88	60.37	24.40
Promedio	0.337	0.63	1.433	1.007	2.85	3.32	11.66	17.78	41.83	22.24	45.13	27.19

Tabla 5: Absorción total de Calcio en Kg Ca/ha

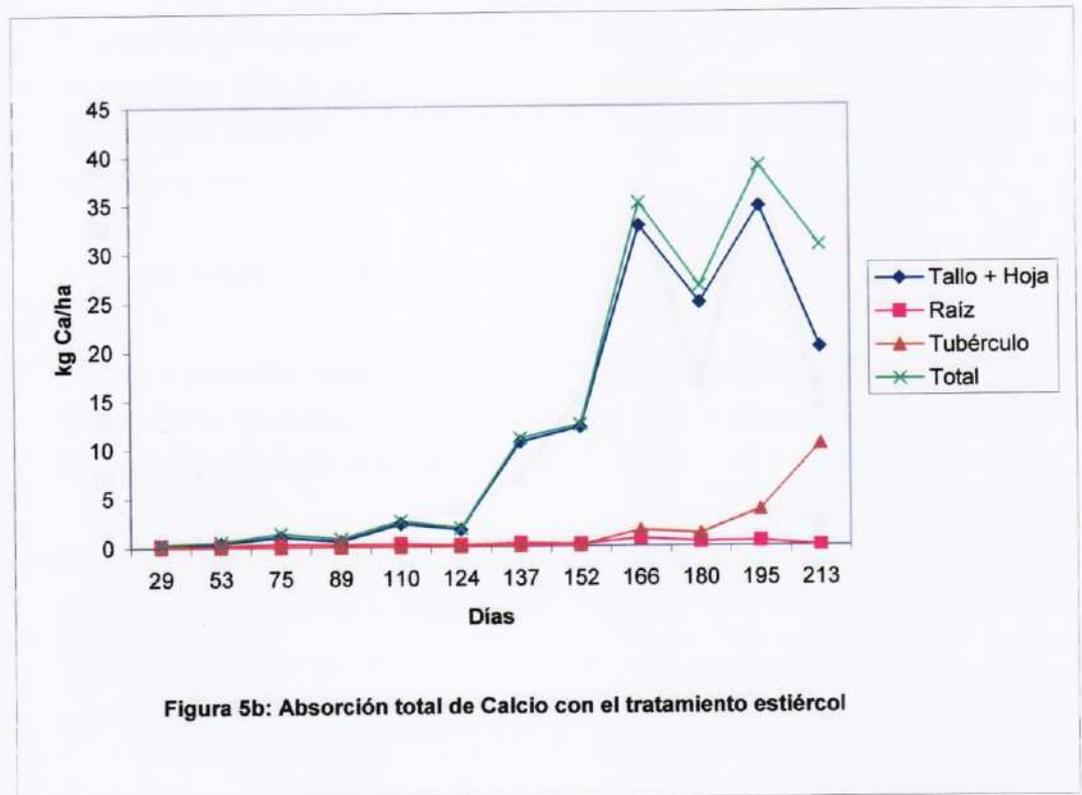
MASHUA



Parte	Días transcurridos después de la siembra											
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195	213
Tallo + Hoja	0.14	0.37	0.83	1.07	2.49	2.84	13.72	17.17	33.13	13.27	33.35	18.56
Raíz	0.23	0.18	0.34	0.31	0.29	0.17	0.31	0.42	0.95	0.2	0.34	0.00
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.2	0.76	0.87	2.48	7.98
Total	0.37	0.55	1.17	1.38	2.78	3.01	14.1	17.79	34.84	14.34	36.17	26.54

Tabla 5a: Absorción total de Calcio en kg Ca/ha con el testigo

MASHUA



Parte	Días transcurridos después de la siembra											
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195	213
Tallo + Hoja	0.13	0.39	1.04	0.58	2.34	1.73	10.63	12.15	32.68	24.82	34.67	20.26
Raíz	0.16	0.14	0.33	0.24	0.28	0.13	0.32	0.19	0.78	0.42	0.49	0.00
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.09	1.6	1.27	3.69	10.38
Total	0.29	0.53	1.37	0.82	2.62	1.86	11.02	12.43	35.06	26.51	38.85	30.64

Tabla 5b: Absorción total de Calcio en kg Ca/ha con el tratamiento estiércol

MASHUA

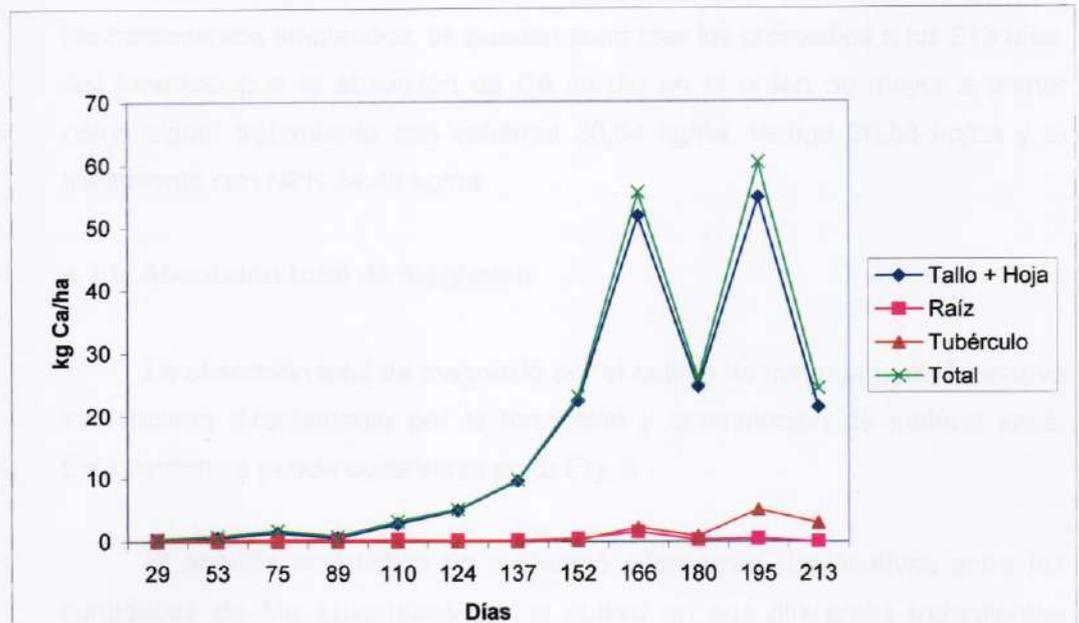


Figura 5c: Absorción total de Calcio con el tratamiento NPK

Parte	Días transcurridos después de la siembra											
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195	213
Tallo + Hoja	0.14	0.59	1.39	0.56	2.83	4.92	9.67	22.47	51.83	24.67	54.77	21.44
Raíz	0.23	0.23	0.37	0.27	0.33	0.17	0.17	0.43	1.55	0.33	0.49	0.00
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.24	2.22	0.87	5.11	2.96
Total	0.37	0.82	1.76	0.83	3.16	5.09	9.86	23.14	55.60	25.87	60.37	24.40

Tabla 5c: Absorción total de Calcio en kg Ca/ha con el tratamiento NPK

Debido a que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos empleados, se pueden comparar los promedios a los 213 días. Así tenemos que la absorción de **Ca** se dio en el orden de mayor a menor como sigue: tratamiento con estiércol 30,64 kg/ha, testigo 26,53 kg/ha y el tratamiento con NPK 24,40 kg/ha.

4.1.6. Absorción total de magnesio

La absorción total de magnesio por el cultivo de mashua también estuvo influenciada directamente por la formación y acumulación de materia seca. Esta tendencia puede observarse en la Fig. 6.

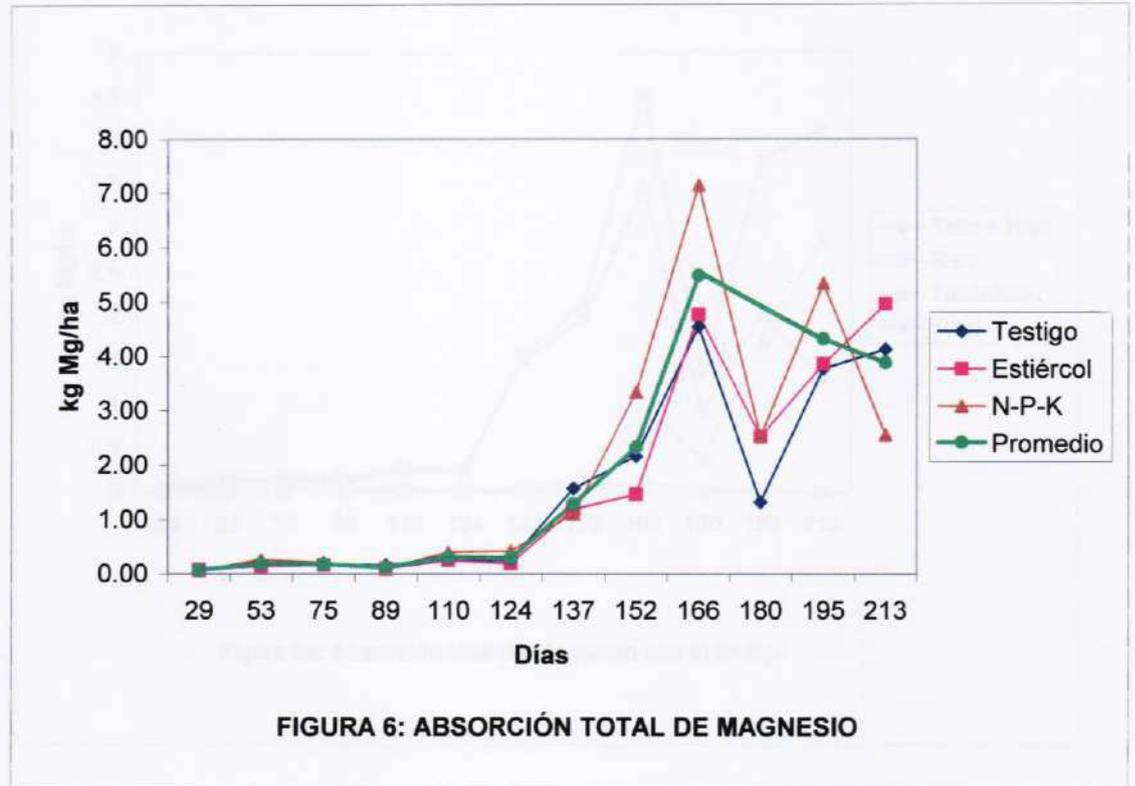
El análisis estadístico no evidenció diferencias significativas entre las cantidades de **Mg** absorbidas por el cultivo en sus diferentes tratamientos (ANVA y prueba de Duncan en el Anexo 6).

Debe anotarse aquí que el comportamiento del elemento **Mg** demuestra similitud con los elementos **N** y **K** (elementos de crecimiento) y ciertas diferencias en tendencia con el elemento energético **P** y el estructural **Ca**.

La tasa de acumulación es baja (menos de 6 kg de kg/ha). Las tendencias similares indicadas para el **Mg** (junto con el **N** y el **K**) se manifiestan claramente a los 166 días lo cual concuerda con lo mencionado por Lachica y González (1985) al movilizarse hacia las partes jóvenes y participar en el fotosíntesis.

Debido a que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos empleados se pueden comparar los promedios obtenidos. Así, tenemos que la absorción de **Mg** se dio en el orden de mayor a menor como sigue: tratamientos con **NPK** 5,34 kg/ha (195 días), tratamientos con estiércol 4,96 kg/ha (213 días) y testigo 4,13 kg/ha (213 días).

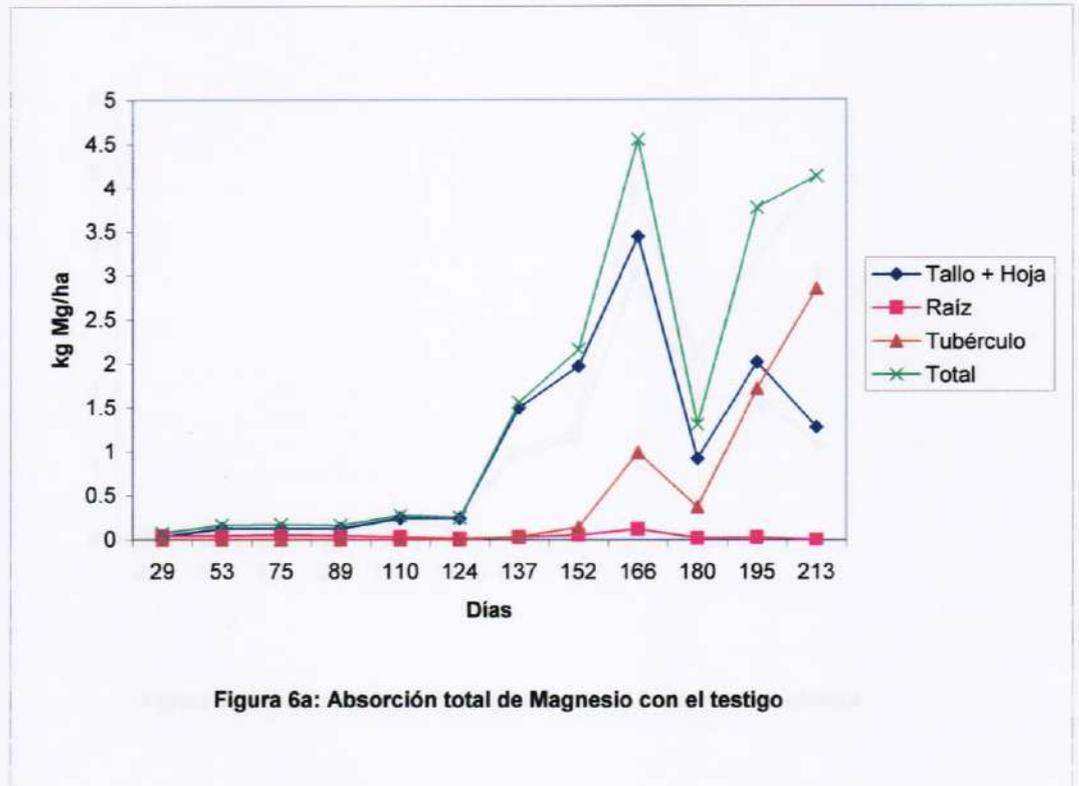
MASHUA



Tratamiento	Días después de la siembra											
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195	213
Testigo	0.07	0.16	0.17	0.16	0.27	0.25	1.57	2.16	4.55	1.32	3.77	4.13
Estiércol	0.08	0.14	0.16	0.10	0.25	0.19	1.19	1.46	4.77	2.52	3.86	4.96
N-P-K	0.06	0.26	0.20	0.09	0.40	0.42	1.10	3.34	7.14	2.52	5.34	2.55
Promedio	0.07	0.19	0.18	0.12	0.31	0.29	1.29	2.32	5.49	2.12	4.32	3.88

Tabla 6: Absorción total de Magnesio en Kg Mg/ha

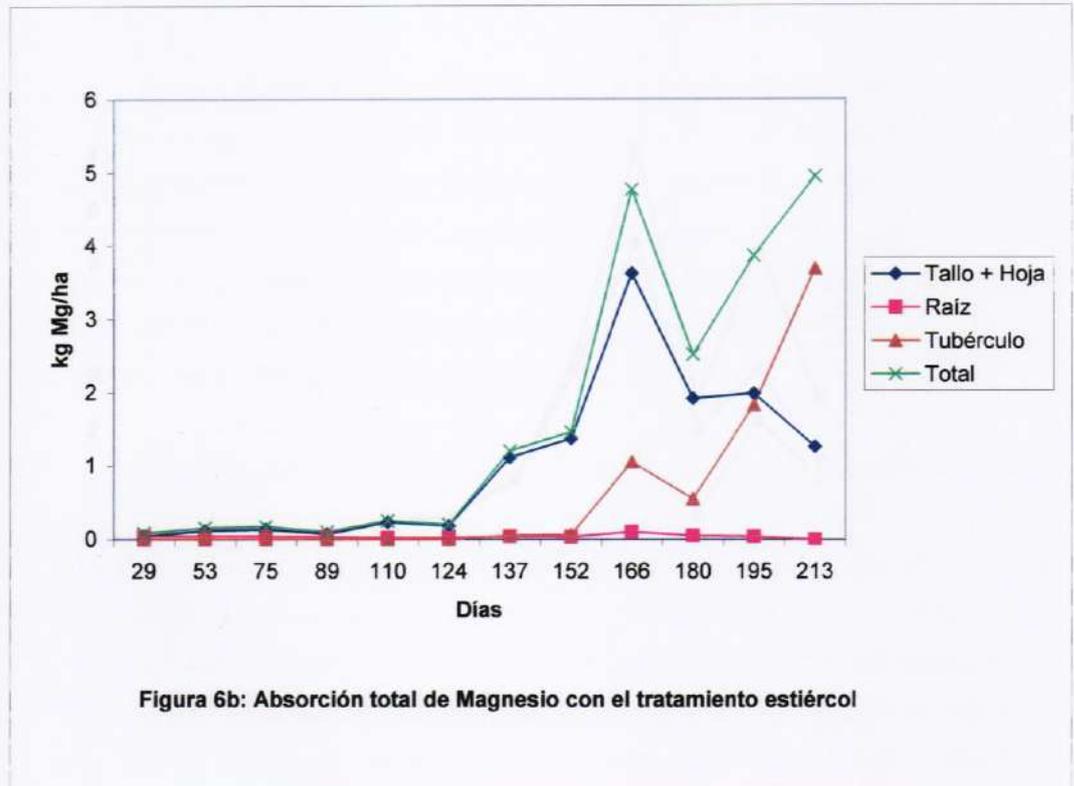
MASHUA



Parte	Días transcurridos después de la siembra											
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195	213
Tallo + Hoja	0.03	0.12	0.12	0.12	0.24	0.24	1.50	1.97	3.44	0.92	2.02	1.28
Raíz	0.04	0.04	0.05	0.04	0.03	0.01	0.03	0.05	0.12	0.02	0.03	0.00
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.14	0.99	0.37	1.72	2.85
Total	0.07	0.16	0.17	0.16	0.27	0.25	1.56	2.16	4.55	1.31	3.77	4.13

Tabla 6a: Absorción total de Magnesio en kg Mg/ha con el testigo

MASHUA



Parte	Días transcurridos después de la siembra											
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195	213
Tallo + Hoja	0.04	0.11	0.13	0.07	0.23	0.18	1.11	1.37	3.62	1.92	1.99	1.26
Raiz	0.04	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.04	0.03	0.1	0.05	0.04	0.00
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.06	1.05	0.55	1.83	3.69
Total	0.08	0.15	0.17	0.10	0.25	0.2	1.2	1.46	4.77	2.52	3.86	4.95

Tabla 6b: Absorción total de Magnesio en kg Mg/ha con el tratamiento estiércol

MASHUA

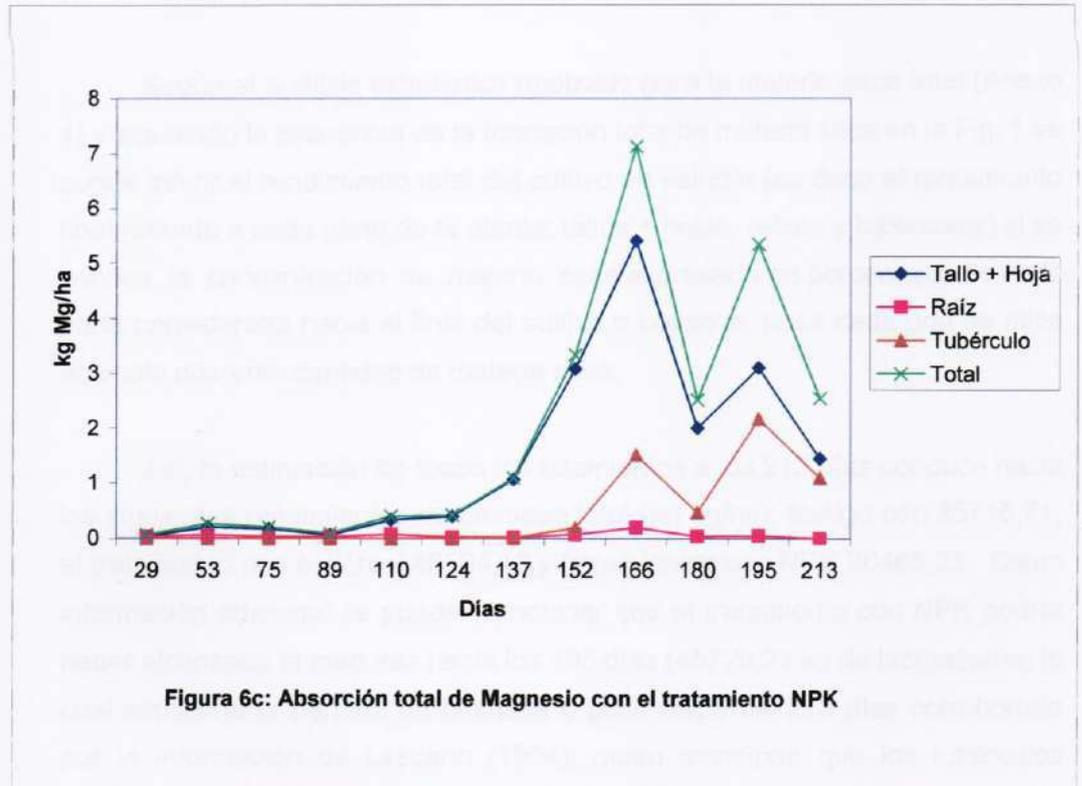


Figura 6c: Absorción total de Magnesio con el tratamiento NPK

Parte	Días transcurridos después de la siembra											
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195	213
Tallo + Hoja	0.03	0.20	0.17	0.06	0.33	0.4	1.07	3.08	5.41	2.01	3.11	1.45
Raíz	0.03	0.06	0.03	0.03	0.07	0.02	0.02	0.07	0.20	0.04	0.05	0.00
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.19	1.52	0.47	2.18	1.10
Total	0.06	0.26	0.20	0.09	0.40	0.42	1.10	3.34	7.13	2.52	5.34	2.55

Tabla 6c: Absorción total de Magnesio en kg Mg/ha con el tratamiento NPK

4.1.7. Rendimiento total estimado de la mashua

Según el análisis estadístico realizado para la materia seca total (Anexo 1) y siguiendo la secuencia de la formación total de materia seca en la Fig. 1 se puede inferir el rendimiento total del cultivo en estudio (es decir el rendimiento final referido a cada parte de la planta: tallos + hojas, raíces y tubérculos) si se conoce la concentración de materia seca expresada en porcentajes de cada parte considerada hacia el final del cultivo o cosecha, pues cada una de ellos acumule diferente cantidad de materia seca.

Así, la estimación de todos los tratamientos a los 213 días conduce hacia los siguientes rendimientos de biomasa total (en kg/ha); testigo con 35715,71, el tratamiento con estiércol 46584,12 y tratamientos con **NPK** 20485,25. Como información adicional se puede mencionar que el tratamiento con **NPK** podría haber alcanzado la madurez hacia los 195 días (45720,21 kg de biomasa/ha) lo cual explicaría la pérdida de biomasa o peso hacia los 213 días corroborada por la información de Lescano (1994), quien menciona que los tubérculos comienzan a perder peso después de finalizada la tuberización (aproximadamente a los 190 días). Esto puede deducirse al observar el rendimiento promedio estimado de tubérculos a los 213 días (en kg/ha): el testigo con 30767,21, el tratamiento con estiércol con 40882,12 y el tratamiento con **NPK** 13711,93. Además se puede consignar que el tratamiento con **NPK** hubiera producido 34019,05 kg de tubérculos/ha a los 195 días. Como una observación se hace constar que la estimación en el rendimiento de tubérculos incluye a todos los producidos puesto que no se realizó clasificación alguna. Asimismo no se observó el brotamiento de yemas en los mismos.

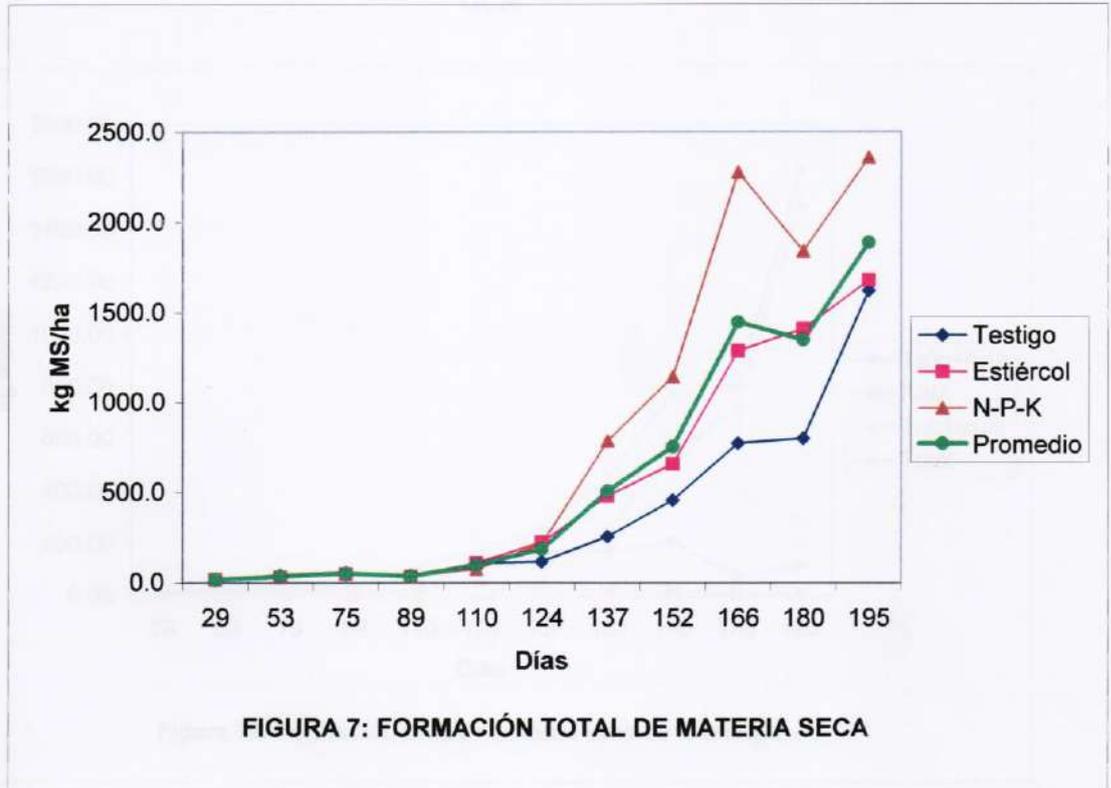
4.2. EL CULTIVO DE LA OCA

4.2.1. Formación y acumulación de materia seca total en la oca

La curva de acumulación de materia seca total se presenta en la Fig. 7. La misma tendencia es semejante para los 3 tratamientos considerados hasta el final de los 195 días que se ha tomado como fecha de cosecha. El análisis estadístico no demostró diferencias significativas entre los tratamientos en estudio (ANVA y prueba de Duncan en el anexo 7).

Este cultivo sí demuestra un comportamiento sigmoideal en la acumulación de la materia seca, a diferencia de la mashua, razón por la cual induce a pensar que se comportaría como resistente a heladas y sequías al considerar los factores ambientales. Todos los tratamientos demuestran un comportamiento parecido hasta los 110 días, después de los cuales existen variaciones inherentes a los tratamientos empleados pero siempre en ascenso (para el caso de la acumulación total). Esta información se puede descomponer según la contribución de cada parte de la planta si se aprecian las figuras 7^a, 7b y 7c. Según estas gráficos, el inicio de la tuberización se puede comenzar a contar desde los 110 días, lo cual concuerda con Lescano (1994), quien menciona que la tuberización ocurre aproximadamente a los 115 días de la siembra. Hasta la fecha de cosecha (195 días), fueron los tubérculos los órganos que acumularon mayor cantidad de materia seca, mostrando éstos un contenido promedio de 15% de materia seca. Nuevamente, como en el caso de mashua, los tallos + hojas así como las raíces demuestran el típico comportamiento para este tipo de órgano, con incrementos graduales al inicio hasta alcanzar una acumulación máxima disminuyendo después a medida que la planta se hace senescente, situación que no ocurre con los tubérculos debido a su comportamiento como órgano de reserva. En este estudio, los 3 tratamientos demuestran tendencias ascendentes para la acumulación de materia seca en los tubérculos. De manera similar a la mashua, se ha tomado como fecha de cosecha a los 195 días para la oca debido a que para tal

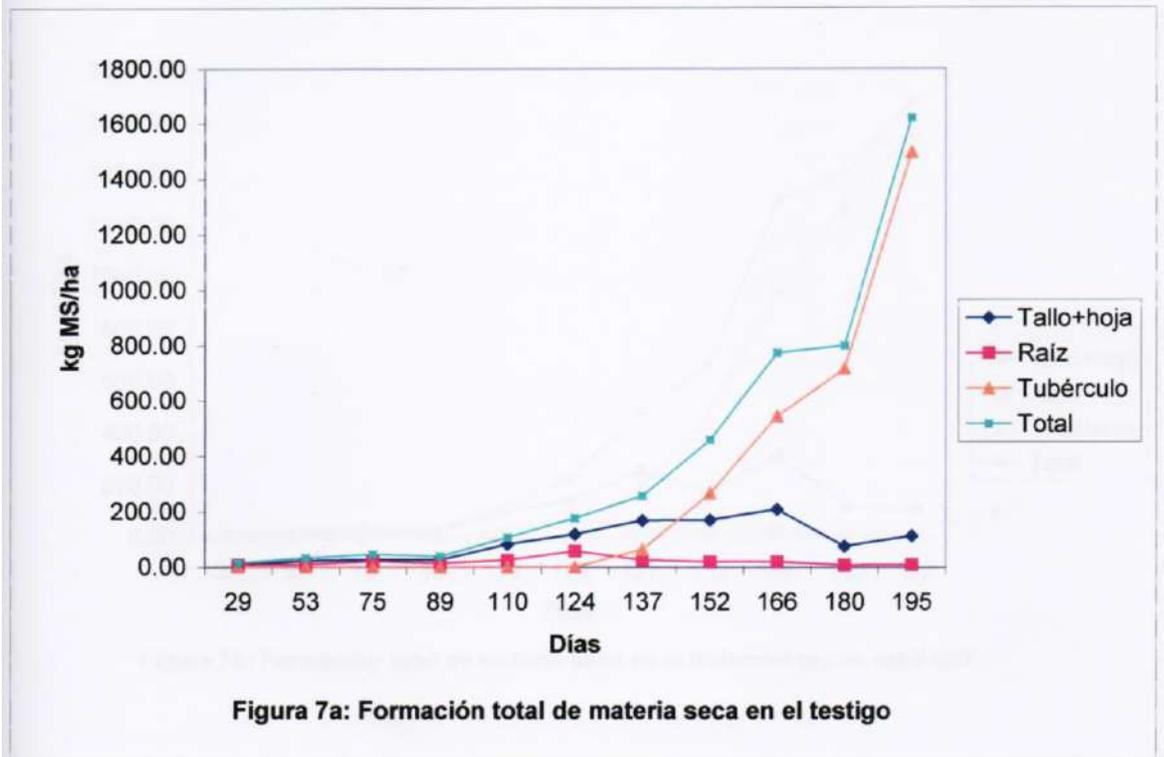
OCA



Tratamiento	Días después de la siembra										
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195
Testigo	13.6	32.3	46.7	39.1	107.8	117.3	257.4	457.9	773.3	800.0	1620.9
Estiércol	16.6	29.2	47.8	32.6	109.1	223.9	482.1	658.3	1288.1	1408.5	1676.4
N-P-K	16.3	43.3	58.8	35.7	77.0	215.6	786.2	1142.9	2275.9	1837.6	2356.0
Promedio	15.5	34.9	51.1	35.8	97.9	185.6	508.6	753.0	1445.8	1348.7	1884.4

Tabla 7: Formación Total de Materia Seca en Kg MS/ha

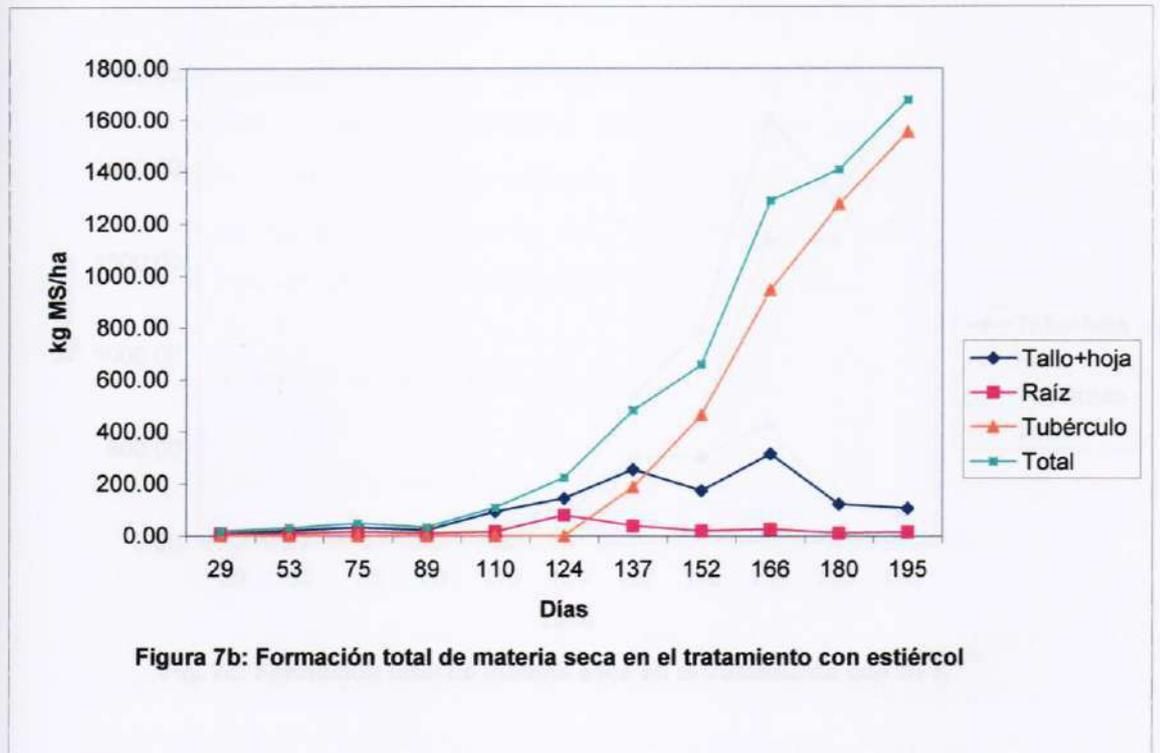
OCA



Parte	Días transcurridos después de la siembra										
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195
Tallo+hoja	6.33	22.67	25.92	25.67	82.58	119.25	168.92	171.17	209.50	76.67	114.17
Raíz	7.25	9.67	20.75	13.42	25.17	58.08	25.17	19.83	19.17	7.17	10.00
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	63.33	266.92	544.58	716.17	1496.75
Total	13.58	32.33	46.67	39.08	107.75	177.33	257.42	457.92	773.25	800.00	1620.92

Tabla 7a : Formación total de Materia Seca en Kg MS/ha en el testigo

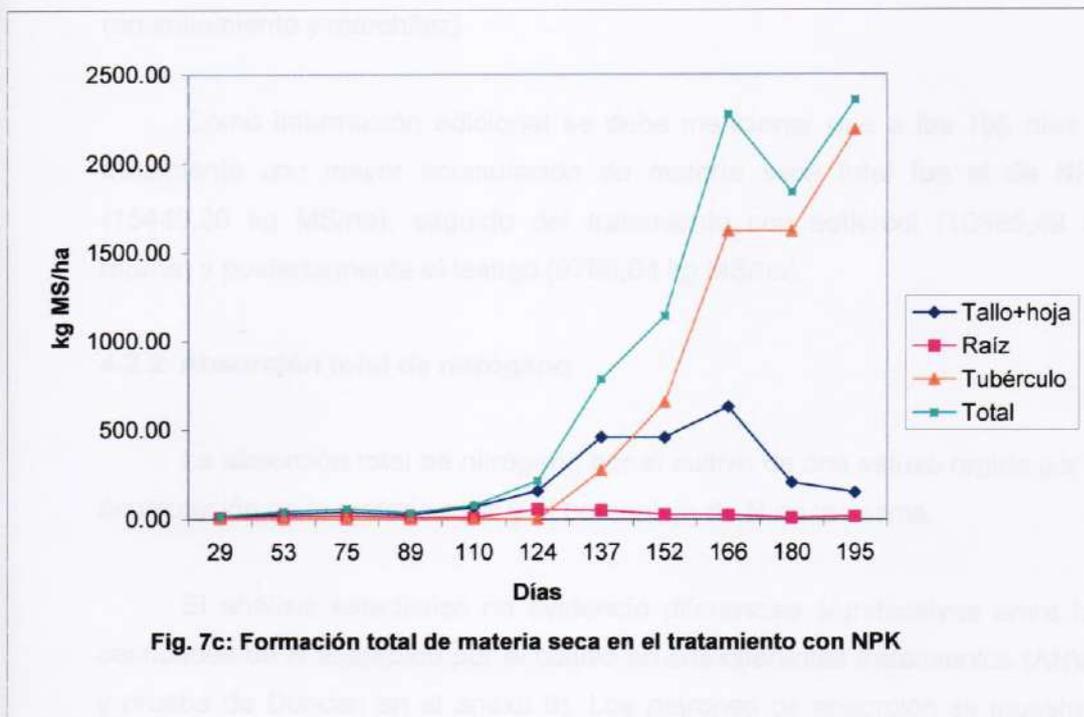
OCA



Parte	Días transcurridos después de la siembra										
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195
Tallo+hoja	8.00	19.92	32.17	22.08	92.92	144.17	255.50	174.25	315.08	122.50	107.50
Raíz	8.58	9.25	15.58	10.50	16.17	79.75	38.25	19.75	26.33	11.67	15.83
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	188.33	464.25	946.67	1274.33	1553.08
Total	16.58	29.17	47.75	32.58	109.08	223.92	482.08	658.25	1288.08	1408.50	1676.42

Tabla 7b : Formación total de Materia Seca en Kg MS/ha en el tratamiento estiércol

OCA



Parte	Días transcurridos después de la siembra										
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195
Tallo+hoja	8.17	28.00	39.25	23.83	67.83	159.58	461.25	458.92	630.58	208.33	152.50
Raíz	8.08	15.33	19.58	11.83	9.17	56.00	50.75	27.75	25.17	9.25	16.67
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	274.17	656.25	1620.17	1620.00	2186.83
Total	16.25	43.33	58.83	35.67	77.00	215.58	786.17	1142.92	2275.92	1837.58	2356.00

Gráfico 7c: Formación total de Materia Seca en Kg MS/ha en el tratamiento NPK

momento los tubérculos ya no desprendían su piel externa (cáscara) al frotarlos entre los dedos de la mano y eran más firmes, además que el follaje (tallo + hojas) y las raíces ya poseían las características de la senescencia (amarillamiento y marchitez).

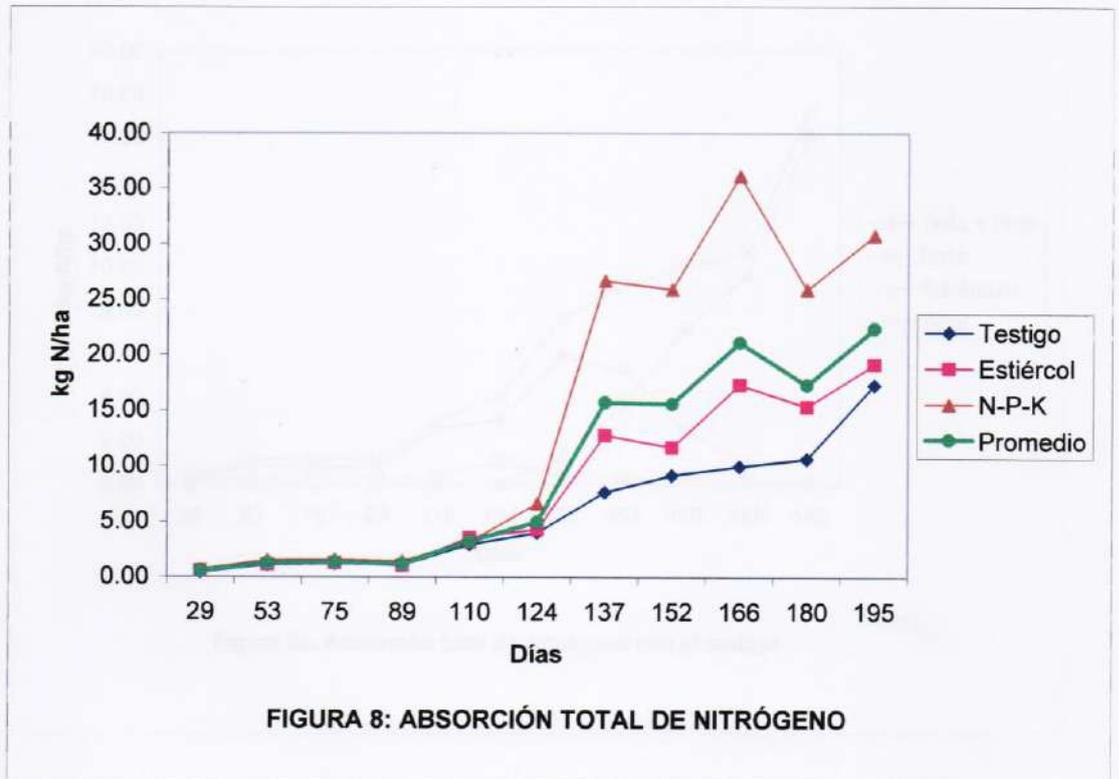
Como información adicional se debe mencionar que a los 195 días el tratamiento con mayor acumulación de materia seca total fue el de NPK (15446,20 kg MS/ha), seguido del tratamiento con estiércol (10385,49 kg MS/ha) y posteriormente el testigo (9788,64 kg MS/ha).

4.2.2. Absorción total de nitrógeno

La absorción total de nitrógeno por el cultivo de oca estuvo regida por la acumulación de la materia seca y el porcentaje de **N** en la misma.

El análisis estadístico no evidenció diferencias significativas entre las cantidades de **N** absorbido por el cultivo en sus diferentes tratamientos (ANVA y prueba de Duncan en el anexo 8). Los patrones de absorción se muestran parecidos hasta los 110 días (Fig. 8). Debe anotarse la similitud en el comportamiento del elemento nitrógeno al compararlo con la acumulación de la materia seca. La máxima acumulación la alcanzó el tratamiento **NPK** a los 166 días lo cual tiene sentido si se entiende que acumula biomasa y trasloca sustancias de reserva pero luego altera esta tendencia al decaer a los 180 días (fecha de heladas y sequía) para luego recuperar la tendencia ascendente en la fecha de cosecha (195 días). El comportamiento en la absorción total de **N** por el testigo y el tratamiento con estiércol sí mantuvo su tendencia ascendente quizás debido a que solo absorbían el **N** necesario, del suelo y el de la mineralización de la materia orgánica, lo cual explicaría la diferencia con la fuente mineral suministrada al tratamiento con **NPK**.

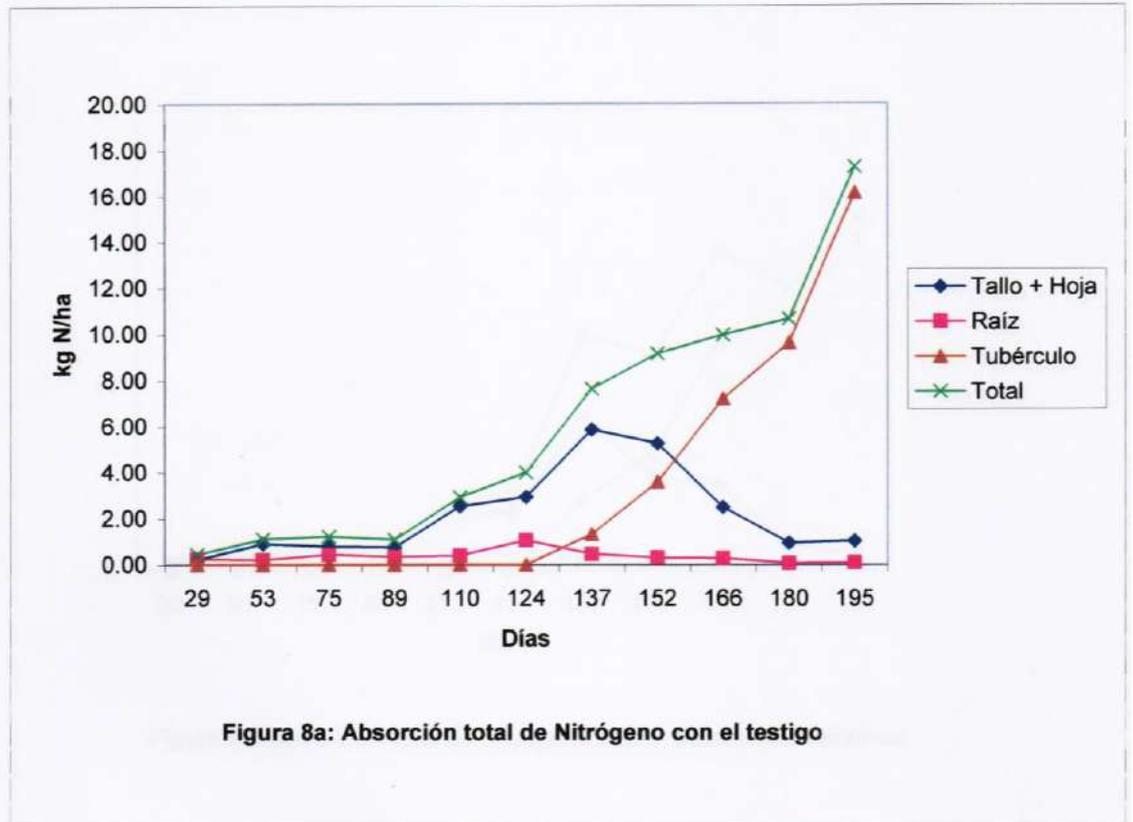
OCA



Tratamiento	Días después de la siembra										
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195
Testigo	0.43	1.10	1.22	1.10	2.93	4.00	7.63	9.15	9.95	10.64	17.27
Estiércol	0.57	1.13	1.28	1.05	3.55	4.31	12.77	11.67	17.29	15.31	19.14
N-P-K	0.65	1.52	1.58	1.46	3.17	6.64	26.68	25.91	36.13	25.89	30.74
Promedio	0.55	1.25	1.36	1.20	3.22	4.98	15.69	15.58	21.12	17.28	22.38

Tabla 8: Absorción Total de Nitrógeno en Kg N/ha

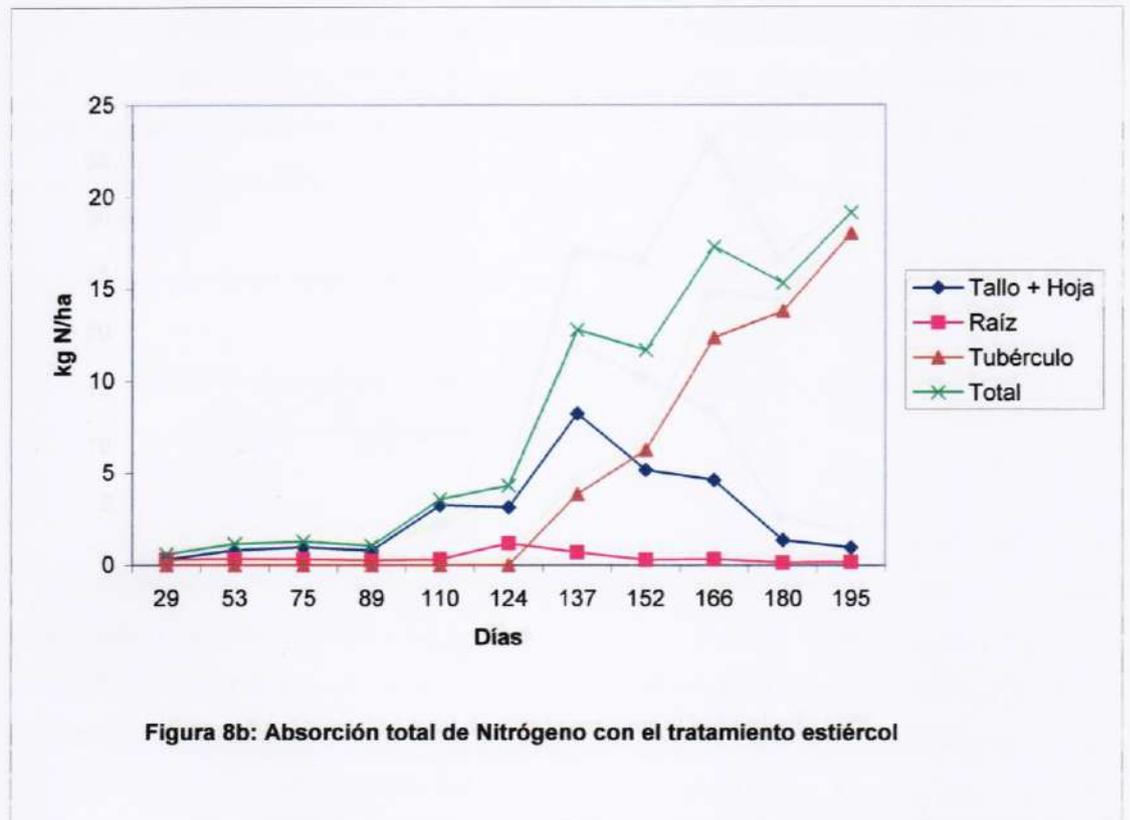
OCA



Parte	Días transcurridos después de la siembra										
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195
Tallo + Hoja	0.20	0.90	0.79	0.75	2.53	2.94	5.85	5.25	2.49	0.94	1.04
Raíz	0.24	0.20	0.43	0.34	0.40	1.06	0.46	0.31	0.28	0.08	0.10
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.32	3.59	7.19	9.62	16.13
Total	0.44	1.10	1.22	1.09	2.93	4.00	7.63	9.15	9.96	10.64	17.27

Tabla 8a: Absorción total de Nitrógeno en kg N/ha con el testigo

OCA



Parte	Días transcurridos después de la siembra										
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195
Tallo + Hoja	0.28	0.80	0.96	0.79	3.25	3.13	8.23	5.16	4.61	1.36	0.96
Raíz	0.29	0.33	0.32	0.25	0.31	1.19	0.69	0.28	0.33	0.15	0.18
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.85	6.24	12.35	13.79	18
Total	0.57	1.13	1.28	1.04	3.56	4.32	12.77	11.68	17.29	15.3	19.14

Tabla 8b: Absorción total de Nitrógeno en kg N/ha con el tratamiento estiércol

OCA

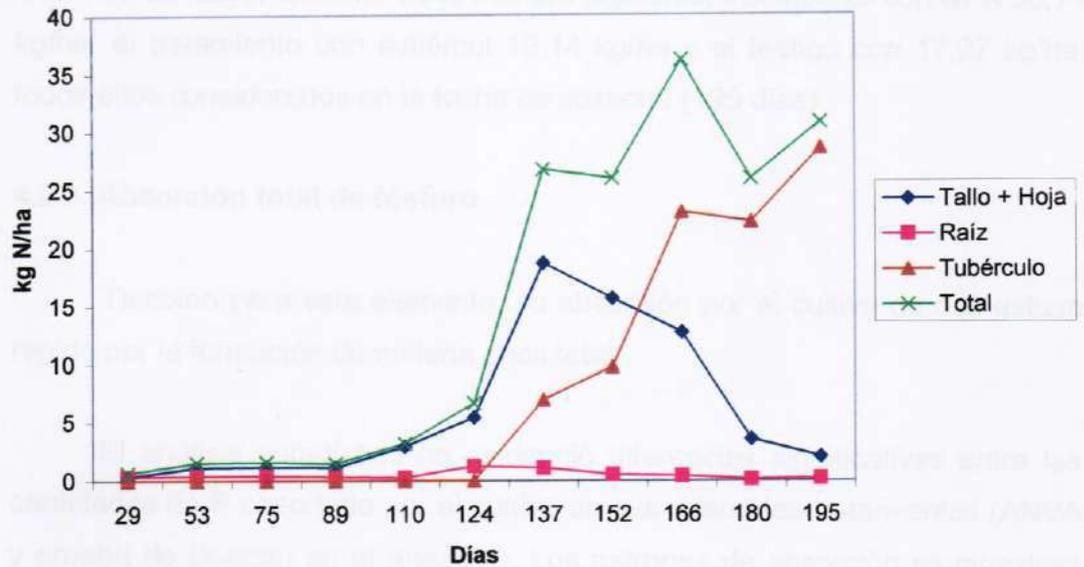


Figura 8c: Absorción total de Nitrógeno con el tratamiento NPK

Parte	Días transcurridos después de la siembra										
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195
Tallo + Hoja	0.33	1.10	1.18	1.12	2.91	5.41	18.67	15.64	12.72	3.56	2.04
Raíz	0.32	0.42	0.4	0.33	0.26	1.23	1.08	0.52	0.40	0.14	0.21
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.93	9.75	23.01	22.19	28.49
Total	0.65	1.52	1.58	1.45	3.17	6.64	26.68	25.91	36.13	25.89	30.74

Tabla 8c: Absorción total de Nitrógeno en kg N/ha con el tratamiento NPK

Considerando que estadísticamente no existen diferencias significativas, se pueden comparar los promedios. Así tenemos que la extracción de **N** se dio en orden de mayor a menor de la manera siguiente: tratamiento con **NPK** 30,74 kg/ha, el tratamiento con estiércol 19,14 kg/ha y el testigo con 17,27 kg/ha, todos ellos considerados en la fecha de cosecha (195 días).

4.2.3. Absorción total de fósforo

También para este elemento, su absorción por el cultivo de oca estuvo regida por la formación de materia seca total.

El análisis estadístico no evidenció diferencias significativas entre las cantidades de **P** absorbido por el cultivo en sus diferentes tratamientos (ANVA y prueba de Duncan en el anexo 9). Los patrones de absorción se muestran parecidos con respecto a la curva de formación de materia seca para la oca, aunque es evidente que la concentración de **P** siempre es baja (comparar Fig. 7 y Fig. 9). Esto se explica fisiológicamente debido a que el cultivo requiere mayor cantidad del elemento energético (**P**) a medida que crece, aumenta la biomasa y luego trasloca sustancias de reserva hacia los tubérculos. Este comportamiento tiene la tendencia característica de las curvas de absorción, a pesar de haber estado influenciadas por los factores climáticos. Eso sí, llama la atención que las concentraciones sean muy bajas si se comparan con las obtenidas en el cultivo de mashua y aún con otros que forman tubérculos como, por ejemplo, la papa.

Nuevamente parece que la mayor disponibilidad del elemento en el tratamiento con **NPK** hizo que éste muestre mayor acumulación de **P** a partir de 110 días.

Debido a que no existen diferencias significativas entre los tratamientos empleados, se pueden comparar los promedios. Así tenemos que la extracción de **P** se dio en el orden de mayor a menor de la siguiente manera: tratamiento

OCA

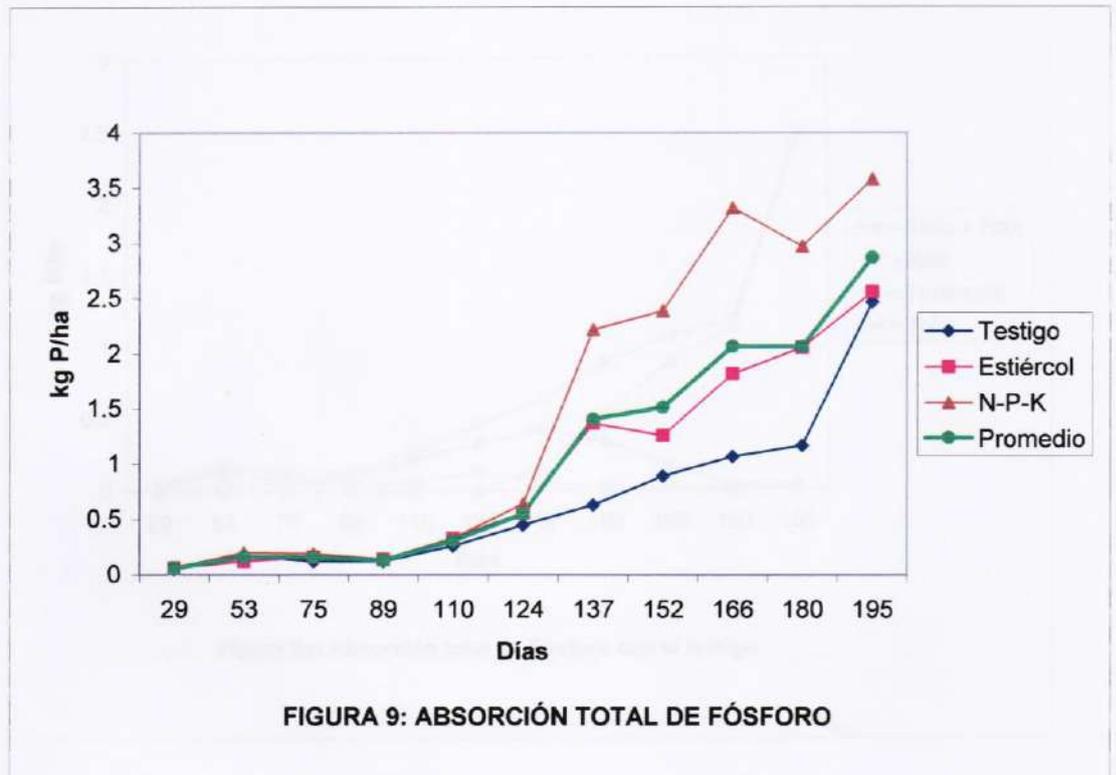


FIGURA 9: ABSORCIÓN TOTAL DE FÓSFORO

Tratamiento	Días después de la siembra										
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195
Testigo	0.05	0.17	0.12	0.12	0.26	0.45	0.63	0.89	1.07	1.17	2.47
Estiércol	0.06	0.12	0.16	0.14	0.33	0.56	1.37	1.26	1.82	2.06	2.56
N-P-K	0.06	0.2	0.19	0.14	0.33	0.64	2.22	2.39	3.32	2.97	3.58
Promedio	0.057	0.163	0.157	0.133	0.307	0.55	1.407	1.513	2.07	2.067	2.87

Tabla 9: Absorción Total de Fósforo en Kg P/ha

OCA

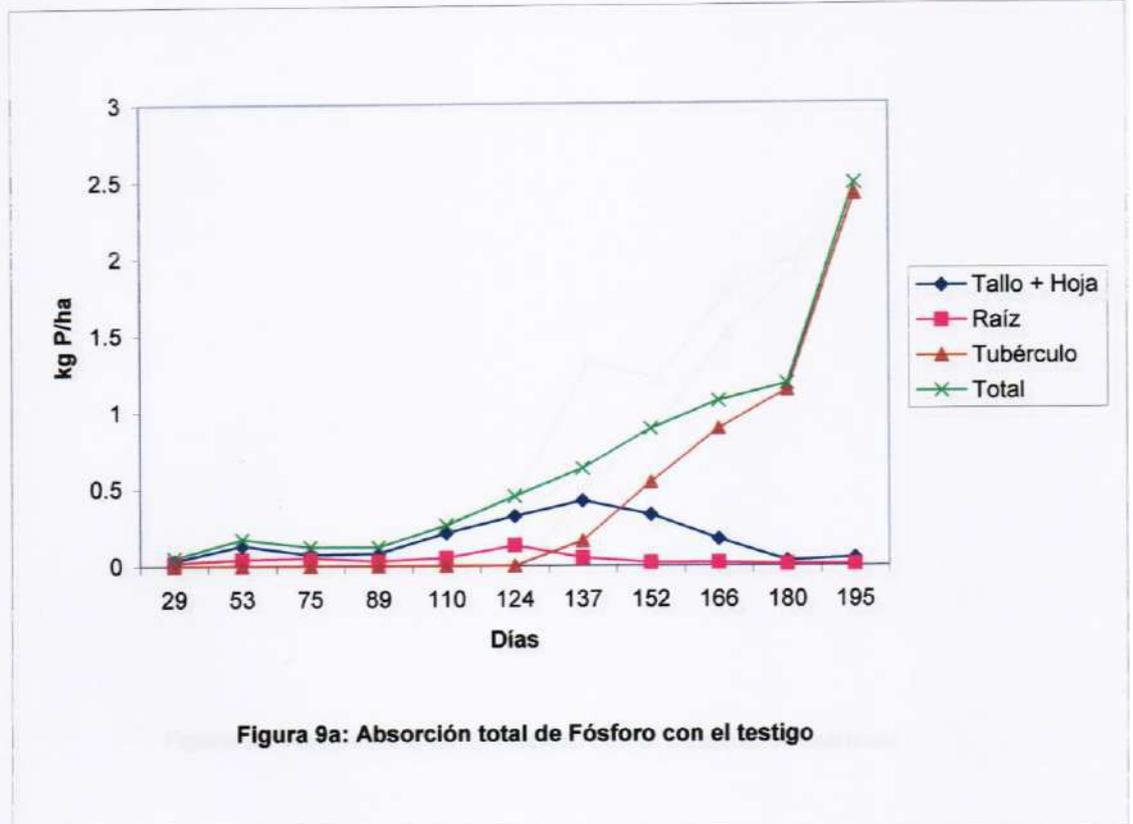


Figura 9a: Absorción total de Fósforo con el testigo

Parte	Días transcurridos después de la siembra										
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195
Tallo + Hoja	0.03	0.13	0.07	0.08	0.21	0.32	0.42	0.33	0.17	0.03	0.05
Raíz	0.02	0.04	0.05	0.03	0.05	0.13	0.05	0.02	0.02	0.01	0.01
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.54	0.89	1.14	2.41
Total	0.05	0.17	0.12	0.12	0.26	0.45	0.63	0.89	1.07	1.18	2.48

Tabla 9a: Absorción total de Fósforo en kg P/ha con el testigo

OCA

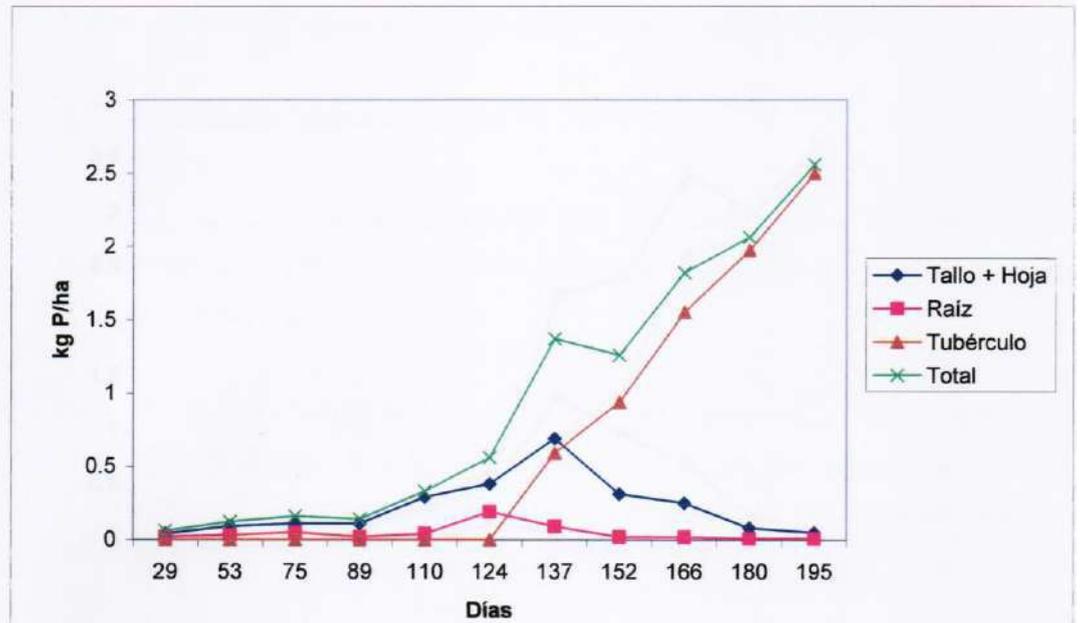


Figura 9b: Absorción total de Fósforo con el tratamiento estiércol

Parte	Días transcurridos después de la siembra										
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195
Tallo + Hoja	0.04	0.09	0.11	0.11	0.29	0.38	0.69	0.31	0.25	0.08	0.05
Raiz	0.02	0.03	0.05	0.02	0.04	0.19	0.09	0.02	0.02	0.01	0.01
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.59	0.94	1.55	1.97	2.5
Total	0.06	0.12	0.16	0.14	0.33	0.56	1.37	1.26	1.82	2.06	2.56

Tabla 9b: Absorción total de Fósforo en kg P/ha con el tratamiento estiércol

OCA

con NPK 3.58 kg/ha, el tratamiento con sulfato 7.15 kg/ha y el control 2.47 kg/ha, todos estos considerados en la fecha de cosecha (195 días)

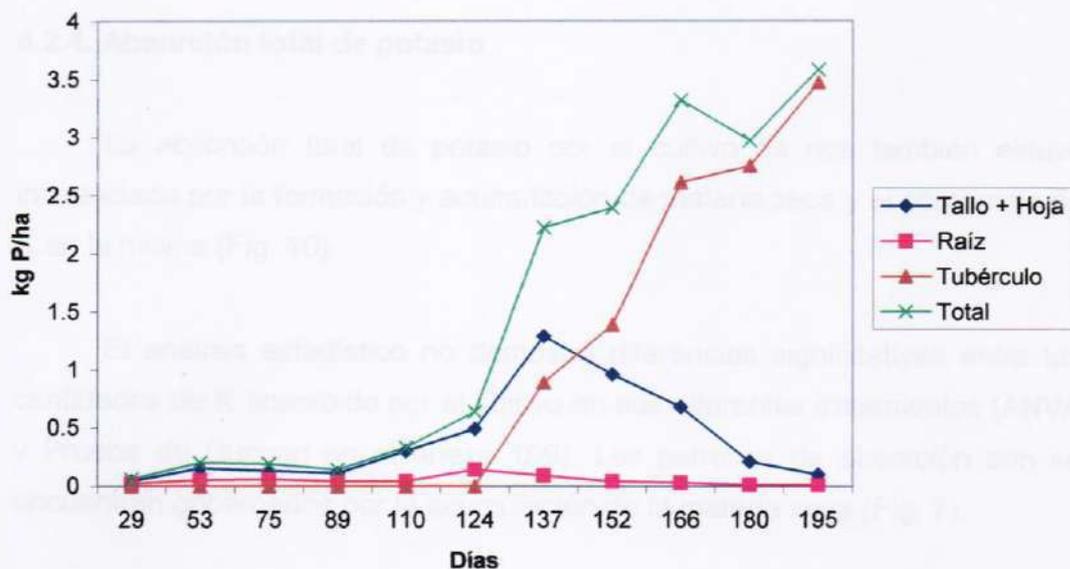


Figura 9c: Absorción total de Fósforo con el tratamiento NPK

Parte	Días transcurridos después de la siembra										
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195
Tallo + Hoja	0.04	0.15	0.13	0.11	0.3	0.49	1.29	0.96	0.68	0.21	0.1
Raiz	0.02	0.05	0.06	0.04	0.04	0.14	0.09	0.04	0.03	0.01	0.01
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.89	1.39	2.61	2.75	3.47
Total	0.06	0.20	0.19	0.14	0.33	0.64	2.22	2.39	3.32	2.97	3.58

Tabla 9c: Absorción total de Fósforo en kg P/ha con el tratamiento NPK

con **NPK** 3,58 kg/ha, el tratamiento con estiércol 2,56 kg/ha y el testigo 2,47 kg/ha, todos ellos considerados en la fecha de cosecha (195 días).

4.2.4. Absorción total de potasio

La absorción total de potasio por el cultivo de oca también estuvo influenciada por la formación y acumulación de materia seca y el porcentaje de **K** en la misma (Fig. 10).

El análisis estadístico no demostró diferencias significativas entre las cantidades de **K** absorbido por el cultivo en sus diferentes tratamientos (ANVA y Prueba de Duncan en el anexo 109). Los patrones de absorción aún se encuentran gobernados por la acumulación de la materia seca (Fig. 7).

Se observa el comportamiento del tratamiento con **NPK** presenta el mayor incremento con un pico máximo a los 166 días lo cual puede estar relacionado con la máxima traslocación de sustancia de reserva (almidón) según mencionan Mengel y Kirkby (1978), y la disponibilidad de este nutriente en la fuente de **NPK** aunque después muestra una ligera caída a los 180 días (acaso influencia climática por las heladas) y luego un pequeño incremento hacia la fecha de cosecha (195 días). Luego, las tasas progresivas y ascendentes del tratamiento con estiércol y el testigo pueden explicarse como debidas a la lenta disponibilidad desde la fuente de estiércol y desde el suelo.

Aunque no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos empleados se pueden comparar los promedios. Así tenemos que la extracción de **K** se dio en el orden de mayor a menor de la manera siguiente: tratamiento con **NPK** 36,33 kg/ha, el tratamiento con estiércol 28,88 kg/ha y el testigo con 21,99 kg/ha, todos ellos considerados en la fecha de cosecha (195 días). Además, se pueden mencionar que la oca extrajo casi tanto **K** como **N**.

OCA

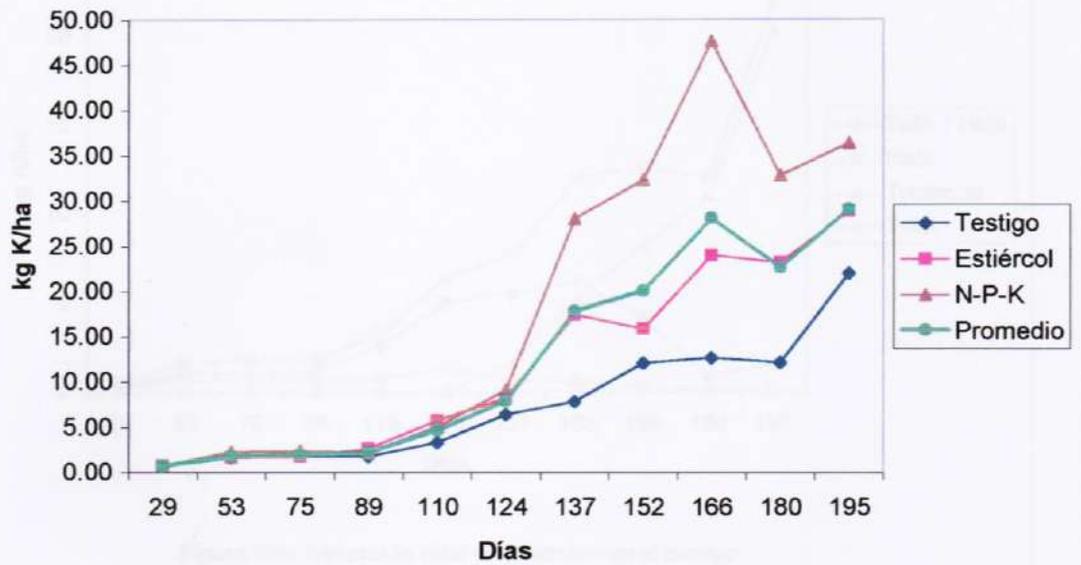
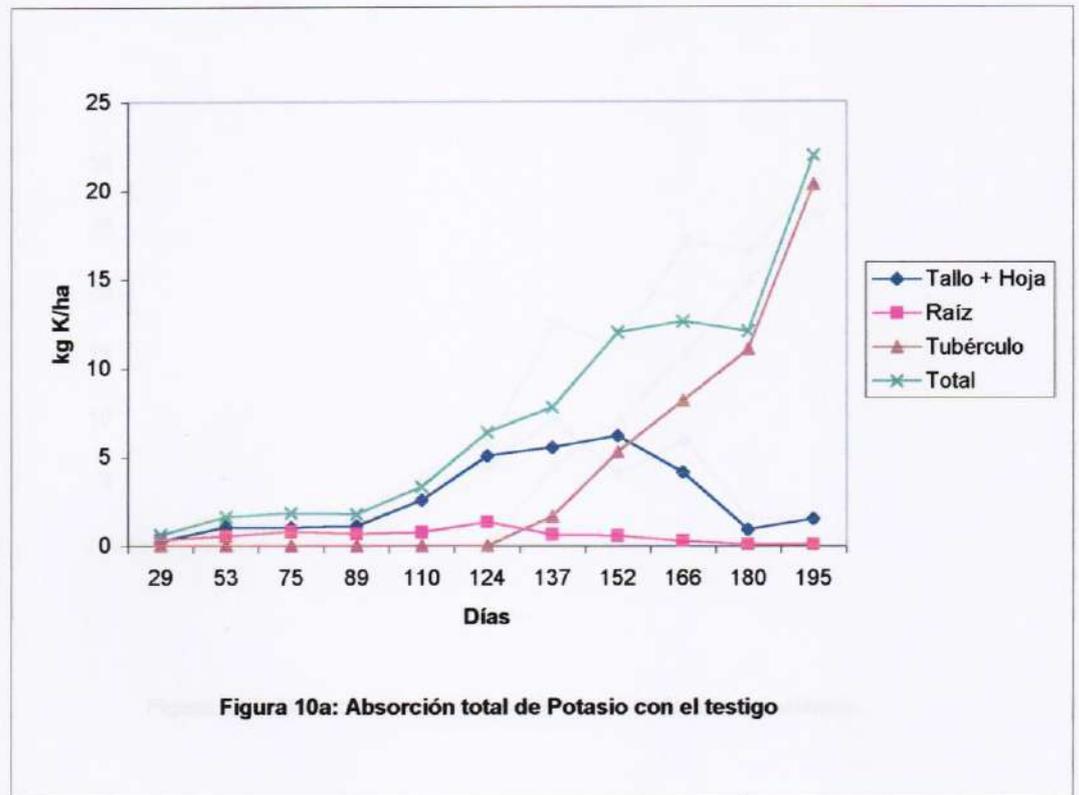


FIGURA 10: ABSORCIÓN TOTAL DE POTASIO

Tratamiento	Días después de la siembra										
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195
Testigo	0.60	1.60	1.82	1.76	3.32	6.39	7.82	12.04	12.63	12.10	21.99
Estiércol	0.76	1.60	1.74	2.63	5.69	8.20	17.39	15.81	23.98	23.16	28.88
N-P-K	0.74	2.23	2.33	2.17	5.05	9.08	27.99	32.28	47.57	32.81	36.33
Promedio	0.70	1.81	1.96	2.19	4.69	7.89	17.73	20.04	28.06	22.69	29.07

Tabla 10: Absorción Total de Potasio en Kg K/ha

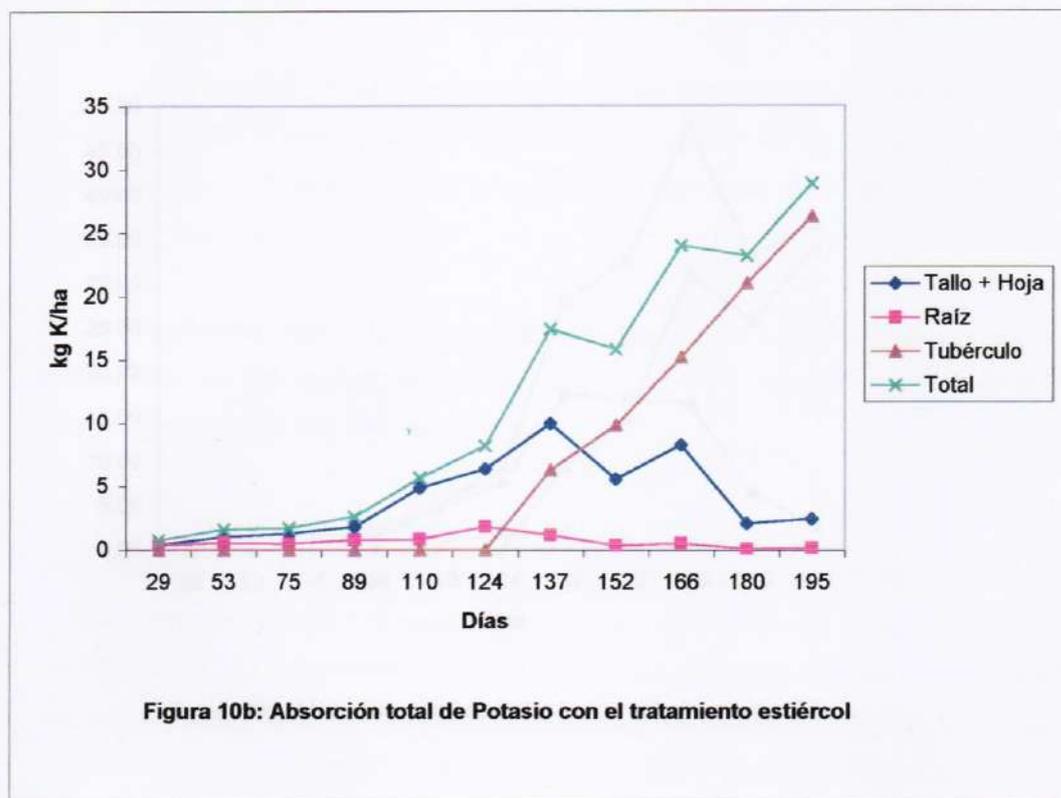
OCA



Parte	Días transcurridos después de la siembra										
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195
Tallo + Hoja	0.26	1.06	1.02	1.11	2.57	5.06	5.54	6.2	4.15	0.93	1.51
Raíz	0.33	0.54	0.8	0.65	0.75	1.33	0.63	0.56	0.28	0.09	0.11
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.65	5.27	8.2	11.08	20.36
Total	0.60	1.60	1.82	1.76	3.32	6.39	7.82	12.04	12.63	12.1	21.99

Tabla 10a: Absorción total de Potasio en kg K/ha con el testigo

OCA

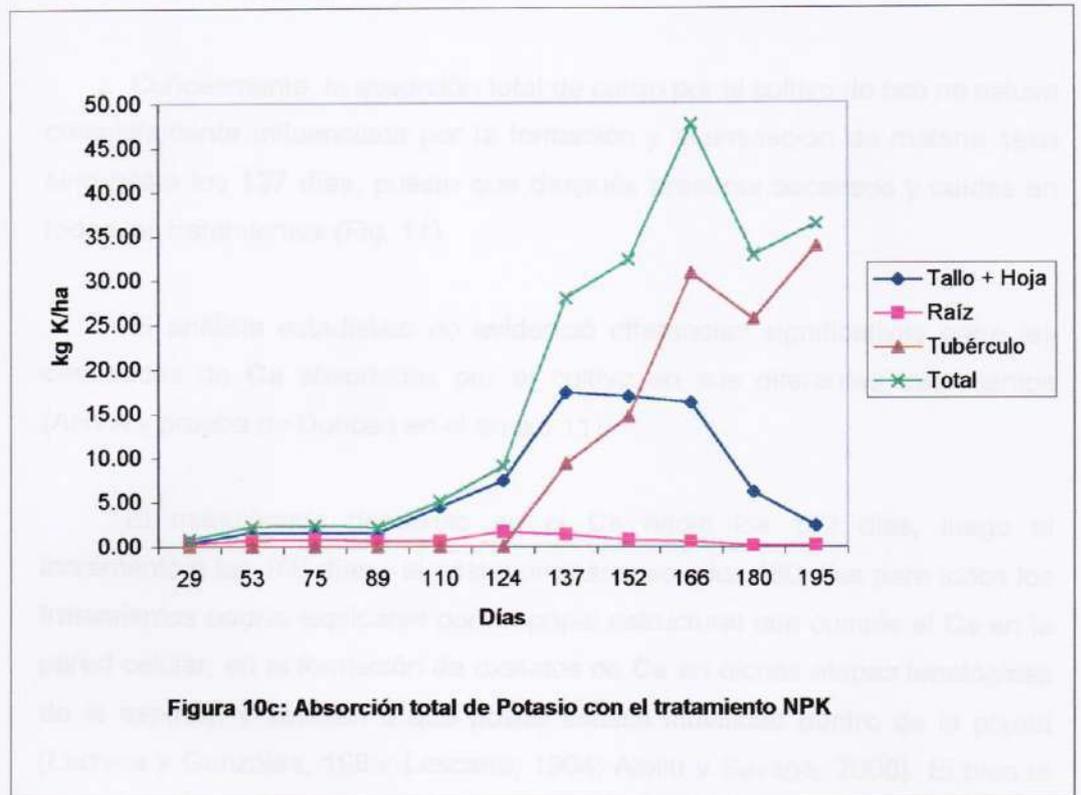


Parte	Días transcurridos después de la siembra										
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195
Tallo + Hoja	0.41	1.03	1.27	1.82	4.87	6.38	9.99	5.6	8.29	2.07	2.42
Raíz	0.36	0.56	0.47	0.81	0.82	1.82	1.13	0.37	0.51	0.1	0.17
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.28	9.84	15.18	21.00	26.28
Total	0.76	1.60	1.74	2.63	5.69	8.2	17.39	15.81	23.98	23.16	28.88

Tabla 10b: Absorción total de Potasio en kg K/ha con el tratamiento estiércol

OCA

4.2.5 Absorción total de potasio



Parte	Días transcurridos después de la siembra										
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195
Tallo + Hoja	0.40	1.56	1.54	1.50	4.44	7.42	17.37	16.91	16.22	6.12	2.34
Raíz	0.34	0.67	0.80	0.66	0.61	1.66	1.31	0.76	0.57	0.12	0.17
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.31	14.61	30.78	25.57	33.81
Total	0.74	2.23	2.33	2.17	5.05	9.08	27.99	32.28	47.57	32.81	36.33

Tabla 10c: Absorción total de Potasio en kg K/ha con el tratamiento NPK

4.2.5. Absorción total de calcio

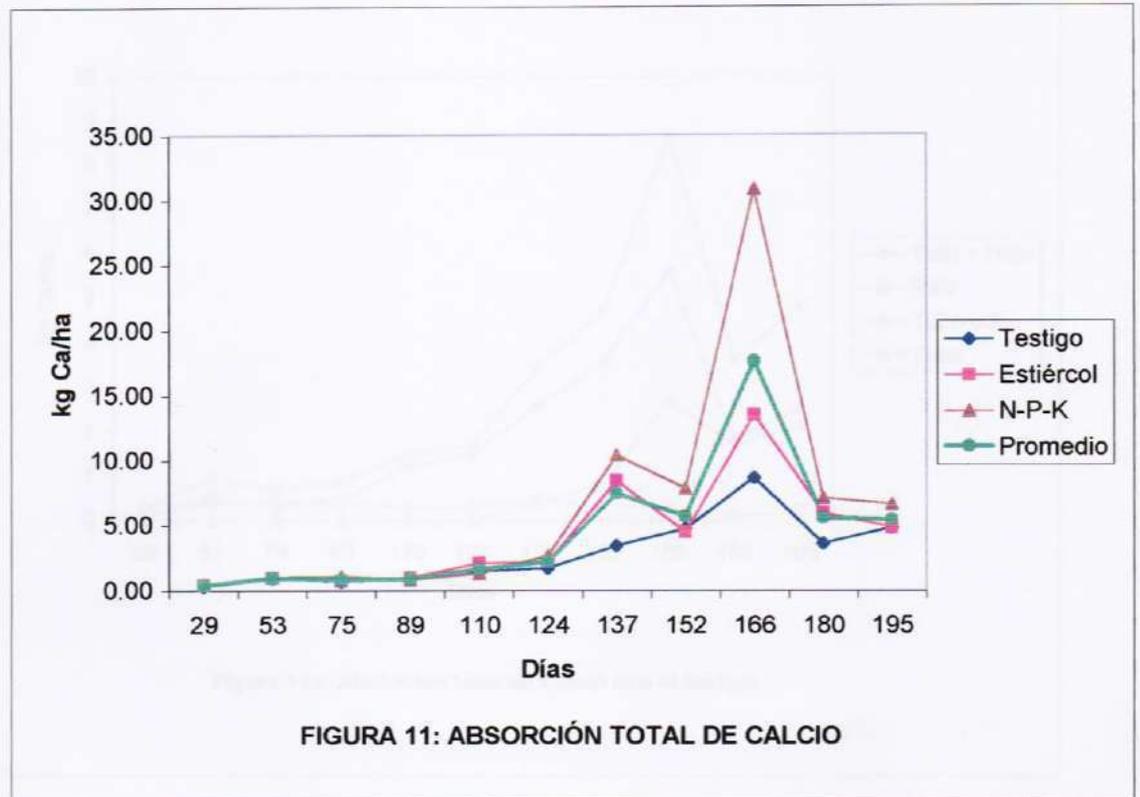
Curiosamente, la absorción total de calcio por el cultivo de oca no estuvo completamente influenciada por la formación y acumulación de materia seca sino hasta los 137 días, puesto que después presenta ascensos y caídas en todos los tratamientos (Fig. 11)

El análisis estadístico no evidenció diferencias significativas entre las cantidades de **Ca** absorbidas por el cultivo en sus diferentes tratamientos (ANVA y prueba de Duncan en el anexo 11).

El mencionado descenso en el **Ca** hacia los 152 días, luego el incremento a los 166 días y el posterior descenso a los 180 días para todos los tratamientos podría explicarse por el papel estructural que cumple el **Ca** en la pared celular, en la formación de oxalatos de **Ca** en dichas etapas fenológicas de la especie, y también a que posee escasa movilidad dentro de la planta (Lachica y Gonzáles, 1985; Lescano, 1994; Albilu y Savage, 2000). Si bien el tratamiento con **NPK** muestra una mayor acumulación de **Ca** a los 166 días, atribuida a su mayor disponibilidad y aún a su interacción con otros nutrientes, también su descenso es acelerado hacia los 180 días quizás influenciado por las condiciones climáticas. Como se observó en la Fig. 11, las oscilaciones de ascensos y descensos para los tratamientos con estiércol y el testigo no son como con el tratamiento con **NPK** y más parecen relacionarse a la lenta disponibilidad del nutriente **Ca**, aunque el efecto atribuido al clima (180 días) es común para los 3 tratamientos.

Aunque no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos empleados, se pueden comparar los promedios obtenidos en el ensayo. Así tenemos que la extracción de **Ca** se dio en el orden de mayor a menor de la siguiente manera: tratamiento con **NPK** 6,62 kg/ha, el testigo con 4,84 kg/ha y el tratamiento con estiércol 4,83 kg/ha; todos ellos considerados en la fecha de cosecha (195 días). Debe señalarse que el suelo estuvo bien de

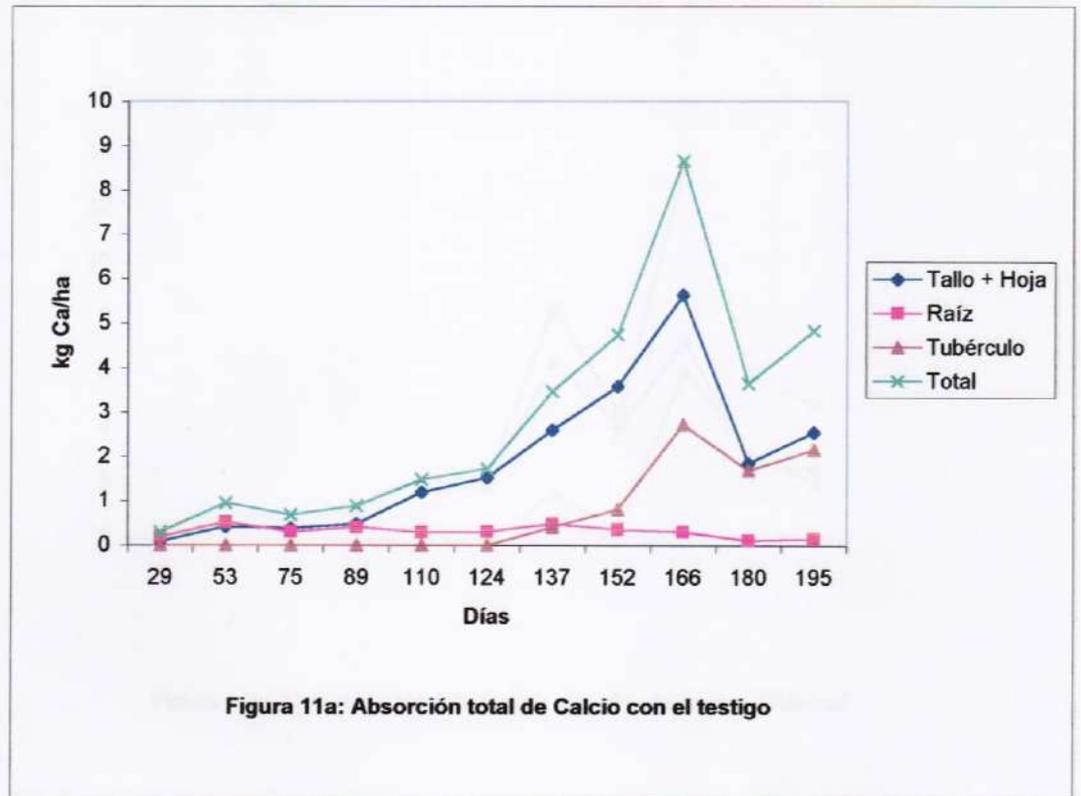
OCA



Tratamiento	Días después de la siembra										
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195
Testigo	0.29	0.95	0.68	0.89	1.48	1.72	3.47	4.75	8.66	3.64	4.84
Estiércol	0.40	0.97	0.73	1.01	2.13	2.22	8.43	4.51	13.48	5.97	4.83
N-P-K	0.44	0.99	1.08	0.80	1.30	2.68	10.35	7.83	30.81	7.09	6.62
Promedio	0.38	0.97	0.83	0.90	1.64	2.21	7.42	5.70	17.65	5.57	5.43

Tabla 11: Absorción Total de Calcio en Kg Ca/ha

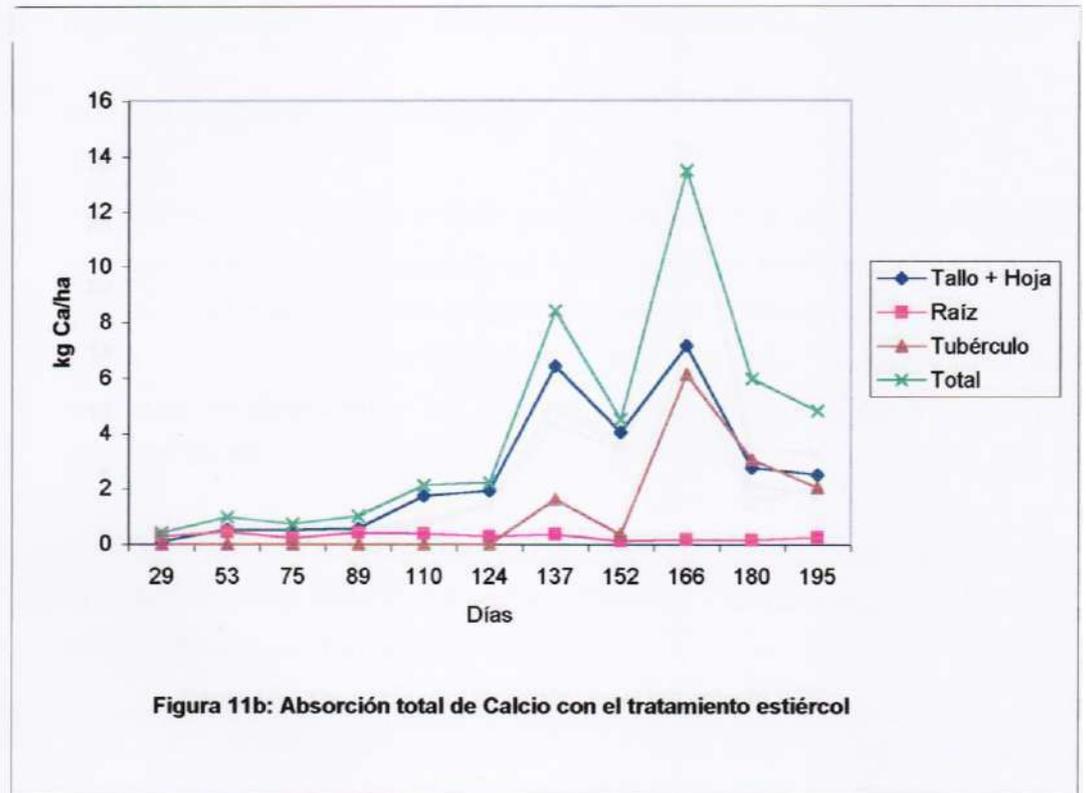
OCA



Parte	Días transcurridos después de la siembra										
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195
Tallo + Hoja	0.09	0.42	0.38	0.48	1.19	1.52	2.59	3.58	5.63	1.85	2.54
Raíz	0.19	0.52	0.3	0.41	0.29	0.3	0.48	0.36	0.30	0.12	0.15
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.4	0.81	2.72	1.68	2.15
Total	0.29	0.95	0.68	0.89	1.48	1.72	3.47	4.75	8.66	3.64	4.84

Tabla 11a: Absorción total de Calcio en kg Ca/ha con el testigo

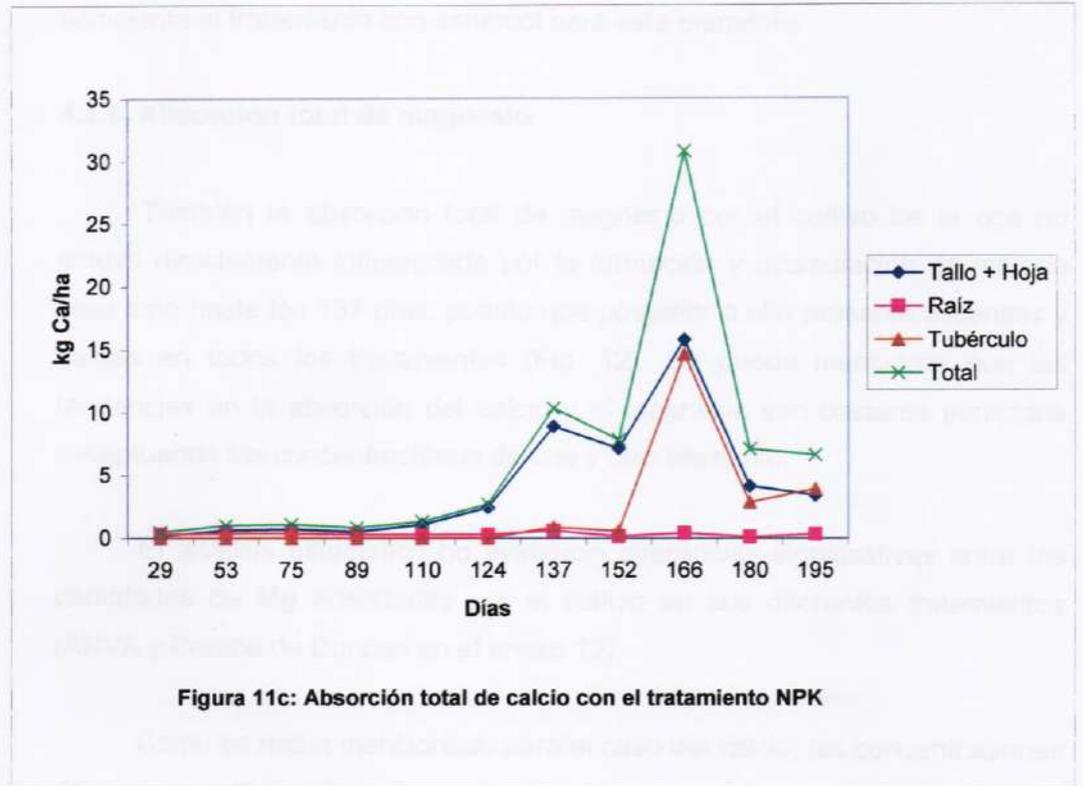
OCA



Parte	Días transcurridos después de la siembra										
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195
Tallo + Hoja	0.11	0.53	0.50	0.57	1.75	1.93	6.44	4.05	7.16	2.75	2.52
Raíz	0.29	0.44	0.23	0.43	0.38	0.29	0.36	0.12	0.18	0.16	0.27
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.63	0.34	6.14	3.06	2.05
Total	0.40	0.97	0.73	1.01	2.13	2.22	8.43	4.51	13.48	5.97	4.83

Tabla 11b: Absorción total de Calcio en kg Ca/ha con el tratamiento estiércol

OCA



Parte	Días transcurridos después de la siembra										
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195
Tallo + Hoja	0.15	0.61	0.69	0.50	1.05	2.41	8.90	7.13	15.79	4.13	3.39
Raíz	0.29	0.38	0.39	0.30	0.26	0.27	0.59	0.15	0.40	0.11	0.31
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.85	0.55	14.62	2.85	3.92
Total	0.44	0.99	1.08	0.80	1.30	2.68	10.35	7.83	30.81	7.09	6.62

Tabla 11c: Absorción total de Calcio en kg Ca/ha con el tratamiento NPK

provisto de **Ca**, motivo por el cual el testigo muestra un comportamiento semejante al tratamiento con estiércol para este elemento.

4.2.6. Absorción total de magnesio

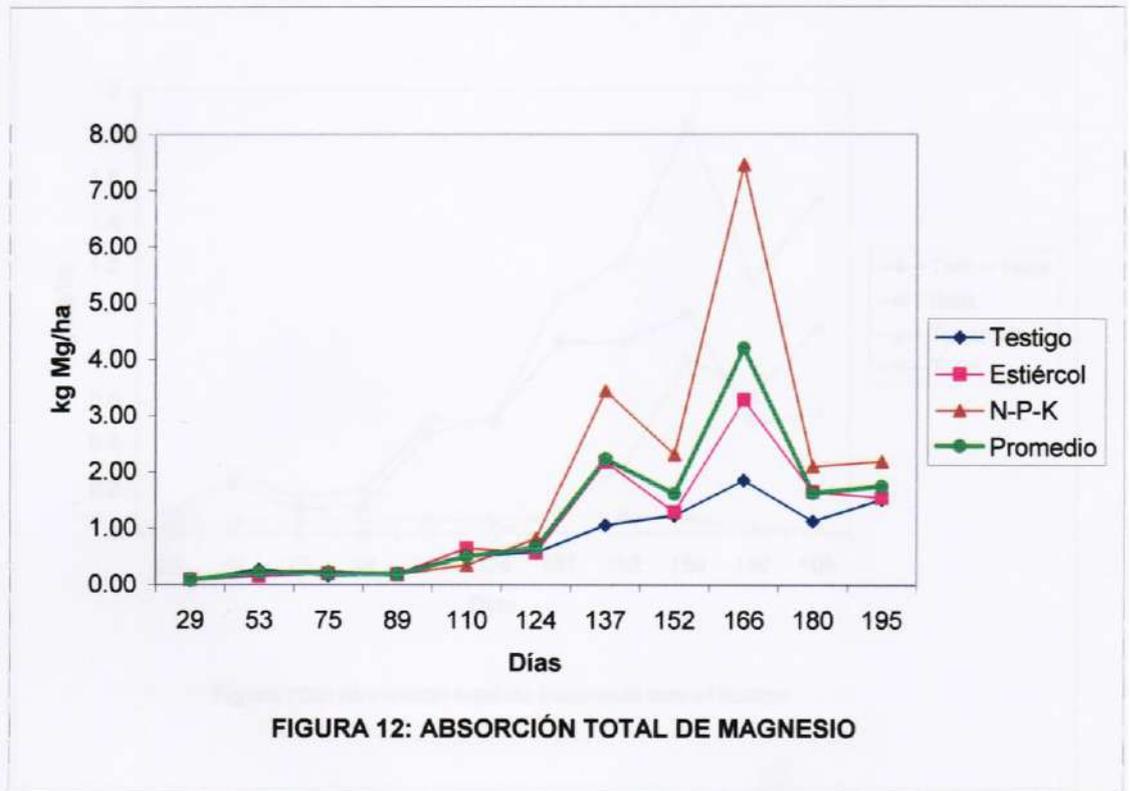
También la absorción total de magnesio por el cultivo de la oca no estuvo directamente influenciada por la formación y acumulación de materia seca sino hasta los 137 días, puesto que posterior a ello presenta ascensos y caídas en todos los tratamientos (Fig. 12). Se puede mencionar que las tendencias en la absorción del calcio y el magnesio son bastante parecidos exceptuando las concentraciones de uno y otro elemento.

El análisis estadístico no evidenció diferencias significativas entre las cantidades de **Mg** absorbidas por el cultivo en sus diferentes tratamientos (ANVA y Prueba de Duncan en el anexo 12).

Como se había mencionado para el caso del calcio, las concentraciones de magnesio tienen las mismas fluctuaciones en el tiempo variando solo en cantidad quizás demostrando con ello que existe una relación directa de absorción entre los dos elementos. Fisiológicamente también tiene explicación, relacionándolo con el **Ca** que cumple más funciones estructurales y de reserva, debido a que el magnesio participa en la fotosíntesis (transformación de la energía luminosa en energía química y crecimiento de las cadenas carbonadas) y en muchos procesos enzimáticos así como el **Ca** aunque en menor concentración (Lachica y Gonzáles, 1985).

Según el ensayo, el tratamiento con **NPK** muestra mayores concentraciones de **Mg**. Decrece a los 152 días, luego asciende abruptamente a los 166 días para decaer de la misma forma a los 180 días (quizás influido por factores climáticos), no experimentando ascenso hasta los 195 días. Menos fluctuantes se muestra el tratamiento con estiércol y el testigo que también llegan a esa máxima acumulación a los 166 días para luego disminuir a los 180

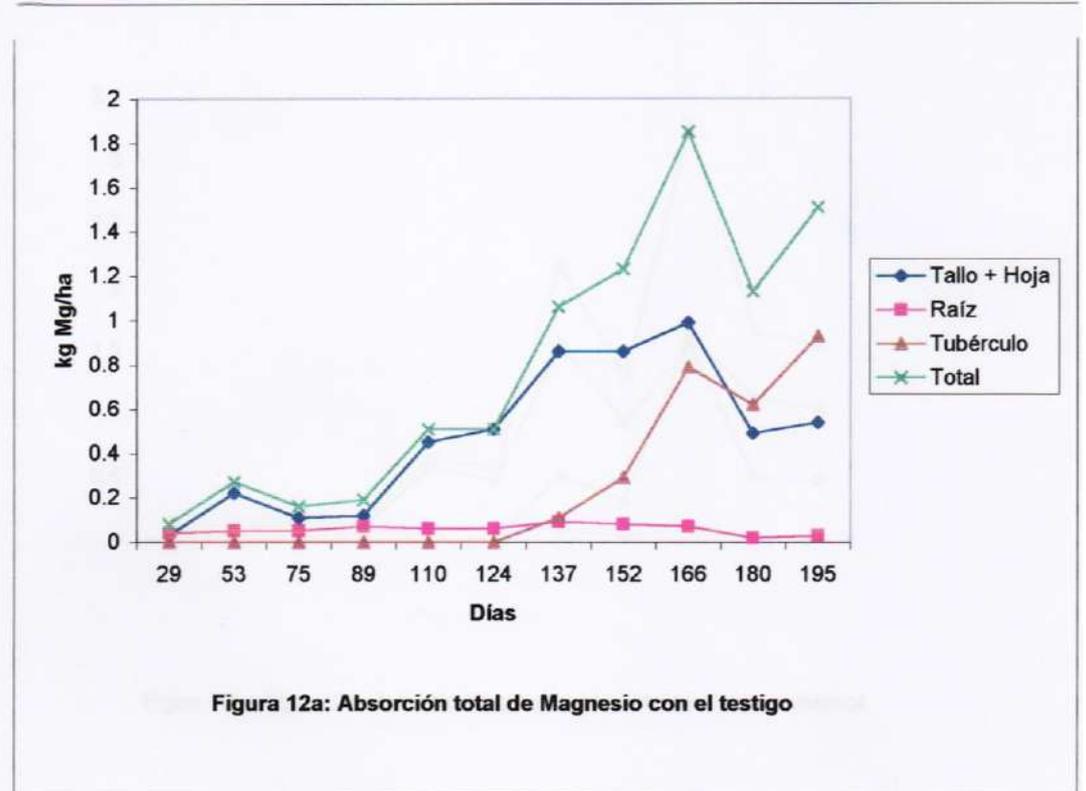
OCA



Tratamiento	Días después de la siembra										
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195
Testigo	0.08	0.27	0.16	0.19	0.51	0.57	1.06	1.23	1.85	1.13	1.51
Estiércol	0.09	0.15	0.20	0.19	0.65	0.57	2.18	1.29	3.29	1.65	1.54
N-P-K	0.10	0.23	0.24	0.18	0.35	0.82	3.45	2.31	7.46	2.10	2.19
Promedio	0.09	0.22	0.20	0.19	0.50	0.65	2.23	1.61	4.20	1.63	1.75

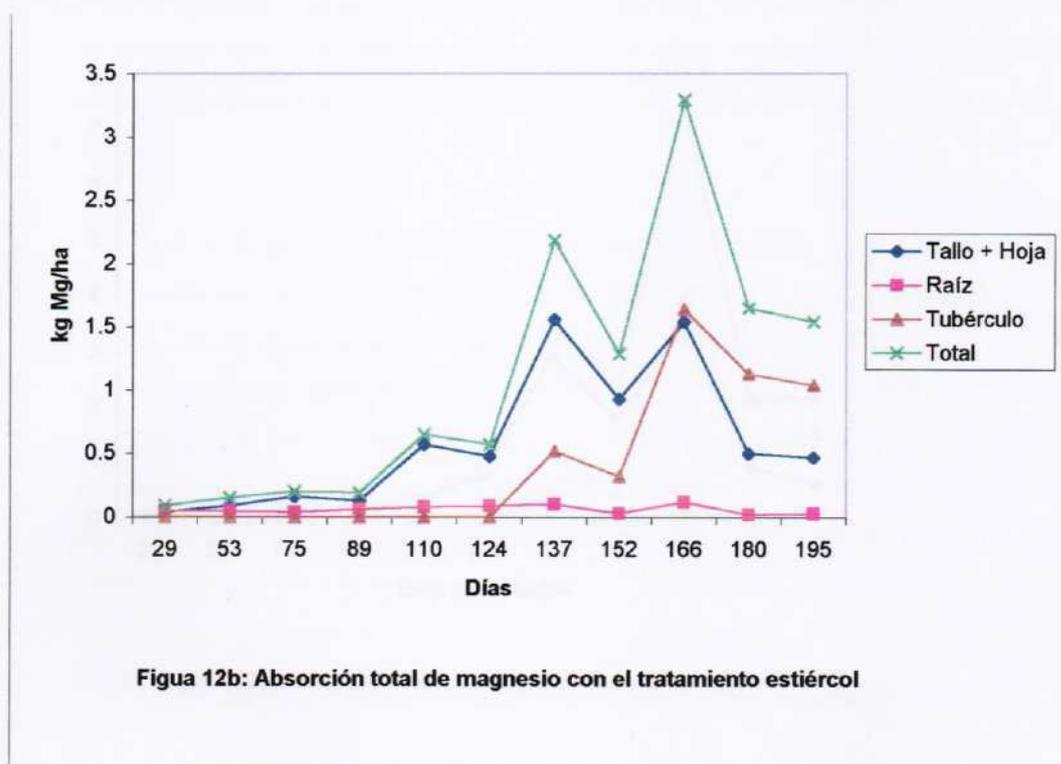
Tabla 12: Absorción Total de Magnesio en Kg Mg/ha

OCA



Parte	Días transcurridos después de la siembra										
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195
Tallo + Hoja	0.03	0.22	0.11	0.12	0.45	0.51	0.86	0.86	0.99	0.49	0.54
Raíz	0.04	0.05	0.05	0.07	0.06	0.06	0.09	0.08	0.07	0.02	0.03
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.29	0.79	0.62	0.93
Total	0.08	0.27	0.16	0.19	0.51	0.51	1.06	1.23	1.85	1.13	1.51

Tabla 12a: Absorción total de Magnesio en kg Mg/ha con el testigo



Parte	Días transcurridos después de la siembra										
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195
Tallo + Hoja	0.04	0.09	0.16	0.13	0.57	0.48	1.56	0.93	1.54	0.50	0.47
Raíz	0.05	0.05	0.04	0.06	0.08	0.09	0.10	0.03	0.12	0.02	0.03
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.52	0.32	1.64	1.13	1.04
Total	0.09	0.15	0.20	0.19	0.65	0.57	2.18	1.29	3.29	1.65	1.54

Tabla 12b: Absorción total de Magnesio en kg Mg/ha con el tratamiento estiércol

OCA

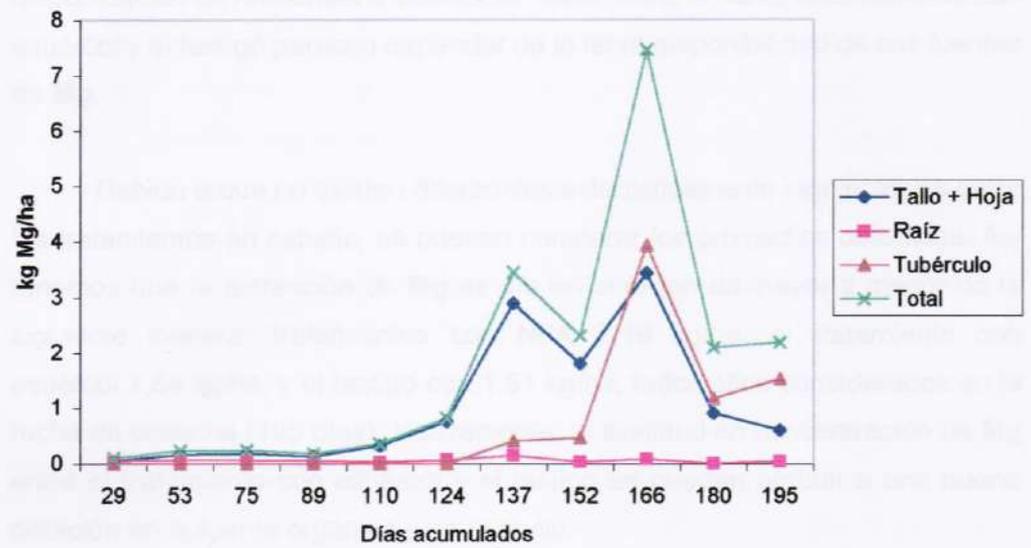


Figura 12c: Absorción total de magnesio con el tratamiento NPK

Parte	Días transcurridos después de la siembra										
	29	53	75	89	110	124	137	152	166	180	195
Tallo + Hoja	0.05	0.16	0.18	0.13	0.32	0.76	2.90	1.80	3.44	0.91	0.61
Raíz	0.05	0.07	0.07	0.06	0.03	0.07	0.15	0.04	0.09	0.01	0.05
Tubérculo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.47	3.94	1.17	1.53
Total	0.10	0.23	0.24	0.18	0.35	0.82	3.45	2.31	7.46	2.10	2.19

Gráfico 12c: Absorción total de Magnesio en kg Mg/ha con el tratamiento NPK

días (también factor clima). También aquí se puede indicar que el tratamiento con **NPK** demostró mayor acumulación en algún momento debido a su mayor disponibilidad de nutrientes o interacción entre ellos, en tanto el tratamiento con estiércol y el testigo parecen depender de la lenta disponibilidad de sus fuentes de **Mg**.

Debido a que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en estudio, se pueden comparar los promedios obtenidos. Así tenemos que la extracción de **Mg** se dio en el orden de mayor a menor de la siguiente manera: tratamientos con **NPK** 2,19 kg/ha, el tratamiento con estiércol 1,54 kg/ha, y el testigo con 1,51 kg/ha, todos ellos considerados en la fecha de cosecha (195 días). Nuevamente, la similitud en concentración de **Mg** entre el tratamiento con estiércol y el testigo se pueden atribuir a una buena dotación en la fuente orgánica y en el suelo.

4.2.7. Rendimiento total estimado de la oca

Según el análisis estadístico realizado para la materia seca total (Anexo 7) y siguiendo la secuencia de la formación total de materia seca en la Fig. 7; se puede inferir el rendimiento total del cultivo en estudio (esto es la contribución desagregada de tallos + hojas, raíces y tubérculos) si se conoce la concentración de materia seca expresada en porcentaje de cada parte considerada hacia el final del cultivo o cosecha, pues cada una de ellas acumula diferente cantidad de materia seca. Para el caso de la oca no existió discrepancia con respecto a la fecha de cosecha, como sí lo hubo con la mashua.

Así, la estimación conduce hacia los siguientes rendimientos de biomasa total (en kg/ha): testigo con 9788,64, el tratamiento con estiércol con 10385,49 y el tratamiento con **NPK** 15446,20. Todos ellos considerados a los 195 días. También se debe consignar el rendimiento promedio estimado de tubérculos a los 195 días (en kg/ha): el testigo con 9285,04, el tratamiento con estiércol con

10026,33, y el tratamiento **NPK** con 14491,91 (Cuadro N° 8). Así mismo se puede apreciar en dicho cuadro la baja contribución de los tallos + hojas y las raíces a los 195 días debido a la senescencia de los mismos en provecho de los tubérculos, lo cual concuerda con lo descrito por Lescano (1994). Como observación se hace constar que la estimación en el rendimiento de tubérculos incluye a todos los producidos debido a que no se realizó clasificación alguna. También en este caso no se observó brotamiento de yemas en los mismos.

4.3. Extracción total de elementos por los dos cultivos y su contribución en el rendimiento de tubérculos

Como conclusión del presente estudio se muestra el Cuadro N° 9, en donde se consigna la extracción de cada uno de los elementos considerados para producir 1000 kg de tubérculos/ha. Esta relación se ha obtenido al dividir la extracción total del elemento por tratamiento entre el rendimiento total de tubérculos por tratamiento.

Cuadro N° 8: Producción total de biomasa estimada al momento de la cosecha (unidades en kg/ha)

Mashua	Tallo+hojas	Raíces	Tubérculos	Total
1. Testigo	4948.50	0.00	30767.21	35715.71
2. Estiércol	5702.00	0.00	40882.12	46584.12
3. NPK	6773.32	0.00	13711.93	20485.25
3a.NPK a los 195 días	11334.48	366.68	34019.05	45720.21

Oca	Tallo+hojas	Raíces	Tubérculos	Total
1. Testigo	457.22	46.38	9285.04	9788.64
2. Estiércol	317.39	41.77	10026.33	10385.49
3. NPK	862.55	91.74	14491.91	15446.20

Cuadro N° 9: Extracción de los elementos considerados en el estudio para producir 1 tonelada de tubérculo según tratamiento (unidades del elemento en kg)

Mashua	N	P	K	Ca	Mg
1. Testigo	1.52	0.42	1.88	0.86	0.13
2. Estiércol	1.47	0.37	1.99	0.74	0.12
3. NPK	2.01	0.51	2.48	1.77	0.18
Promedio	1.66	0.43	2.11	1.12	0.14

Oca	N	P	K	Ca	Mg
1. Testigo	1.85	0.26	2.36	0.52	0.16
2. Estiércol	1.90	0.25	2.88	0.48	0.15
3. NPK	2.12	0.24	2.50	0.45	0.15
Promedio	1.95	0.25	2.58	0.48	0.15

V. CONCLUSIONES

1. La acumulación de materia seca total para el caso de la mashua estuvo influenciada directamente por las condiciones climáticas (180 días) y aún el tratamiento con **NPK** muestra pérdidas de peso a la fecha de cosecha (213 días) lo cual sugiere que la fecha adecuada para este tratamiento hubiera sido a los 195 días. No sucede lo mismo con la acumulación de materia seca total para el caso de la oca que muestra un crecimiento sostenido hasta la fecha de cosecha (195) además de soportar el factor climático a los 180 días.
2. La absorción de los nutrientes **N, P, K, Mg** totales en la mashua son un reflejo directo de la acumulación de la materia seca total pues siguen la misma tendencia. La absorción de **Ca** total en esta especie demuestra un declive general para todos los tratamientos hacia la fecha de cosecha (213 días) explicable quizás por la fenología del cultivo. La absorción de los nutrientes **N, P, K** totales en la oca están influenciados directamente por la acumulación de la materia seca total, mientras que el **Ca** y el **Mg** totales, aunque tienen tendencias semejantes, no están influenciados directamente por la acumulación de la materia seca total a partir de los 124 días hasta la cosecha. La explicación se debe al comportamiento fisiológico de estos elementos durante la fenología del cultivo.
3. La mayor absorción de los nutrientes en estudio se dio para los tratamientos con **NPK** para ambos cultivos, aunque debe mencionarse que para el caso de la mashua pudo acelerar la maduración del cultivo debido a su mayor disponibilidad de nutriente. En términos generales siguen en orden descendente el tratamiento con estiércol y luego el testigo.

4. En general todo nutriente para ambos cultivos comienza a absorberse en cantidades crecientes a partir de los 110 días de instalado el cultivo, aunque después algunos de ellos no sigan las tendencias creciente debido a su rol fisiológico o a las influencias climáticas. Esta manifestación debe explicarse por el inicio y posterior desarrollo de la tuberización.
5. Si bien el tratamiento con **NPK** muestra mayor rendimiento para ambos cultivos en base a promedios, no lo es estadísticamente, lo cual sugiere que la contribución de los nutrientes del suelo y de la fuente de estiércol no son nada despreciables y acaso se necesiten otros tratamientos con diferentes niveles o interacciones, entre ellos. En consecuencia, esto quiere decir que, los tratamientos empleados y el testigo demostraron comportamientos semejantes.
6. La secuencia de absorción de nutrientes observada en este estudio para ambos cultivos fue la siguiente: **K>N>Ca>P>Mg**. Según se desprende de los resultados para ambos cultivos el elemento mayor **P** no es extraído en concentraciones elevadas.
7. Los rendimientos estimados de los tubérculos para la mashua fluctuaron entre las 40 toneladas/ha (tratamiento con estiércol) y las 30 toneladas/ha (testigo). En tanto que para la oca la fluctuación se dio entre las 14 toneladas/ha (tratamiento con **NPK**) y las 9 toneladas/ha (testigo).

VI. RECOMENDACIONES

1. Para una mejor estimación de los resultados en cuanto a la extracción de nutrientes y la fertilización deberían realizarse estudios similares, variando las fuentes y dosis de los fertilizantes, así como realizar experimentos en otras condiciones de suelo, clima y geografía.
2. Tener en cuenta las condiciones climatológicas en el desarrollo del cultivo debido a que parecen influir en algunos aspectos de la absorción de nutrientes. En consecuencia, sería adecuado interpretar la absorción de nutrientes relacionándola con información diaria de temperaturas máximas y mínimas e incluyendo también la precipitación.
3. Plantear en posteriores estudios variación entre los niveles de estiércoles y fuentes minerales así como también la combinación entre ellos para registrar mejor información sobre su influencia en el rendimiento de las especies consideradas.
4. Realizar una clasificación de los tubérculos producidos para estimar la proporción comercial.

VII. RESUMEN

Con el propósito de evaluar la absorción de los nutrientes **N, P, K, Ca, Mg**, y así elaborar las curvas de absorción de éstos elementos, se condujeron dos experimentos con dos tuberosas andinas: mashua (*Tropaeolum tuberosum* R. et P.) clon "Jerguita", y oca (*Oxalis tuberosa* Molina) clon "Amarilla". Los tratamientos en estudio fueron: 1) estiércol (5 ton/ha), 2) fertilización mineral 120N – 120 P₂O₅ – 80K₂O (kg/ha), y 3) testigo.

Los experimentos se condujeron en la localidad de Huayao, valle del Mantaro, Junín (3,350 msnm), durante la campaña agrícola 1994-1995.

Los tratamientos se evaluaron estadísticamente según el diseño de bloques completos al azar (DBCA) con tres repeticiones para cada cultivo, con valores de probabilidad de 5%. Las muestras periódicas de las plantas enteras se realizaron a intervalos de 15 días, correspondiendo 12 para la mashua y 11 para la oca.

La acumulación de materia seca total para la mashua estuvo influenciada por las condiciones climáticas (180 días) razón por la cual altera el promedio para tal fecha. No sucede lo mismo con la acumulación de materia seca para la oca que demuestra un crecimiento sostenido hasta la fecha de la cosecha (195 días). La absorción de los nutrientes **N, P, K, Mg** en la mashua son un reflejo directo de la acumulación de la materia seca total, la absorción de **Ca** muestra una disminución general en todos los tratamientos hacia la fecha de cosecha (213 días). La absorción de nutrientes **NPK** en la oca están influenciados directamente por la acumulación de la materia seca total mientras que el **Ca** y **Mg** no están influenciados directamente por tal acumulación a partir de los 124 días hasta la cosecha (195 días). La mayor absorción de nutrientes se dio para los tratamientos con **NPK** para ambos cultivos, continuando en orden descendente los tratamientos con estiércol y los testigos. Todos los nutrientes considerados comienzan a absorberse en cantidades crecientes a

partir de los 110 días de instalado el cultivo, explicándose esta manifestación por el inicio y posterior desarrollo de la tuberización. Si bien el tratamiento con **NPK** muestra mayor rendimiento para ambos cultivos, no lo es estadísticamente con respecto a los tratamientos con estiércol y testigos lo cual sugiere que sus comportamientos son semejantes.

La secuencia de absorción de nutrientes observada en este estudio para ambos cultivos fue: **K>N>Ca>P>Mg**, siendo el elemento mayor **P** extraído en concentraciones bajas.

Los rendimientos estimados de tubérculos para la mashua fluctuaron entre las 40 ton/ha (tratamiento con estiércol) y las 30 ton/ha (testigo). En tanto que para la oca fluctuaron entre las 14 ton/ha (tratamiento con **NPK**) y las 9 ton/ha (testigo). La extracción de los elementos considerados en el estudio para producir una tonelada de tubérculo por hectárea según tratamiento (unidades de los elementos **N, P, K, Ca, Mg** en kg/ha) fueron en promedio: 1.66, 0.43, 2.11, 1.12 y 0.14 para el cultivo de la mashua, y de 1.95, 0.25, 2.58, 0.48 y 0.15 para el cultivo de la oca respectivamente.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. ALALUNA G., E. 2000. Efecto de la fertilización mineral, estiércol, fertilización foliar y absorción de nutrientes en la secuencia papa-kiwicha, evaluado mediante la técnica del elemento faltante. Tesis Mg. Sc. UNALM. Lima. 159 p.
2. ALBIHN, P. and G. P. SAVAGE () Bioavailability of soluble oxalate at different intake levels of oca (*Oxalis tuberosa*). Swedish university of agricultural science, Uppsala, Sweden-Food Group, Lincoln University, Canterbury
http://www.nutritionociety.ac.nz/lvh/Abstracts_Nutrition_Society.htm
3. AZCÓN-BIETO, J. y M. TALÓN, (coord.). 1996. Fisiología y Bioquímica vegetal. Interamericana. McGraw-Hill. 1ª. Reimpresión. Madrid, España. 582 p.
4. BÁEZ, M., C. GONZÁLEZ y M. LACHICA. 1981. El alerce en Chile (*Fitroya cupressoides* (Mol.) Johnston). Estudio preliminar sobre su nutrición mineral. En: Anales de Edafología y agrobiología. Tomo XL, núm. 5-6. p. 985-994. Madrid, España.
5. BAZÁN, R. 1996. Manual para el análisis químico de suelos, aguas y plantas. UNALM- Fundación Perú- Fundación para el desarrollo agrario. Lima, Perú. 55 p.
6. BLACK, C. (Edit) 1965. Methods of soil analysis. Part 2. chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA.
7. BLACK, C. 1993. Soil Fertility evaluation and control. Lewis publishers. Florida, USA. 724 p.
8. BLANCO, O. y M. BLANCO, 1995. Cultivos andinos y la investigación universitaria. Recopilación y análisis de bibliografía temática existente en el Perú N°7. Comisión de Coordinación de Tecnología Andina. Lima, Perú. 374 p.

9. BOLT, G. Y BRUGGENWERT. (edit) 1978. Soil Chemistry, A. Basic elements. Elsevier scientific publishing company. Amsterdam, The Netherlands. 282 p.
10. BORNEMISZA, E. 1982. Introducción a la química de suelos. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, D.C. monografía N° 25. 74 p.
11. BRADY, N. 1990. The Nature and properties of soils. Macmillan Publishing Company. 10th Edition. New York, USA. 622 p.
12. CALZADA, J. 1982. Métodos estadísticos para la investigación. Editorial y Distribuidora Milagros S.A. Quinta Edición. Lima, Perú. 644 p.
13. CARRASCO, E., F. TERRAZAS, R. CALDERÓN, y G. THICLE, 1996. Los tubérculos andinos: Tesoro de los Andes. Ciclo de conferencias sobre alimentos andinos. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia. p. 39-50.
14. CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA. 1999. Raíces y tubérculos andinos. Avances de investigación I. Centro Internacional de la papa (CIP) – Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CODESAN). 1er Edición. Lima, Perú. 242 p.
15. CHACON, O. 1960. Estructura y variabilidad de *Tropaeolum tuberosum* R & P. Tesis Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas Turrialba. 46 p. (mimeografiado).
16. CHAPMAN, H. y PRATT, P. 1973. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Editorial Trillas. México. 196 p.
17. CLARK, T. 1999. Mashua. Southern Illinois University Carbondale/Ethnobotanical Leaflets.
<http://www.siu.edu/~ebl/leaflets/mashua.htm>
18. CRONQUIST, A. 1981. An integrated system of classification of flowering plants. The New York Botanical Garden. Columbia University Press. USA.
19. DEL VILLAR, E. 1982. Respuesta de la Oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) a la forma de aplicación de fertilizantes. Tercer Congreso Internacional de

- Cultivos Andinos. Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios – Instituto Boliviano de Tecnología agropecuaria – Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo. La Paz, Bolivia. p. 361-367.
20. FUNDORA H., O., P.N. ARZOLA Y A.J. MACHADO DE 1983. Agroquímica. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. 268 pág.
 21. GOMEZ A., D. 1998. Efectos de la nutrición mineral sobre el crecimiento y rendimiento de la mashua (*Tropaeolum tuberosum* Mol.). Tesis Ing. Agrónomo. UNALM. 67 p.
 22. GREWELING, T. 1976. Chemical of analysis plant tissue. Departament of Agronomy. New York State College of Agriculture and Life Sciences, Cornell University, Ithaca. New York, USA. 36 p.
 23. GUARDIOLA, B. Y L. GARCÍA. 1990. Fisiología vegetal I: Nutrición y transporte. 1ª Edición. Madrid-España. Ed. Síntesis. 440 p.
 24. HERNANDO, J.E. AND J. LEÓN (eds.) 1994. Neglected crops: 1492 from a different perspective. Plant production and protection series N° 26. FAO, Rome, Italy. p. 149 – 163.
 25. HUATUCO B., C. 1997. Estudio de la velocidad de descomposición de diferentes fuentes de materia orgánica. Tesis M. Sc. UNALM. Lima. 76 p.
 26. INTERNATIONAL POTATO CENTER. () Mashua (*Tropaeolum tuberosum*). ARTCs. <http://www.cipotato.org/artc/cipcrops/mashua.htm>
 27. INTERNATIONAL POTATO CENTER () Oca (*Oxalis tuberosa*) ARTCs. <http://www.cipotato.org/artc/cipcrops/oca.htm>
 28. JACKSON, M. 1964. Análisis químico de suelos. Ediciones Omega S.A. Barcelona, España. 662 p.
 29. JUNTA DE EXTREMADURA (edit.) 1992. Interpretación de análisis de suelo, foliar y agua de riego. Consejo de abonado (Normas básicas). Ediciones Mundi – Prensa. Madrid, España. 280 p.
 30. KHASAWNEH, F., E. SAMPLE, AND E. KAMPRATH, (edit) 1986. The role of phosphorus in agriculture. American Society of agronomy. Crop Science Society of America. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA. 910 p.

31. KONONOVA, M. 1982. Materia orgánica del suelo. Su naturaleza, propiedades y métodos de investigación. Oikos-Tau S.A. Ediciones, 1ra. Edición en Castellano. Barcelona, España. 352 p.
32. KRAMER, P. 1989. Relaciones hídricas de Suelos y Plantas. Una síntesis moderna. Harla. México D.F., México. 538 p.
33. LA CHICA, M., C. GONZÁLEZ Y M.E. BAEZ. 1982. El alerce en Chile (*Fitzroya cupressoides* (Mol.) Johnston). II. Estudio sobre su nutrición mineral. En: Anales de edafología y agrobiología. Tomo XLI, núm. 9-10. p. 1947-1956. Madrid, España.
34. LACHICA G., M Y O.C. GONZÁLES (Edit.) 1985. Nutrición Vegetal, algunos aspectos químicos y biológicos. Estación experimental de Zaidín-Granada (España)/Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas-Santiago (Chile). Sevilla, España. 212 p.
35. LEON, J. 1964. Plantas alimenticias andinas. Boletín técnico N° 6. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas Zona Andina. Lima, Perú.
36. LESCANO R., J. 1994. Genética y mejoramiento genético de cultivos altoandinos. Programa de interinstitucional de waru-warú (Piwa). Convenio INADE/PELT-COTESU. Perú. 416 p.
37. LOUÉ, A. 1988. Los oligoelementos en agricultura. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 354 p.
38. MALAVOLTA, E. 1976. Manual de Química Agrícola. Nutricao de Plantas e fertilidade do solo. Editora Agronómica Ceres Ltda., Piracicaba, Sao Paulo, Brasil. 528 p.
39. MALAVOLTA, E., G. VITTI Y DE S. OLIVEIRA 1989. Avaliacao do estado nutricional das plantas, principios e aplicacoes. Associacao Brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato. Piracicaba, Sao Paulo, Brasil. 202 p.
40. MANTARI, C., C. 1955. El mejoramiento del cultivo de las ocas (*Oxalis tuberosa* Mol.). División General de Agricultura (Perú) N° 3. 16 p.
41. MENGEL, K Y E. KIRKBY, 1978. Principles of plant nutrition. International Potash institute. Wonblaufen-Bern. Switzerland. 594 p.

42. MEZA Z., G. 1998. Abonamiento orgánico e inorgánico en el cultivo de olluco (*Ullucus tuberosus* Loz.) en Cusco. Tesis M. Sc. UNALM. Lima. 104 p.
43. MUNSON, R. (edit). 1985. Potassium in agriculture. American Society of Agronomy. Corp science society of America. Soil science society of America. Madison, Wisconsin, USA. 1224 p.
44. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1989. Last crops of the incas: Little plants of the Andes with promise for world wide cultivation. National Academy Press. Washington, D.C. 415 p.
45. OLARTE, L., B. DE MUÑOZ, G. DE BENAVIDES, F. GARAVITO, C. LUNA, L. MEJÍA, Y E. DE ROZO, () Métodos analíticos del Laboratorio de suelos. Instituto geográfico "Agustín Codazzi". Subdirección agrológica. Bogotá, Colombia. 666 p.
46. ORBEGOSO, G. 1958. La estructura y variabilidad de las ocas peruanas. Estudios sobre tubérculos alimenticios de los Andes. Comunicaciones de Turrialba N° 63: 22-32.
47. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. Oficina regional para América Latina y el Caribe. 1990. Cultivos Andinos. Subexplotados y su aporte a la alimentación. Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial.
48. PADRÓN, R. 1982. Fertilización en Oca (*Oxalis tuberosa* Mol.), con nitrógeno, fósforo y potasio en Cañar. Trabajo presentado en el III Congreso Internacional de Cultivos andinos. Ministerio de asuntos campesinos y agropecuarios-Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria – Centro Internacional de Investigación para el desarrollo. La Paz, Bolivia. p. 369-375.
49. PALACIOS Z., J. 1995. Absorción periódica de nutrientes por el cultivo de la cebolla (*Allium cepa* L.) cv. "Roja Arequipeña", bajo diferentes sistemas de fertilización en Paramonga. Tesis Ing. Agrónomo. UNALM. Lima. 80 p.

50. PARI, D. 1996. Absorción de nutrientes en camote variedad Futura bajo diferentes condiciones de fertilización. Tesis Ing. Agrónomo. UNALM. Lima, Perú. 130 p.
51. PERKIN-ELMER CORP. 1982. Analytical methods for atomic absorption spectrophotometry. The Perkin-Elmer Corporation. Norwalk, Connecticut, USA.
52. PONCE T., C. 1998. Efecto de la fertilización organo-mineral en el rendimiento de los cultivos de mashua, oca y papa en el Valle del Mantaro. Tesis Ing. Agrónomo. UNALM. Lima. 82 p.
53. POTATO PROGRAM () TUBEROSAS ANDINAS.
http://www.lamolina.edu.pe/investigacion/programa/papa/ev_TUBEROSAS.htm
54. PRIMO, E. y J. CARRASCO, 1981. Química Agrícola I. Suelos y Fertilizantes. Editorial Alambra S.A. España. 472 p.
55. QUINTANILLA C., E. 1992. Ritmo de Extracción de nutrientes por el cultivo de Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule* A.), bajo condiciones de secano-Chiara (3650 m.s.n.m.) Ayacucho. Tesis Ing. Agrónomo. UNSCH. Ayacucho. UNALM. Lima. 82 p.
56. REA, J. 1984. Germoplasma boliviano y calidad bromatológica de *Tropaeolum tuberosum*. Trabajo presentado al IV Congreso Internacional de Cultivos Andinos realizados en Pasto, Nariño, Colombia. p. 381-386.
57. RIOS CAMPOS, N. 1982. Evaluación de las características morfológicas de 21 clones de oca (*Oxalis tuberosa* Mol.). Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional de Cajamarca. 117 p.
58. RODRÍGUEZ-DELFIN, A. GOMEZ, D. FERNÁNDEZ, E. And CHANG, M. 2001. Effects of N, P and K nutrition on growth yield and nutrient uptake of mashua plants grown in sand. Acta Hort. (ISHS) 554:131-138.
http://www.actahort.org/books/554/554_13.htm
59. ROWN K. S. 1988. Economic Botany of the Andean tuber crop complex: *Lepidium meyenii*, *Oxalis tuberosa*, *Tropaeolum tuberosum* and *Ullucus tuberosus*. A dissertation submitted to the graduate faculty in biology in

- partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor in philosophy. The city University of New York. USA. p. 58-190
60. SALISBURY F. y C. ROSS. 1992. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamericana. México D.F. 759 p.
61. SÁNCHEZ L. S. 1970. Influencia de la fertilización NPK en el rendimiento y calidad de la Oca (*Oxalis tuberosa* md.): Tesis M. Sc. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de al OEA. Turrialba, Costa Rica. 61 p.
62. SPERLING, C.R. and S.R. King. 1990. Andean tuber crops: worldwide potential. P. 428-435. In: J. Janick and J.E. Simon (eds), *Advances in new crops*. Timber press, Portland, Oregon, USA.
63. STEVENSON, F. (edit) 1985. Nitrogen in agricultural soils. American Society of Agronomy. Crop science society of América. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA. 940 p.
64. TAIZ, L. Y E. ZEIGER 1991. Plant physiology. The Benjamin/ Cummings Publishing Company, inc. Redwood City, California, USA. 566 p.
65. TAKHTAJAN A. L. 1980. Outline of the classification of flowering plants (Magnoliophyta) *The Botanical Review* 46: 225-359, July-September, 1980. 225. The New York Botanical Garden. USA.
66. TAPIA, M. (edit) 1992. Avances en las investigaciones sobre tubérculos alimenticios de los Andes. Instituto Nacional de Investigación y promoción Agropecuaria. Programa Nacional de Sistemas Andinos de Producción Agropecuaria. 114 p.
67. TAPIA, M. 1999. Agrobiodiversidad en los Andes. Friedrich ebert stiftung. Lima, Perú. 118 p.
68. VALLADOLID, J. , F. BARRANTES, Y V. FLORES. 1976. Análisis de crecimiento de dos clones de mashua. (*Tropaeolum tuberosum* R et P) en Allpachaka (35000 m.s.n.m), Ayacucho. *Investigaciones- Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga*. 1 (1): 85-102.
69. VAN RAIJ, B. 1981. Avaliacao da fertilidade do solo. Instituto Agronómico do Estado de Sao Paulo. Instituto da Potassa & Fosfato – Instituto Internacional da potassa. Piracicaba, Sao Paulo, Brasil. 144 p.

70. VERDONCK, O., D.J. ZIRENA Y N. DIAZ 1975. Métodos de UNTC Análisis Químico de Suelos. Manual de Laboratorio. Cajamarca. 112 p.
71. VILLAGARCÍA, S.G. AGUIRRE Y L. TOMASSINI 1996. Manejo y Conservación de Suelos y Fertilizantes de Raíces y tuberosas andinas (RTA). Proyecto RTA. 37 p.
72. VILLAGARCÍA, S. 1986. La nutrición mineral y la fertilización de la papa en el V Curso Internacional sobre el Cultivo de Papa con énfasis en la producción de semilla. CIP-UNALM. Huancayo- Lima.
73. VILLAGARCIA, S. y AGUIRRE, G. 1994. Manual de uso de fertilizantes. Universidad Nacional Agraria La Molina. Departamento de Suelos y Fertilizantes. Lima, Perú. 142 p.
74. VILLARROEL, S. 2001. Diversidad biológica, flujos de semilla y destino de la producción de Oca (*Oxalis tuberosa*), y papalisa (*Ullucus tuberosus*) e isaño (*Tropaeolum tuberosum*). Pocanche-Ayopaya. Tesis Agronomía. Universidad Técnica de Oruro. Bolivia. 153 pág. <http://www.uto.bo/utol/tesis/agronomia/SVZ153.htm>.
75. VILLARROEL, T. 1995. Manejo campesino y caracterización de la biodiversidad de Oca *Oxalis tuberosa* y papalisa *Ullucus tuberosus* en Candelaria, Prov. Chapare del Dpto. Cochabamba. Tesis Ing. Agrónomo. Univ. Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia. 261 p.
76. VIMOS, C., C. NIETO Y R. CASTILLO, 1988. Caracterización y Evaluación preliminar agronómica de 36 entradas de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) del banco de germoplasma del INIAP. Programa de cultivos andinos. VI Congreso Internacional sobre cultivos andinos. Quito, Ecuador. p. 274-277.
77. ZAVALETA A., J. 1997. Evaluación de la variabilidad en el contenido total de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Cu, Mn, Cl, Na, Cd, Cr y Pb en 65 estiércoles nacionales. Investigación en suelos, Escuela de Post-grado. UNALM. Lima.

ANEXOS

MATERIA SECA MASHUA

ANEXO 1: ANÁLISIS DE VARIANCA DE LA ACUMULACIÓN TOTAL DE MATERIA SECA (kg/ha) POR EL CULTIVO DE MASHUA

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculado	Significancia
Bloque	2	3140235.38	1570117.69	0.87	n.s.
Tratamiento	2	10290341.79	5145170.90	2.86	n.s.
Error	4	7193231.08	1798307.77		
Total	8	20623808.25			

C.V. = 34.44%

PRUEBA DE COMPARACIÓN DE DUNCAN

Tratamiento	Promedio	Categoría
Estiércol	5071.0	A
Testigo	4126.0	A
NPK	2483.0	A

Los promedios con la misma letra no difieren significativamente.

$\alpha=0.05$

NITRÓGENO MASHUA

ANEXO 2: ANÁLISIS DE VARIANCIA DE LA ABSORCIÓN TOTAL DE NITRÓGENO (kg/ha) POR EL CULTIVO DE MASHUA

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculado	Significancia
Bloque	2	2428.9008	1214.4504	1.99	n.s.
Tratamiento	2	1618.4898	809.2449	1.33	n.s.
Error	4	2437.3732	609.3433		
Total	8	6484.7640			

C.V. = 54.98%

PRUEBA DE COMPARACIÓN DE DUNCAN

Tratamiento	Promedio	Categoría
Estiércol	60.25	A
Testigo	46.84	A
NPK	27.58	A

Los promedios con la misma letra no difieren significativamente.

$\alpha=0.05$

FÓSFORO MASHUA

ANEXO 3: ANÁLISIS DE VARIANCA DE LA ABSORCIÓN TOTAL DE FÓSFORO (kg/ha) POR EL CULTIVO DE MASHUA

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculado	Significancia
Bloque	2	79.2358	39.6179	1.25	n.s.
Tratamiento	2	111.1008	55.5504	1.75	n.s.
Error	4	127.1124	31.7781		
Total	8	317.4490			

C.V. = 47.69%

PRUEBA DE COMPARACIÓN DE DUNCAN

Tratamiento	Promedio	Categoría
Estiércol	15.387	A
Testigo	13.030	A
NPK	7.040	A

Los promedios con la misma letra no difieren significativamente.

$\alpha=0.05$

POTASIO MASHUA

ANEXO 4: ANÁLISIS DE VARIANCA DE ABSORCIÓN TOTAL DE POTASIO (kg/ha) POR EL CULTIVO DE MASHUA

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculado	Significancia
Bloque	2	2695.5401	1347.7700	1.84	n.s.
Tratamiento	2	3366.1226	1683.0613	2.30	n.s.
Error	4	2932.2030	733.0507		
Total	8	8993.8658			

C.V. = 46.80%

PRUEBA DE COMPARACIÓN DE DUNCAN

Tratamiento	Promedio	Categoría
Estiércol	81.42	A
Testigo	58.08	A
NPK	34.05	A

Los promedios con la misma letra no difieren significativamente.

$\alpha=0.05$

CALCIO MASHUA

ANEXO 5: ANÁLISIS DE VARIANCA DE LA ABSORCIÓN TOTAL DE CALCIO (kg/ha) POR EL CULTIVO DE MASHUA

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculado	Significancia
Bloque	2	27.2933	13.6466	0.25	n.s.
Tratamiento	2	60.3534	30.1767	0.54	n.s.
Error	4	222.7038	55.6759		
Total	8	310.3506			

C.V. = 27.43%

PRUEBA DE COMPARACIÓN DE DUNCAN

Tratamiento	Promedio	Categoría
Estiércol	30.64	A
Testigo	26.53	A
NPK	24.40	A

Los promedios con la misma letra no difieren significativamente.

$\alpha=0.05$

MAGNESIO MASHUA

ANEXO 6: ANÁLISIS DE VARIANCA DE LA ABSORCIÓN TOTAL DE MAGNESIO (kg/ha) POR EL CULTIVO DE MASHUA

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculado	Significancia
Bloque	2	6.6352	3.3176	1.46	n.s.
Tratamiento	2	8.9934	4.4967	1.98	n.s.
Error	4	9.0919	2.2729		
Total	8	24.7206			

C.V. = 38.89%

PRUEBA DE COMPARACIÓN DE DUNCAN

Tratamiento	Promedio	Categoría
Estiércol	4.957	A
Testigo	4.127	A
NPK	2.547	A

Los promedios con la misma letra no difieren significativamente.

$\alpha=0.05$

MATERIA SECA OCA

ANEXO 7: ANÁLISIS DE VARIANCA DE LA ACUMULACIÓN TOTAL DE MATERIA SECA (kg/ha) POR EL CULTIVO DE OCA

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculado	Significancia
Bloque	2	946651.34	473325.67	1.47	n.s.
Tratamiento	2	1005261.26	502630.63	1.56	n.s.
Error	4	1288273.11	322068.27		
Total	8	3240185.72			

C.V. = 30.11%

PRUEBA DE COMPARACIÓN DE DUNCAN

Tratamiento	Promedio	Categoría
Estiércol	2356.0	A
Testigo	1676.4	A
NPK	1620.9	A

Los promedios con la misma letra no difieren significativamente.

$\alpha=0.05$

NITRÓGENO OCA

ANEXO 8: ANÁLISIS DE VARIANCA DE LA ABSORCIÓN TOTAL DE NITRÓGENO (kg/ha) POR EL CULTIVO DE OCA

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculado	Significancia
Bloque	2	245.0508	122.5254	1.88	n.s.
Tratamiento	2	319.2658	159.6329	2.44	n.s.
Error	4	261.2806	65.3201		
Total	8	825.5974			

C.V. = 36.10%

PRUEBA DE COMPARACIÓN DE DUNCAN

Tratamiento	Promedio	Categoría
Estiércol	30.740	A
Testigo	19.147	A
NPK	17.273	A

Los promedios con la misma letra no difieren significativamente.

$\alpha = 0.05$

FÓSFORO OCA

ANEXO 9: ANÁLISIS DE VARIANCIA DE LA ABSORCIÓN TOTAL DE FÓSFORO (kg/ha) POR EL CULTIVO DE OCA

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculado	Significancia
Bloque	2	1.7792	0.8896	0.98	n.s.
Tratamiento	2	2.2806	1.1403	1.26	n.s.
Error	4	3.6178	0.9044		
Total	8	7.6776			

C.V. = 33.13%

PRUEBA DE COMPARACIÓN DE DUNCAN

Tratamiento	Promedio	Categoría
Estiércol	3.58	A
Testigo	2.56	A
NPK	2.47	A

Los promedios con la misma letra no difieren significativamente.

$\alpha=0.05$

POTASIO OCA

ANEXO 10: ANÁLISIS DE VARIANCA DE LA ABSORCIÓN TOTAL DE POTASIO (kg/ha) POR EL CULTIVO DE OCA

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculado	Significancia
Bloque	2	237.2427	118.6213	1.45	n.s.
Tratamiento	2	308.1820	154.0910	1.88	n.s.
Error	4	328.0310	82.0077		
Total	8	873.4558			

C.V. = 31.15%

PRUEBA DE COMPARACIÓN DE DUNCAN

Tratamiento	Promedio	Categoría
Estiércol	36.323	A
Testigo	28.877	A
NPK	21.993	A

Los promedios con la misma letra no difieren significativamente.

$\alpha = 0.05$

CALCIO OCA

ANEXO 11: ANÁLISIS DE VARIANCIA DE LA ABSORCIÓN TOTAL DE CALCIO (kg/ha) POR EL CULTIVO DE OCA

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculado	Significancia
Bloque	2	11.2866	5.6433	1.40	n.s.
Tratamiento	2	6.3606	3.1803	0.79	n.s.
Error	4	16.1127	4.0281		
Total	8	33.7600			

C.V. = 36.93%

PRUEBA DE COMPARACIÓN DE DUNCAN

Tratamiento	Promedio	Categoría
Estiércol	6.623	A
Testigo	4.843	A
NPK	4.837	A

Los promedios con la misma letra no difieren significativamente.

$\alpha=0.05$

MAGNESIO OCA

ANEXO 12: ANÁLISIS DE VARIANCA DE LA ABSORCIÓN TOTAL DE MAGNESIO (kg/ha) POR EL CULTIVO DE OCA

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculado	Significancia
Bloque	2	1.3524	0.6762	1.80	n.s.
Tratamiento	2	0.8852	0.4426	1.18	n.s.
Error	4	1.5048	0.3762		
Total	8	3.7426			

C.V. = 35.11%

PRUEBA DE COMPARACIÓN DE DUNCAN

Tratamiento	Promedio	Categoría
Estiércol	2.190	A
Testigo	1.536	A
NPK	1.513	A

Los promedios con la misma letra no difieren significativamente.

$\alpha = 0.05$



Fotografía 1. Tubérculos semilla de oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) con brotes.



Fotografía 2. Siembra de la mashua (*Tropaeolum tuberosum* R. et P) y oca (*Oxalis tuberosa* Mol.)



Fotografía 3. Plantas de mashua
(*Tropaeolum tuberosum* R. et P.)



Fotografía 4. Plantas de Oca
(*Oxalis tuberosa* Mol.)



**Fotografía 5. Tubérculos cosechados de mashua
(*Tropaeolum tuberosum* R. et P)**



**Fotografía 6. Tubérculos cosechados de oca
(*Oxalis tuberosa* Mol.)**

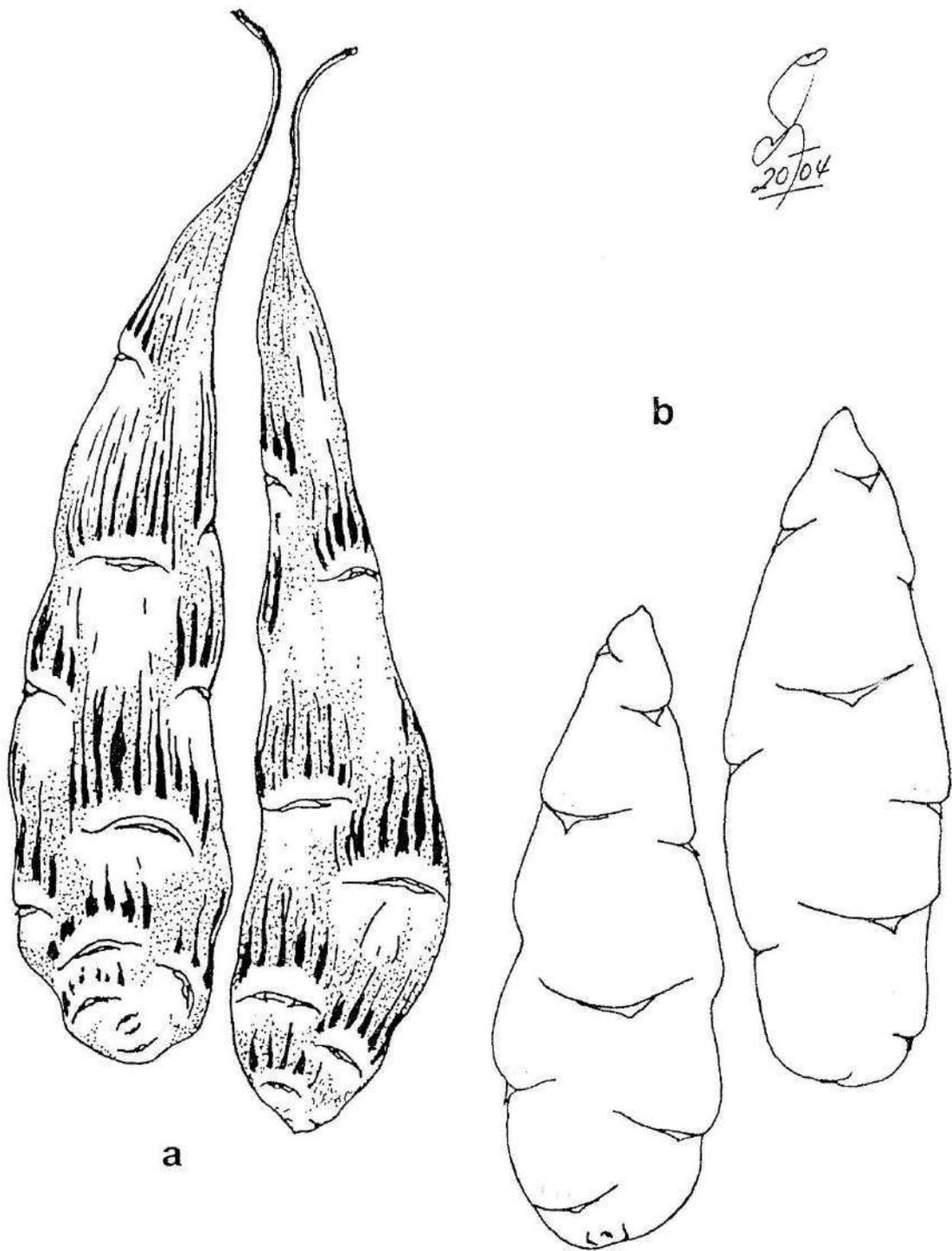


Lámina 1. Tubérculos de las especies utilizadas en el presente estudio: a) *Tropaeolum tuberosum* R. et P. "Mashua" clon "jerguita", y b) *Oxalis tuberosa* Mol. "oca" clon "amarilla".