

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA**



**EFFECTO DE LA NUTRICION MARGINAL EN EL CRECIMIENTO  
Y DESARROLLO DEL YACÓN *Smallanthus sonchifolius*  
(Poepp. y Endl.) H. Robinson BAJO CONDICIONES DE  
HIDROPONÍA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:  
BÍOLOGO**

**Presentada por:**

**PALACIOS JARA CARMEN EUSEBIA**

**LIMA – PERÚ**

**2006**

A mis padres Teodocio y Justina, por sus esfuerzos de siempre y el apoyo constante. A mis hermanos: Mélida, Carlos y al pequeño Alejandro.

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso aquí mis sinceros agradecimientos a todas las personas que colaboraron para la realización de este trabajo, en especial:

- Al profesor Msc. Alfredo Rodríguez Delfín, Director del Centro de Hidroponía por la orientación científica, enseñanzas, incentivo y paciencia.
- A la Msc. Marylu Hoyos por la valiosa colaboración estadística.
- Al Laboratorio de Biotecnología del Departamento de Ciencias de la Universidad Federico Villareal y en especial al profesor Blgo. Ranses Salas, por permitirme realizar la determinación de azúcares reductores en las raíces reservantes de yacón.
- Al Laboratorio de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de UNALM y en especial al Ing. Rubén Bazan Tapia.
- A todo el personal que trabaja en el Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral de la Universidad Agraria La Molina por la gran ayuda y apoyo.
- A los Bachilleres: Nelson Guerreros, Ginny Campos y Miguel Mallaupoma, por brindarme su incondicional apoyo, amistad y colaboración durante la ejecución de esta investigación.
- A mis amigos de siempre: Ayme, Paola, Sophia, Carlos y Enrique.

## INDICE

1. Introducción	1
2. Revisión de literatura	3
2.1. Origen	3
2.2. Clasificación botánica	4
2.3. Morfología general de la planta	5
2.4. Fisiología de la reproducción	8
2.5. Ecología	8
2.6. Distribución geográfica y zonas de cultivo	9
2.7. Manejo agronómico	10
2.8. Composición química y propiedades	11
2.8.1. Composición química de raíces	11
2.8.2. Efectos de los Fructooligosacáridos sobre la salud	14
2.8.3. Salud gastrointestinal	14
2.8.4. Composición química y propiedades de sus hojas	15
2.9. Nutrición mineral	15
2.9.1. Nitrógeno	15
2.9.2. Fósforo	17
2.9.3. Potasio	18
2.9.4. Nutrición mineral del yacón en suelos	19
3. Materiales y Metodos	22
3.1. Lugar	22
3.2. Materiales	22
3.3. Métodos	24
3.3.1. Modulo hidropónico	24
3.3.2. Soluciones marginales	25
3.3.3. Niveles nutricionales	25
3.3.4. Preparación de las soluciones marginales	27

3.3.5. Sistema de riego	29
3.3.6. Siembra	29
3.3.7. Control de plagas y Enfermedades	30
3.3.8. Análisis de Crecimiento	30
3.3.9. Análisis Foliar	31
3.3.10. Diseño Estadístico	32
3.3.11. Determinación de azúcares reductores	32
4. Resultados y Discusiones	34
4.1. Pes fresco de raíces reservantes	34
4.2. Área Foliar	40
4.3. Índice de crecimiento	42
4.4. Concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en hojas y en raíces reservantes	50
4.4.1. Nitrógeno	50
4.4.2. Fósforo	51
4.4.3. Potasio	52
4.5. Concentración de azúcares reductores en raíces reservantes a los 210 días	56
5. Conclusiones	58
6. Recomendaciones	60
7. Bibliografía	61
8. Resumen	64
9. Anexos	65

## LISTA DE GRÁFICO Y CUADROS

CUADRO N° 1	Respuestas de crecimiento de las plantas de yacón sometidos a diferentes tratamientos nutricionales.
GRAFICO N° 1	Evaluación del peso fresco (P. F.) de raíces reservantes sometidas a diferentes tratamientos nutricionales.
GRAFICO N° 2	Evaluación del peso seco (P. S.) de raíces reservantes sometidas a diferentes tratamientos nutricionales marginales.
GRAFICO N° 3	Efecto de la nutrición marginal de nitrógeno, fósforo y potasio sobre el peso seco total (P. S. T.).
GRAFICO N° 4	Efecto de la nutrición marginal sobre el Área Foliar.
CUADRO N° 2	Índices de crecimiento relativo (ICR), Asimilación neta (IAN), Área Foliar (IAF) y de Cosecha (IC).
GRAFICO N° 5	Efecto de la nutrición marginal sobre el ICR.
GRAFICO N° 6	Efecto de la nutrición marginal sobre el IAN.
GRAFICO N° 7	Efecto de la nutrición marginal sobre el IAF.
GRAFICO N° 8	Efecto de la nutrición marginal sobre el IC.
CUADRO N° 3	Concentraciones de nitrógeno, fósforo, y potasio hallados en hojas y raíces reservantes.
GRAFICO N° 9	Variación de las concentraciones de nitrógeno en hojas y raíces reservantes.
GRAFICO N° 10	Variación de las concentraciones de fósforo en hojas y raíces reservantes.
GRAFICO N° 11	Variación de las concentraciones de potasio en hojas y raíces reservantes.
GRAFICO N° 12	Concentración de azúcares reductores (mg de glucosa <sup>-1</sup> . de materia seca) en raíces reservantes a los 210 días.

## 1. INTRODUCCION

El yacón es una planta distribuida a lo largo de la cordillera de los andes desde Venezuela hasta el norte de Argentina, a altitudes que van desde pocos metros sobre el nivel del mar hasta mas de 3000 msnm.

La planta fue domesticada hace varios siglos por los pobladores de las culturas preincaicas. Hasta hace poco se cultivaba solo en los jardines y huertos caseros de la serranía para el autoconsumo y para el consumo ocasional en festividades religiosas especiales. Sin embargo, debido a que recientemente se han empezado a descubrir y difundir algunas de sus propiedades promisorias, se ha generado en la población un creciente interés por este producto. Es así como, desde hace un par de años, el yacón ha empezado a llegar a los mercados urbanos.

El yacón tiene raíces comestibles grandes, carnosas y de sabor dulce que generalmente se consumen crudas, directamente o en ensaladas, pero que aun cocidas mantiene su sabor. El sistema subterráneo está compuesto por raíces de absorción y fijación, raíces tuberosas o de reserva, tallos subterráneos responsables para la propagación de la especie.

La planta del yacón almacena en sus órganos subterráneos significativas cantidades de fructooligosacáridos del tipo inulina (Goto et al.1995). Estos carbohidratos han despertado el interés en la industria alimentaría por ser considerados alimentos funcionales que actúan en el aumento de bifidobacterias en el intestino. Además de eso, son compuestos que presentan un bajo valor calórico con gran poder edulcorante (entre 30% a 50% del azúcar de mesa), siendo una excelente alternativa para la sacarosa en dietas

especiales, como por ejemplo para diabéticos (Nines, 1999). Los fructooligosacáridos tienen un efecto favorable en la disminución de los niveles del colesterol y triglicéridos en la sangre de personas de mediana edad (Jackson *et al*, 1999).

El estudio sobre el desarrollo de la planta de yacón es relevante en la determinación de su ciclo de cultivo y la época ideal de la colecta de las raíces tuberosas, debe estar asociada al momento de elevada productividad (mayor producción de masa fresca por área) y elevado contenido de carbohidratos de reserva, por tal motivo; el presente trabajo de investigación permitirá dar a conocer información sobre la fisiología de este cultivo que aun es insuficiente, principalmente en lo relacionado a sus requerimientos nutricionales; ya que se conoce poco sobre los niveles críticos y óptimos los elementos minerales en los tejidos de la planta.

También se desconoce si este cultivo es capaz de extraer nutrientes bajo condiciones marginales principalmente nitrógeno, fósforo y potasio.

Los objetivos de la siguiente investigación fueron:

1. Analizar mediante parámetros fisiológicos al yacón - ecotipo amarillo, proveniente de la Provincia de Huacaybamba, Región Huanuco; bajo condiciones nutricionales marginales.
2. Establecer los niveles de extracción de nitrógeno, fósforo y potasio en hojas y raíces de plantas de yacón.
3. Establecer en qué grado la nutrición marginal influye en la producción de raíces y concentración de glucosa sobre las plantas.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

El yacón es una especie de la familia Asteracea (también llamada Compositae) y su nombre científico es *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson.

### 2.1 ORIGEN

El primer registro del yacón data de 1615, cuando el cronista mestizo Guaman Poma de Ayala lo incluyó en una lista de 55 cultivos nativos de los andes. En 1653, el sacerdote y cronista español Bernabé Cobo se refirió al yacón como “una fruta agradable que se consume fresca, y con una capacidad de resistir la exposición al sol varios días después de la cosecha, tornándose, por el contrario, de sabor más agradable”.

Safford (1917), citado por León (1964), menciona haber encontrado en las tumbas preincas en Perú.

Del mismo modo O' Neale y Whitaker citados por Cárdenas (1989), habrían identificado representaciones de las raíces características del yacón en un bordado pre-histórico de Nazca. Las áreas de siembra fueron incrementadas en la época del imperio de los incas. Desde su origen los “Andes Centrales del Perú y Bolivia, expandiéndose hacia Ecuador, Colombia y Sur de Venezuela hasta el Norte de Argentina y Chile. Las zonas comprendidas entre estos países, con el propósito de aprovechar su producto (raíces), consumiéndolas en diferentes faenas agrícolas y en construcción de sus obras de

infraestructura como son: puentes, caminos andenes, palacios; para calmar la sed, el cansancio y aliviar diversas enfermedades (F. H. Poma de Ayala)

## 2.2 CLASIFICACIÓN BOTANICA

La posición taxonómica es la siguiente:

División: fanerógamas o Antofitas

Clase: Dicotiledóneas

Familia: Compositae o Asteraceas

Subfamilia: Asteroidea

Genero: *Smallanthus*

Especies: *S. sonchifolius*.

Nombres comunes: yacón, llakuma, llacjon (Quechua); aricama, aricama (Aymara); jacón, llacon, llamón, arboloco, jiquima, jikima, jiquimilla (Español); yacón strawberry (Ingles); poir de terre cochet (Francés); erdbirre (Alemán); polinia (Italiano); ipio (Bolivia y Brasil).

### 2.3 MORFOLOGÍA GENERAL DE LA PLANTA

- **La Planta:** es herbácea perenne, mide de 1 a 2.5 m de alto. Si proviene de semilla, consta de un solo tallo principal, a veces ramificado desde la base, otras veces, solo con ramas pequeñas en la parte superior. Si la planta proviene de propágulos o semilla vegetativa, consta de varios tallos (Seminario *et al.*, 2003).
- **Tallos:** son cilíndricos, pilosos y huecos, de color verde a púrpura, con un diámetro hasta 2.05 cm. en la parte mas desarrollada (base) (Nina, 1996).
- **Hojas:** son pecioladas, opuestas y decusadas, de laminar triangular, de base trunca, hastada, cordada (acorazonada) o subcordada, de color verde con abundante pubescencia en el haz y en el envés con pilosidad de 1 a 1.5. El borde de la lamina es aserrado algo festoneado en hojas tiernas, llegan a tener una longitud de 22 cm. y un ancho de 15 cm (Nina, 1996).
- **Inflorescencia:** la rama floral es terminal de ramificación dicásica, compuesta de inflorescencias llamadas capítulos o cabezuelas. Las flores femeninas se ubican en el verticilio externo, cuya parte mas vistosa y coloreada de amarillo es la lígula. Las flores masculinas son tubulares y más pequeñas, se ubican en los verticilios internos de los receptáculos.
- **Fruto y semilla:** el fruto es un aquenio, que procede de un ovario inferior con más de un carpelo. El pericarpio es delgado y seco a la madurez, externamente presenta estrías longitudinales que forman surcos paralelos. La semilla es exalbuminosa, en ella, el albumen o endospermo ha

desaparecido y todas las sustancias de reserva se concentran en los cotiledones.

- **La cepa o corona:** es un órgano subterráneo sobre el cual se desarrollan abundantes yemas vegetativas. Se forman por el engrosamiento de la parte del tallo que está dentro de la tierra y que esta unida a las raíces. Sus tejidos almacenan sustancias de reserva en forma de carbohidratos simples y fructooligosacáridos, los cuales posiblemente sirven de alimento a las yemas cuando éstas van a brotar.
- **La raíz reservante:** al principio tienen dos extremos agudos, pues están conectadas al tallo por un cuello muy estrecho y el ápice es cónico, pero este se va rellorando y al cabo de cierto tiempo la raíz es elipsoidal o casi esférica (León, 1964).

Su producción puede ser hasta de 23 raíces tuberosas con un diámetro de 12 cm. y una longitud de 30 cm. con 0.3 cm. de longitud de ápice de la raíz. Su peso puede fluctuar fácilmente entre los 50 y 100 gramos, pero mayormente están entre los 300 y 600 gramos.

El patrón de crecimiento secundario de la raíz, el cual determina su engrosamiento, se produce por un incremento en la actividad del cambium vascular que se ubican entre el xilema y el floema. Este cambium vascular consiste inicialmente de franjas separadas, formadas por la división de células entre el xilema primario y el floema primario. Posteriormente, la franja se junta y encierran al xilema primario. Las células que más se dividen y crecen son las del parénquima del xilema. Por ello, el tejido xilemático ocupa la mayor parte de la raíz, (Seminario *et al.*, 2003).



Fig. 1

PLANTA ENTERA DE YACÓN

## 2.4 FISILOGIA DE LA REPRODUCCION

Seminario *et al.*, 2003 sostiene que el funcionamiento de las flores y la producción de las semillas son aspectos que permanecen sin conocerse plenamente. Una característica del yacón es la protoginia, es decir, la apertura y receptividad de las flores femeninas antes que las masculinas liberen el polen. Al respecto, Lizárraga *et al* (1997), obtuvo dos veces más semillas en plantas dejadas a libre polinización, que en plantas cubiertas con bolsas de malla y de papel.

La posibilidad de que el yacón sea de polinización cruzada fue sugerida por Grau y Rea (1997) quienes argumentan que la mayoría de cultivos permanentes son de polinización cruzada y que este comportamiento está presente en el girasol (*Helianthus annuus*) y topinambur (*Helianthus tuberosus*), dos especies que pertenecen a la misma tribu que el yacón.

Seminario J, Valderrama M. 2003, menciona el sustento de la alogamia del yacón, las características del grano de polen, que es viscoso y presenta acúleos o espinas en la superficie.

## 2.5 ECOLOGÍA

Seminario *et al.*, 2003, menciona que las mejores condiciones para el desarrollo del yacón se encuentran en el rango altitudinal de 1100 a 2500 msnm; sin embargo, el yacón ha demostrado ser un cultivo con bastante adaptación.

Espinoza, 2002 sostiene que el yacón crece desde el nivel del mar hasta 3,600 msnm.

A nivel del mar se siembra coincidiendo con los meses invierno, y como en la parte mas alta, hay serios problemas por la presencia de heladas, la siembra debe iniciarse en los meses de primavera. Requiriendo temperaturas frías a templadas, comprendido entre 14 ° C a 18 °C para el período de crecimiento. Para el período de maduración y llenado de raíces se necesita una temperatura de 20 a 28°C casi constante, que representa días largos, calurosos - húmedos y finalmente secos.

La planta es indiferente a exigencias de las condiciones de la luz para la formación de los tallos y las raices (Mendieta, 2005). Además, lo describe como de días neutrales para la formación de tallos y raices reservantes.

Los requerimientos de agua están entre los 650 y 1000 mm de lluvias anuales. Se comporta mejor en suelos sueltos, francos a franco arenosos, con pH desde ligeramente ácido hasta el neutro. Los suelos de bosque son excelentes para el yacón, Seminario, *et al.*, 2003.

## **2.6 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y ZONAS DE CULTIVO**

En el Perú confirmamos su cultivo en el área altoandina de 18 regiones (de un total de 24 que tiene el país): Piura, Cajamarca, Amazonas, Lambayeque, La Libertad, San Martín, Ancash, Huánuco, Lima, Junín, Huancavelica, Ayacucho, Pasco, Apurímac, Arequipa, Cusco y Puno.

En el Ecuador, el yacón predomina creciendo en Loja, Azuay, Cañar, Bolívar, Chimborazo, Pichincha, Imbabura y Carchi. (Grau & Rea 1997). En Bolivia se cultiva en los departamentos de Tarija, Santa Cruz, Chuquisaca, Cochabamba y La Paz. En Argentina Zardini 1991, reporta la presencia de algunas raíces al noreste, en las provincias de Salta y Jujuy, donde se cultiva escasamente.

León (1964) y Cárdenas (1989), basados en sus propias observaciones y en la de exploradores antiguos como Bukasov, indican que el yacón se encuentra en estado cultivado y silvestre en Venezuela y Colombia; sin embargo, recientes exploraciones tienden a no confirmar la presencia de yacón en Colombia.

## **2.7 MANEJO AGRONÓMICO**

Preparación de terreno y siembra: la siembra se hace en líneas o surcos superficiales a 0.80 a 1 m y se pone un trozo de cepa, un esqueje o nudo enraizado cada 0.50 a 0.60 m. Se puede sembrar todo el año, si es que se dispone de agua de riego. De lo contrario se siembra en los meses de lluvias.

Riegos: si se siembra en época seca requiere riegos frecuentes y ligeros. La frecuencia esta determinado por el tamaño o edad de la planta, textura del suelo, el clima y la región geográfica.

Aporque: no es una labor indispensable, pero en los primeros deshierbos debe aplicarse algo de tierra alrededor de la planta, esto la fortalece y estimula la salida de nuevos tallos

Abonamiento: solo se recomienda en suelos pobres. Es preferible usar abonos orgánicos como humus, compost, estiércol, guano de islas.

Problemas abióticos: en lugares donde, caen heladas, estas destruyen las hojas y tallos tiernos, pero la planta rebrota. La sequía causa daños cuando es prolongada, pero resiste mejor que otras plantas.

Cosecha de raíz: se realiza entre los 8 y 12 meses de acuerdo al lugar y el cultivar. El indicador es el amarillamiento de las hojas, pero sobre todo las inflorescencias y tallos empiezan a secarse. Otro indicador para el agricultor es cuando aparecen rajaduras en el suelo alrededor de la planta.

## **2.8 COMPOSICIÓN QUÍMICA Y PROPIEDADES**

### **2.8.1 Composición química de las raíces**

El yacón es una de las raíces reservantes comestibles con mayor contenido de agua. Según diversos autores, entre 83 y 90 % del peso fresco de las raíces es agua. En términos generales, los carbohidratos representan alrededor del 90% del peso seco de las raíces recién cosechadas, de los cuales entre 50 y 70% son fructooligosacáridos (FOS). El resto de carbohidratos lo conforman la sacarosa, fructuosa y glucosa (Ohyama *et al.* 1993, Hermann *et al.* 1999). Sin embargo, la composición relativa de los diferentes azúcares varía significativamente debido a diferentes factores como el cultivar, la época de siembra y cosecha, tiempo y temperatura en poscosecha, entre otros.

Guardiola (1990) sostiene que la acumulación en hojas se considera una reserva transitoria asociada a una fijación fotosintética del CO<sub>2</sub> superior al transporte hacia el resto de la planta, situación que en otras plantas provoca la

acumulación de almidón en el cloroplasto. En los órganos de perpetuación y en los tallos, las fructosas son reservas permanentes que se movilizan durante la brotación y la floración respectivamente.

Las plantas con frúctanos son especialmente abundantes en áreas con lluvias moderadas o esporádicas. Esto podría ser la explicación de que la fructo-acumulación es una adaptación a la sequía. Los frúctanos son solubles en agua, en contraste con el almidón, y es por esto osmóticamente activo.

Frente a la acumulación, se ha especulado que la fructosa podría conferir mayor tolerancia a las bajas temperaturas invernales debido a la depresión que provocaría en el punto de congelación. Sin embargo este efecto no sería mayor de 0.5 °C, lo que unido al hecho de que la planta acumuladoras de fructosas coexisten en su zona de origen con las plantas acumuladoras de almidón parece contradecir esta suposición.

Tabla N° 1 Composición química promedio de 10 entradas de yacón procedentes de Perú, Bolivia, Ecuador y Argentina (en relación a 1 Kg de materia comestible de raíz fresca)

<b>Variable</b>	<b>Promedio</b>	<b>Rango</b>
Materia seca (g)	115	98 – 136
Carbohidratos totales (g)	106	89 – 127
Frúctanos (g)	62	31 – 89
Glucosa libre (g)	3.4	2.3 – 5.9
Fructuosa libre (g)	8.5	3.9 – 21.1
Sacarosa libre (g)	14	10 – 19
Proteína (g)	3.7	2.7 – 4.9
Fibra (g)	3.6	3.1 – 4.1
Lípidos (mg)	244	112 – 464
Calcio (mg)	87	56 – 131
Fósforo (mg)	240	182 – 309
Potasio (mg)	2282	1843 – 2946

Fuente: Hermann *et al.* (1999)

## Carbohidratos

Tabla N° 2 Composición relativa de los azúcares

Carbohidratos	%
FOS	70
Sacarosa	15
Fructuosa	10
Glucosa	5
Total	100

Fuente: Manrique, (2002)

Existe una confusión de términos cuando se hace referencia al tipo de carbohidratos predominante en las raíces de yacón. El yacón tiene solo fructooligosacáridos (Goto *et al.* 1995) y no inulina como se menciona en los diferentes tipos de literatura. Además ello es ratificado en la publicación de Ohyama *et al* 1990 que determinó que el yacón tiene en realidad fructooligosacáridos (FOS).

La diferencia entre inulina y los FOS son muy marcados. La inulina casi no tiene sabor dulce, su consistencia especial y su baja solubilidad relativa en agua la convierten en un sustituto excelente de la grasa para la elaboración de varios tipos de alimentos, como helados y postres. Los FOS en cambio son muy solubles en agua, tienen un ligero sabor dulce (entre 30 a 50% del poder edulcorante del azúcar de mesa o sacarosa) y eventualmente pueden ser utilizados como sustitutos hipocalóricos del azúcar común.

Tabla N° 3 Valor calórico y poder edulcorante de los fructooligosacáridos (FOS) en comparación con los azúcares mas comunes y algunos edulcorantes sintéticos.

Azúcar	Origen	Contenido calorías (Kcal/g)	Poder edulcorante
FOS	Natural	1- 1.5	0.3
Glucosa	Natural	4	0.7
Fructuosa	Natural	4	1.7
Sacarosa	Natural	4	1

Fuente: Seminario *et al.* (2003)

Con la finalidad de hacer efectiva la comparación, el valor de 1 al poder edulcorante de la sacarosa o azúcar de mesa.

### 2.8.2 Efectos de los fructooligosacáridos sobre la salud

La mayoría de propiedades atribuidas a los FOS han sido comprobadas solo en roedores (ratas y hámster). Los estudios realizados en seres humanos son escasos (Seminario *et al.* 2003)

### 2.8.3 Salud gastrointestinal

Como todo fructano, los FOS no pueden ser metabolizados directamente por el tracto digestivo humano debido a que este carece de las enzimas necesarias para degradar los enlaces glucosídicos  $\beta$  (2→1) y/o  $\beta$  (2→6) que mantienen unidas las moléculas de fructuosa. De esta forma, cuando una persona ingiere

FOS, estos se desplazan en casi todo su recorrido por el tracto digestivo sin ser modificados. Cuando los FOS alcanzan la última porción del intestino grueso (el colon), son fermentados por un grupo especializados de bacterias que forman parte de la microflora intestinal. Estas bacterias son conocidas con el nombre de probióticos y son asociadas con una serie de efectos benéficos sobre la salud humana (Seminario, *et al.* 2003).

#### **2.8.4 Composición química y propiedades de sus hojas**

La composición química de las hojas de yacón es poco conocida. A diferencia de las raíces del yacón, que tienen fructooligosacáridos como principal componente químico, sus hojas tienen tan solo trazas de ellos (Fukai *et al.* 1997). Se sabe que contiene sesquiterpenos, lactosas, flavonoides y un grupo de sustancias aun no identificadas. El principio activo no ha sido identificado aún, sin embargo, los autores sugieren que éste actúa mejorando la concentración de insulina en la sangre (Seminario *et al.* 2003).

### **2.9 NUTRICION MINERAL**

#### **2.9.1 NITRÓGENO**

El nitrógeno es un elemento plástico y, por consiguiente, es esencial como constituyente de una gran variedad de compuestos orgánicos estructurales (proteínas) y, aun, funcionales (enzimas). Su presencia en moléculas como el ADN, el ARN, compuestos de alta energía (ATP), moléculas de alto potencial reductor ( $\text{NADPH} + \text{H}^+$  y  $\text{NADH} + \text{H}^+$ ), clorofilas, etc. (Gil, 1995).

En el suelo, se halla como  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NH}_3$ ; pero las plantas pueden absorber el nitrógeno en forma de ion nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) o como ion amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), (Bidwell, 1983).

Las plantas responden de varias maneras a suministros altos o bajos de nitrógeno.

Mientras se hallan en la zona subóptima, la asimilación del mismo determina un aumento de los niveles de proteínas y del crecimiento en general, con lo que aumenta el índice de área foliar (IAF) y por consecuencia la tasa fotosintética. De modo proporcional van incrementándose las rutas sintéticas de glúcidos y lípidos, por lo que la composición del vegetal, prácticamente no varía, pero su producción aumenta (Gil, 1995).

La sobreabundancia causa con frecuencia una gran proliferación de tallos y hojas, pero determina una reducción de frutos en plantas de cultivos, por ejemplo las papas reaccionan a la sobre fertilización nitrogenada produciendo vástagos grandes, verde-oscuro y de apariencia saludable pero de raíces escasas y tubérculos más pequeños (Barceló, 2001).

Las plantas deficientes son débiles y muestran atrofia, sus hojas son de pequeño tamaño y; en ocasiones, presentan morfologías diferentes. Generalmente se observa un amarillamiento de los limbos foliares (clorosis) debido a la falta de clorofilas y los tallos se suelen volver rojos o púrpuras por la excesiva formación de antocianos ya que los glúcidos, al no consumirse como esqueletos carbonados para la síntesis de compuestos nitrogenados, derivan su metabolismo hacia estos compuestos secundarios (Gil, 1995).

Las hojas jóvenes no muestran inicialmente estos síntomas, porque el nitrógeno puede ser movilizado desde las hojas viejas. La clorosis es el síntoma más característico y que, debido a la gran movilidad de este elemento, aparece primero en las hojas viejas.

### 2.9.2 FÓSFORO

El fósforo se encuentra en los síntomas geológicos y biológicos en forma de iones fosfatos y ácido ortofosfórico. Las formas asimilables por parte de la planta son el fosfato monobásico ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) y el bibásico ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ); el primero es de mayor utilización que el segundo (Rodríguez, 1996).

En las plantas con buena nutrición, la mayor parte del fósforo se halla en las vacuolas (85-95%) (Gil, 1995).

El fósforo juega un papel importante en la bioenergética de la planta al ser incorporado para formar ATP vía fosforilación fotosintética u oxidativa, cuya función es la conservación, transporte y utilización de la energía que se desprende durante la respiración (Vejarano, 1982).

Favorece la maduración temprana de los cultivos, especialmente cereales y papa, reduciendo el crecimiento vegetativo. Adelanta y aumenta la floración y la producción de frutos y semillas. Los síntomas de deficiencia de fósforo son: pérdidas de hojas maduras, desarrollo de antocianinas en tallos y nervaduras foliares y, en casos extremos, desarrollo de áreas necróticas en diversas partes de las plantas. Son de lento desarrollo y a menudo achaparradas (Barceló, 2001).

### 2.9.3 POTASIO

La forma de absorción de potasio por la planta es la de catión monovalente ( $K^+$ ). La máxima disponibilidad se encuentra en el intervalo 6.5 – 7.5 de pH; por encima, decae por competencia con los iones  $Ca^{+2}$  y, sobrepasado el pH de 8.5, vuelve a aumentar ya que los suelos alcalinos son generalmente abundantes en sodio y potasio (Gil, 1995).

La absorción en el suelo esta relacionada a la concentración de otros cationes, como es el caso del magnesio ( $Mg^{++}$ ), por problemas de competencia iónica, en la cual son absorbidos con mayor facilidad y velocidad los cationes que tienen una sola carga positiva que los que tienen mayor cantidad (Rodríguez, 1996).

El potasio actúa en la activación de los tejidos meristemáticos. Las partes jóvenes son siempre ricas en potasio, mientras que en las semillas y tejidos ya desarrollados su proporción es relativamente baja. Es un elemento muy móvil en las plantas (Vejarano, 1982).

El potasio actúa activando enzimas relacionadas con el metabolismo y translocación de carbohidratos, actúa activando las enzimas que intervienen en la síntesis de proteínas, afectada por sus niveles en diversas etapas de la traducción, incluyendo la unión de los RNA a los ribosomas (Vejarano, 1982).

El  $K^+$  interviene como elemento importante en la circulación de asimilados por su acción en las cribas de los tubos cribosos, permitiendo superar la resistencia al flujo que determina estas restricciones del área de conducción y en la lignificación de las vainas vasculares. Asimismo, interviene en la resistencia de los vegetales a la tensión hídrica ya que los altos niveles protectores de prolina pueden ser sustituidos por elevadas concentraciones de  $K^+$  (Gil, 1995).

La deficiencia de potasio afecta a procesos como la respiración, la fotosíntesis, la síntesis de clorofila y el contenido de agua en las hojas (Gil, 1995). El síntoma más característico, es la aparición de un moteado de manchas cloróticas seguido por el desarrollo de zonas necróticas en la punta y en los bordes de las hojas. Debido a la movilidad de este elemento, los síntomas aparecen primero en las hojas maduras; en algunas especies las hojas presentan coloración verde oscura o verde azulada confundiendo con la deficiencia de fósforo (Bidwell, 1983). Además, se manifiesta con frecuencia por hábitos de crecimiento en roseta, o achaparamiento. La reducción del crecimiento caulinar, el debilitamiento del tallo y la baja resistencia a patógenos, son síntomas de las plantas deficientes (Barceló, 2001). Otras consecuencias son la susceptibilidad al ataque de los hongos (enfermedades criptogámicas) pues disminuye la presión osmótica de las células, favoreciendo la entrada de los patógenos.

#### **2.9.4 NUTRICIÓN MINERAL DEL YACÓN EN SUELOS**

Vilhena *et al* (2003) obtuvo entre los 8 y 9 meses después de la siembra los mayores valores de peso subterráneo con una productividad media de 29 Tm/ha a los 30 días después de la siembra, aplicó 1.2 Tm/ha de abono (estiércol de ganado) y 1.5 Tm/ha de abono químico NPK con la formulación 4-14-8, respectivamente. Se aplicó abono químico NPK de superficie a los 180 días después de la siembra con 1.5 Tm/ha con la formulación de 16-0-12.

En la tesis de Melgarejo (1999), se midió el potencial productivo de 24 entradas de yacón bajo condiciones de Oxapampa – Perú, encontró que la entrada P-13-85 fue de mayor rendimiento con 7.73 k/ planta, mientras ARB-5073 solo

obtuvo 0.7 k/planta. La formulación de la fertilización fue de 200-180-180. La primera fertilización se realizó a los 30 días de la siembra, correspondiendo 50% de nitrógeno, 100% de  $P_2O_5$  y 100% de  $K_2O$ ; mientras que la segunda fertilización se realizó a los 90 días, incorporando el otro 50% de nitrógeno restante.

En la evaluación del rendimiento productivo de 25 entradas de yacón mediante propagación por estacas en Oxapampa – Pasco, por Buendía (2001), donde se aplicó guano de isla a razón de 1560 kg/ha, el peso y número de raíces comerciales fueron de 5.5 a 2.3 kg/planta y de 10.9 a 6.6 raíces, respectivamente. Existiendo, entre el peso y el número de raíces comerciales, una alta correlación y regresión, esto quiere decir que a mayor número el peso de raíces comerciales es mayor. La altura de la planta de los ecotipos más altos estuvo entre 1.6 y 1.4 m.

Tsukihashi *et al* 1991 mencionado por Amaya 2000, realizó experimentos en Japón, para determinar los efectos de adición nitrogenada y potasita sobre el desarrollo y la producción del yacón, utilizaron dosis de 0, 10 y 20 kg de N, y 0, 20 y 40 kg de  $K_2O$  en suelos con un alto coeficiente de absorción de  $P_2O_5$ . Los autores observaron que el desarrollo de las plantas en su fase inicial fue lento en todos los tratamientos, tornándose más rápidos al final del cultivo.

León (1964) señala que el estudio realizado en Europa por Calvino obtuvo raíces tuberosas que pasaron de 180 hasta 500 gr cada una; esto daría unos 380 quintales de tubérculos frescos por hectárea. En Bolivia informa que el peso de una raíz es de alrededor de 2 kg, y que se obtiene generalmente de 4 a 5 y hasta 20 raíces por planta.

Nina (1996) al realizar avances en la EE Andenes en cuanto a suelos cultivables recomienda la fórmula de abonamiento 140-120-100, las fuentes de NPK utilizados son nitrato de amonio 33.5 %, superfosfato triple de calcio 46%, cloruro de potasio 60%, con el nitrógeno fraccionado, 50% a la siembra y el otro 50% a los 40 días posteriores junto con el aporque.

Espinoza (2002), sugiere utilizar:

- Para suelos moderadamente fértiles, el nivel de fertilización de N, P y K es de 80 – 60 – 30 por Ha. Previo análisis del suelo.
- Para suelos en procesos de explotación con tecnología media, el nivel de abonamiento de NPK es de 140-120-60 por HA especialmente para suelos de la región de Huanuco. Esta formula de abonamiento determina usar 7 sacos de fosfato diamónico (46% y 18% de P-N), 3 sacos de urea agrícola (46% de N) y 2 sacos de cloruro de potasio (60% de K).

### 3. MATERIALES Y METODOS

**3.1 Lugar:** La presente investigación se realizó en las instalaciones del Módulo de Hidroponía de la Universidad Nacional Agraria La Molina, en el distrito de La Molina, Lima–Perú. La Molina está ubicada geográficamente a 240 msnm. , 12°05 de latitud Sur y, 76°51 de longitud Oeste.

#### 3.2 Materiales:

- Material vegetal: se usaron plantas de yacón del ecotipo “amarillo” proveniente de la Provincia de Huacaybamba, Región Huanuco. Las plantas fueron obtenidas del rizoma (corona).
  
- Sustrato: Arena de cantera lavada, de 0.5 – 1.0 mm de diámetro
  
- Materiales:
  - Contenedores de madera de 1.5 x 1.0 x 0.3 m
  - Plástico grueso negro de 8 micras
  - Tubos de PVC de 1” de diámetro
  - Llaves compuerta de 1” de diámetro
  - Tanques de plástico de 60 litros
  - Jarras, Baldes, vasos (50 ml), Aspensor
  - Malla mosquitero plástica
  - Silicona, Cinta cloth duck tape, Pegamento para PVC

- Equipos de medición
  - Balanza digital de precisión
  - Potenciómetro y Conductímetro
  - Estufa de temperatura controlada
  - Espectrofotómetro de absorción atómica
  - Balanza analítica y Centrifuga (0 – 8000 rpm)
  - Equipo de micro-kjeldahl
  
- Fertilizantes:
  - Nitrato de potasio ( $\text{KNO}_3$ ) 13.5% N, 44 – 45%  $\text{K}_2\text{O}$
  - Nitrato de amonio ( $\text{NH}_4 \text{NO}_3$ ) 33% N
  - Superfosfato triple de calcio 45% $\text{P}_2\text{O}_5$ , 20% CaO
  - Sulfato de magnesio ( $\text{MgSO}_4$ ) 20% MgO, 13% S
  - Sulfato de potasio ( $\text{K}_2 \text{SO}_4$ ) 50%  $\text{K}_2\text{O}$ , 17% S
  - Quelato de hierro (Fe – EDDHA) 6%Fe
  - Ácido bórico (PM: 62)
  - Sulfato de cobre (PM: 249.7)
  - Sulfato de zinc (PM: 287.6).
  - Sulfato de manganeso
  - Molibdato de amonio
  
- Reactivos para la determinación de azúcares reductores (por Somogy & Nelson, 1945)
  - Hidróxido de bario
  - Sulfato de zinc
  - Cúprico alcalino
  - Arsénico molibdico

**Reactivo A de Somogy & Nelson**

4 g  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 36 g  $\text{Na}_4\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  c.s.p. 200 ml

**Solución B de Somogy & Nelson**

12 tartrato de Na y K, 24.0 g  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 16.0 g  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  c.s.p.  
800 ml

**3.3 METODOS****3.3.1 Módulo Hidropónico**

Para el estudio de la nutrición marginal de N, P y K en plantas de yacón se empleó un sistema de cultivo hidropónico, los pasos que se siguieron para instalar dicho módulo fueron los siguientes:

- Delimitar el terreno en un área de 12mx10m. dentro del modulo de hidroponía para la distribución de las 12 contenedores (3/tratamiento y 1/ testigo) de dimensiones 1.5x1.0x0.3m. (Fig.2)
- Para impermeabilizar las camas, y así evitar la pérdida de la solución nutritiva, fueron forradas internamente con doble plástico grueso.
- Se colocó un drenaje, empleando un tubo de PVC de 10 cms de longitud, en uno de los lados de la base inferior del contenedor y fue reforzado con cinta cloth duck tape por ambos lados del plástico, para evitar fuga de solución nutritiva.
- Se selló con silicona la unión entre el plástico reforzado y el tubo de drenaje para impermeabilizar totalmente la cama y así evitar la perdida de la solución.

- Los tubos de drenaje fueron protegidos con malla mosquitero para evitar que las partículas pequeñas del sustrato obstruyan los agujeros.
- Finalmente, cada cama fue llenada con arena de cantera previamente lavada.

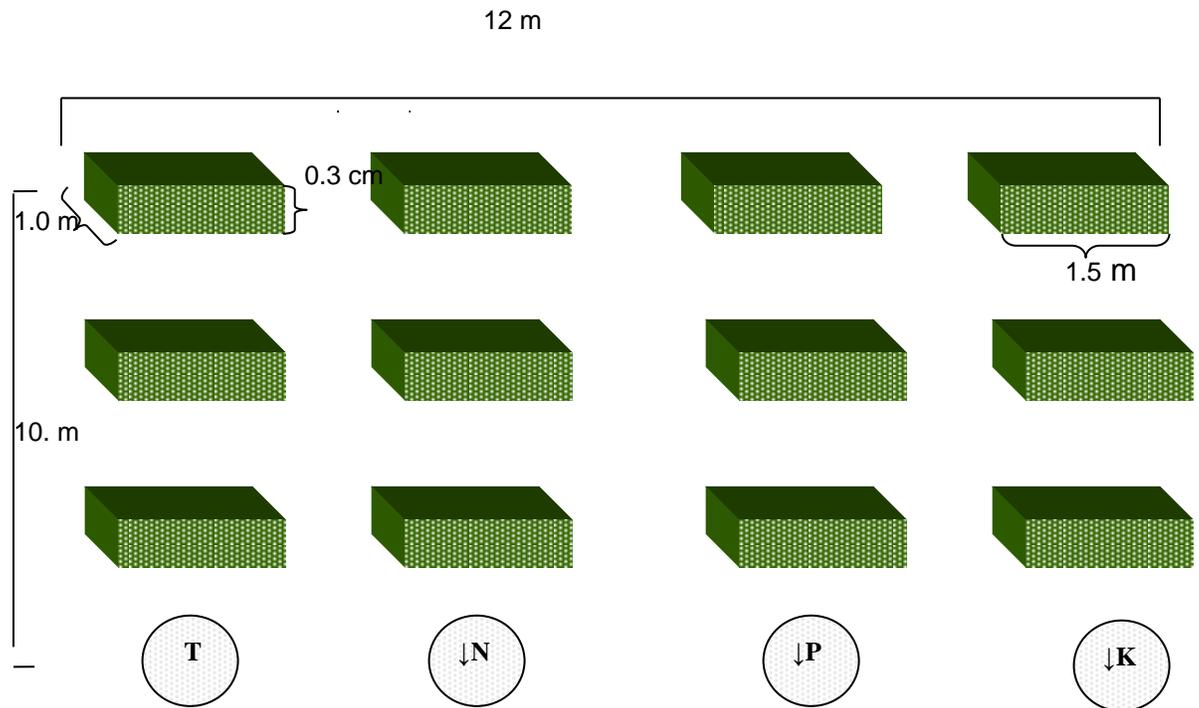
### 3.3.2 Soluciones Marginales

Las soluciones marginales fueron preparadas modificando la solución hidropónica La Molina para cultivo de papa (Solución Hidropónica Papa) y bajando su concentración en nitrógeno, fósforo y potasio (Rodríguez, A. *et. al* 2004).

### 3.3.3 Niveles nutricionales

Los niveles de nitrógeno, fósforo y potasio en estudio fueron:

Niveles	Concentración de nutrientes		
	N (ppm)	P (ppm)	K (ppm)
<b>Testigo</b>	150	35	260
<b>Solución baja en nitrógeno (↓ N)</b>	100	35	260
<b>Solución baja en fósforo (↓ P)</b>	150	20	260
<b>Solución baja en potasio (↓ K)</b>	150	35	100



T: Solución Testigo

↓N: Solución baja en Nitrógeno

↓P: Solución baja en Fósforo

↓K: Solución baja en Potasio

**Fig. 2** DISPOSICIÓN DE LOS CONTENEDORES Y LOS TRATAMIENTOS

### 3.3.4 Preparación de la solución marginales

El agua empleada en el experimento tiene las siguientes características químicas:

C.E.	mMhos/cm	0.93
pH		7.0
Calcio	me/l	8.12
Magnesio	me/l	1.40
Sodio	me/l	1.36
Potasio	me/l	0.10
SUMA DE CATIONES		10.98
Nitratos	me/l	0.16
Carbonatos	me/l	0
Bicarbonatos	me/l	3.28
Sulfatos	me/l	4.94
Cloruros	me/l	1.50
SUMA DE ANIONES		9.88
Sodio %		12.38
RAS		0.62
Boro	ppm	0.4
Clasificación		C3 – S1*

Análisis obtenido del laboratorio de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes.  
UNALM. 2003

\* son aguas utilizables para el riego con precauciones (Cadaia, 1997).

Para preparar 1,000 L de las diferentes soluciones, se usaron los siguientes fertilizantes (en gramos)

FERTILIZANTES	TESTIGO	BAJO EN NITROGENO	BAJO EN FOSFORO	BAJO EN POTASIO
<b>SOLUCION A</b>				
KNO <sub>3</sub>	550	550	550	130
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	250	92	250	430
Superfosfato triple de calcio	180	180	100	180
<b>SOLUCION B</b>				
MgSO <sub>4</sub>	220	220	220	220
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	120	120	120	120
Fe – EDDHA	16	16	16	16
Sulfato de magnesio	2	2	2	2
Ácido bórico	1.2	1.2	1.2	1.2
Sulfato de zinc	0.68	0.68	0.68	0.68
Sulfato de cobre	0.4	0.4	0.4	0.4
Molibdato de amonio	0.08	0.08	0.08	0.08

Las soluciones marginales aportaron por litro las siguientes concentraciones:

TESTIGO	BAJO EN NITROGENO	BAJO EN FOSFORO	BAJO EN POTASIO
150 ppm N	100 ppm N	150 ppm N	150 ppm N
35 ppm P	35 ppm P	20 ppm P	35 ppm P
260 ppm K	260 ppm K	260 ppm K	100 ppm K
70 ppm S	70 ppm S	70 ppm S	70 ppm S
150 ppm Ca	150 ppm Ca	150 ppm Ca	150 ppm Ca
45 ppm Mg	45 ppm Mg	45 ppm Mg	45 ppm Mg
1.00 ppm Fe	1.00 ppm Fe	1.00 ppm Fe	1.00 ppm Fe
0.50 ppm Mn	0.50 ppm Mn	0.50 ppm Mn	0.50 ppm Mn
0.20 ppm B	0.20 ppm B	0.20 ppm B	0.20 ppm B
0.10 ppm Cu	0.10 ppm Cu	0.10 ppm Cu	0.10 ppm Cu
0.15 ppm Zn	0.15 ppm Zn	0.15 ppm Zn	0.15 ppm Zn
0.05 ppm Mo	0.05 ppm Mo	0.05 ppm Mo	0.05 ppm Mo

### 3.3.5 Sistema de Riego

El módulo hidropónico que se construyó fue diseñado para realizar un riego manual.

Una vez transplantadas las plantas de yacón, los contenedores fueron regadas únicamente con solución nutritiva.

Los primeros riegos se hicieron con un vaso de 50 ml, de manera que cada plántula recibiera la misma cantidad de la solución nutritiva, evitando que el sustrato se humedezca demasiado, lo que podría inducir a pudrición de la raíz.

Durante los primeros 60 días, las plantas se regaron con la Solución Nutritiva Testigo para lograr un crecimiento uniforme, con riegos interdiarios de 100 ml por cada planta de yacón. A partir de ese momento, fueron regadas con las Soluciones Nutritivas Marginales e incrementándose de acuerdo al crecimiento de la planta hasta llegar a 300 ml por planta ínterdiariamente.

### 3.3.6 Siembra

Distanc. / Hileras y plantas:	30 cm.
Nº de hileras:	3
Nº de plantas / hilera:	4
Nº de plantas / contenedor:	12
Nº de contenedores:	12
Nº de plantas totales:	144

### 3.3.7 Control de Plagas y Enfermedades

Para controlar las plagas se llevó a cabo un manejo integrado de plagas de acuerdo al grado de afectación. Se uso Confidor, para controlar mosca blanca; Omite, para controlar arañita roja; se emplearon también trampas amarillas.

### 3.3.8 Análisis De Crecimiento

- **Muestreos:** se realizaron 8 muestreos, a los: 60, 75, 90, 105, 120, 150, 180 y 210 días, cosechándose doce plantas por muestreo; 1 por cada contenedor.
- **Variables:** se consideraron las siguientes evaluaciones:
  - Peso fresco de toda la planta
  - Peso fresco y Peso seco de la raíz reservante
  - Peso seco de hojas, tallos y raíces
  - Área foliar
  - Longitud de raíces.
- **Índices de crecimiento:** con los resultados de cada muestreo, se hallaron los siguientes índices:
  - Índices de crecimiento relativo (ICR): expresa crecimiento de material vegetal nuevo por unidad de material vegetal original por unidad de tiempo (g/g/tiempo)

$$\text{ICR} = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{T_2 - T_1}$$

- Índice de asimilación neta (IAN): involucra el concepto de área foliar como un factor de la producción de nuevo material vegetal. Indica el incremento de peso seco por unida de área foliar por unidad de tiempo (g/dm<sup>2</sup>/tiempo)

$$\text{IAN} = \frac{(W_2 - W_1) (\ln A_2 - \ln A_1)}{(T_2 - T_1) (A_2 - A_1)}$$

- Índice de área foliar (IAF): Compara el área foliar del cultivo con el área de terreno cultivado (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)

$$\text{IAF} = \frac{\text{Área Foliar de Cultivo}}{\text{Área de terreno}}$$

- Índice de cosecha (IC): compara el peso seco del producto económico, con el peso seco de toda la planta. Se expresa en porcentaje (%)

$$\text{IC} = \frac{\text{Peso seco de producto económico} \times 100}{\text{Peso seco de planta}}$$

### 3.3.9 Análisis Foliar

Para establecer los niveles de concentración del nitrógeno, fósforo y potasio en las hojas y raíces reservantes, se realizó el análisis foliar de los mismos.

Para el análisis respectivo se usaron hojas jóvenes y maduras de la planta de yacón.

Se usaron las mismas muestras del análisis de crecimiento (72 muestras en total), las que se analizaron en el Laboratorio de Suelos, Fertilizantes y Plantas de la UNALM.

Para la determinación del nitrógeno se empleo el método de kjeldahl (Bazan, 1996).

El fósforo fue determinado por el método del color amarillo de vanadolibdofosforico, la intensidad del color fue determinada por medio del espectrofotómetro (Bazan, 1996).

Potasio se determino en el espectrofotómetro de absorción atómica (Bazan, 1996).

#### **3.3.10 Diseño estadístico**

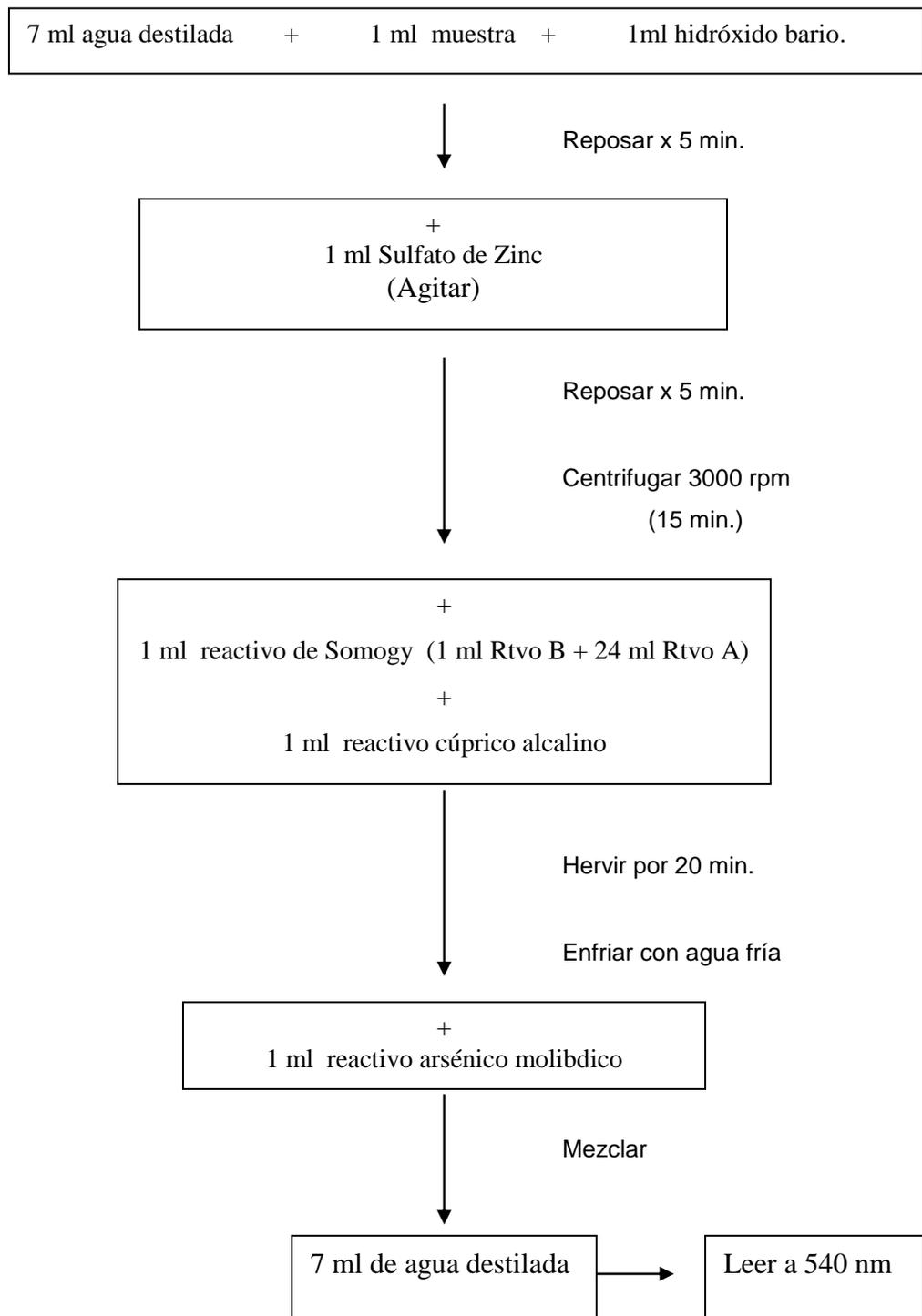
Se realizó el análisis de variancia para el diseño completamente al azar, la prueba de significación se hizo mediante la prueba de Duncan, al nivel de 0.05. Los datos fueron computarizados en el programa estadístico SAS, y los gráficos fueron elaborados en una hoja de cálculo.

#### **3.3.11 Determinación de azúcares reductores**

Se siguió el procedimiento de Somogy & Nelson, 1945. Se fundamenta en la oxidación de la glucosa por acción de un reactivo cuproalcalino y posterior formación de un complejo coloreado azul verdoso por acción del ácido molibdico y arsénico, entonces la intensidad de coloración de este complejo es proporcional al contenido de glucosa; por lo que se realiza con una curva de calibración en base a glucosa (Anexo 9) y se lee a 540 nm.

La muestra fue obtenida mediante el siguiente procedimiento señalado:

Desproteinizado:



#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 4.1. PESO FRESCO DE RAICES RESERVANTES

Las respuestas de crecimiento de las plantas de yacón sometidas a diferentes tratamientos nutricionales marginales se muestran en el Cuadro 1.

En el Gráfico N° 1 se observan el efecto de los 4 tratamientos evaluados sobre el peso fresco de raíces reservantes, los que presentan una misma tendencia lineal durante los 7 meses de cultivo.

El proceso de formación de las raíces reservantes se inició entre los 60 a 90 días, momento en que las plantas presentaban de 3 a 4 pares de hojas, suficientes para exportar carbohidratos. A los 120 días, las raíces reservantes incrementan, tanto en peso como en número, en rangos que van de 2.09 – 5.68 veces con respecto al muestreo anterior (90 días). Los valores que se obtuvieron en los tratamientos bajo en fósforo, bajo en nitrógeno, bajo en potasio y testigos fueron 305 g, 274.17 g, 261.67 g y 178.83 g por planta, respectivamente. (Gráfico N° 1)

A los 150 días, se observa que el aumento en peso fresco no fue considerable debido a que las plantas ingresaron a la etapa de floración. Probablemente en esta etapa del desarrollo del yacón, los fotosíntatos producidos en las hojas, habrían sido translocados hacia las flores y no hacia las raíces reservantes. Durante la floración, los órganos receptores como las flores, tienen mayor preponderancia que las raíces reservantes (Taiz & Zeiger, 2002). Los valores obtenidos para las raíces reservantes fueron: 498.7 g, 489.37 g, 337.7 g y 295.87 g para los tratamientos bajo en nitrógeno, bajo en potasio, testigo y bajo fósforo, respectivamente.

CUADRO N° 1 Respuestas de crecimiento de las plantas de yacón sometidos a diferentes tratamientos nutricionales. Valores promedios de 3 plantas.

Tratamiento	Días después de la siembra	P. S. Tallos (g)	P. S. Corona (g)	P. S. Hojas (g)	Raíces Reservantes		P. S. Total (g)
					P. F. (g)	P. S. (g)	
T	60	0.33	3.12	2.61	11.80	1.53	7.6 a
	75	0.97 a	3.77	4.53 a	20.67 a	2.37 a	11.6 a
	90	3.2 a	6.43	10.30 a	85.50 a	10.83 a	30.8 a
	105	9.83 a	15.17	21.00 a	146.33 a	17.60 a	63.6 a
	120	18.73 a	18.53	27.20 a	178.83 a	23.03 a	87.5 a
	150	49.83 a	27.47	40.40 a	337.70 a	75.80 a	193.5 a
	180	89.93 a	58.23	53.10 a	905.67 a	72.83 a	274.1 a
	210	106.47 a	39.53	66.17 a	1083.33 b	171.96 b	384.1 a
↓ N	60	0.33	3.12	2.61	11.80	1.53	7.6
	75	1.00 a	2.37	3.43 a	29.83 a	2.90 a	9.7 a
	90	3.47 a	8.07	10.47 a	75.17 a	10.50 a	32.5 a
	105	8.03 a	10.93	22.20 a	145.67 a	22.20 a	63.4 a
	120	18.23 a	17.0	28.43 a	274.17 a	33.60 a	97.3 a
	150	44.87 a	19.17	33.33 a	498.70 a	57.17 a	154.54 a
	180	66.93 a	32.73	42.03 a	801.33 a	81.63 a	223.3 a
	210	114.33 a	47.4	50.80 a	1691.67ab	233.87 ab	446.41 a
↓ P	60	0.33	3.12	2.61	11.80	1.53	7.6
	75	1.10 a	3.27	4.83 a	20.67 a	1.93 a	11.1 a
	90	3.17 a	6.00	9.37 a	53.67 a	8.30 a	26.8 a
	105	7.83 a	13.10	20.47 a	134.83 a	19.50 a	60.9 a
	120	16.97 a	18.73	32.40 a	305.00 a	35.03 a	103.1 a
	150	44.43 a	20.87	39.17 a	295.87 a	32.08 a	137.3 a
	180	77.13 a	39.43	56.37 a	753.67 a	75.60 a	248.5 a
	210	155.3 a	53.07	74.30 a	1391.67ab	216.41 ab	499.1 a
↓ K	60	0.33	3.12	2.61	11.80	1.53	7.6
	75	0.87 a	3.23	4.07 a	17.67 a	1.93 a	10.9 a
	90	3.17 a	10.63	11.53 a	89.00 a	12.47 a	37.8 a
	105	8.07 a	13.60	15.80 a	179.83 a	28.30 a	65.8 a
	120	15.0 a	17.8	28.27 a	261.67 a	32.93 a	94 a
	150	43.97 a	19.03	33.57 a	489.37 a	51.90 a	148.5 a
	180	60.8 a	34.7	54.17 a	851.17 a	90.53 a	240.2 a
	210	121.13 a	37.77	78.23 a	1875.00 a	288.34 a	525.5 a

P. S. = Peso Seco, P. F. = Peso Fresco

T: testigo; ↓ N: bajo en Nitrógeno; ↓ P: bajo en fósforo; ↓ K: bajo en potasio

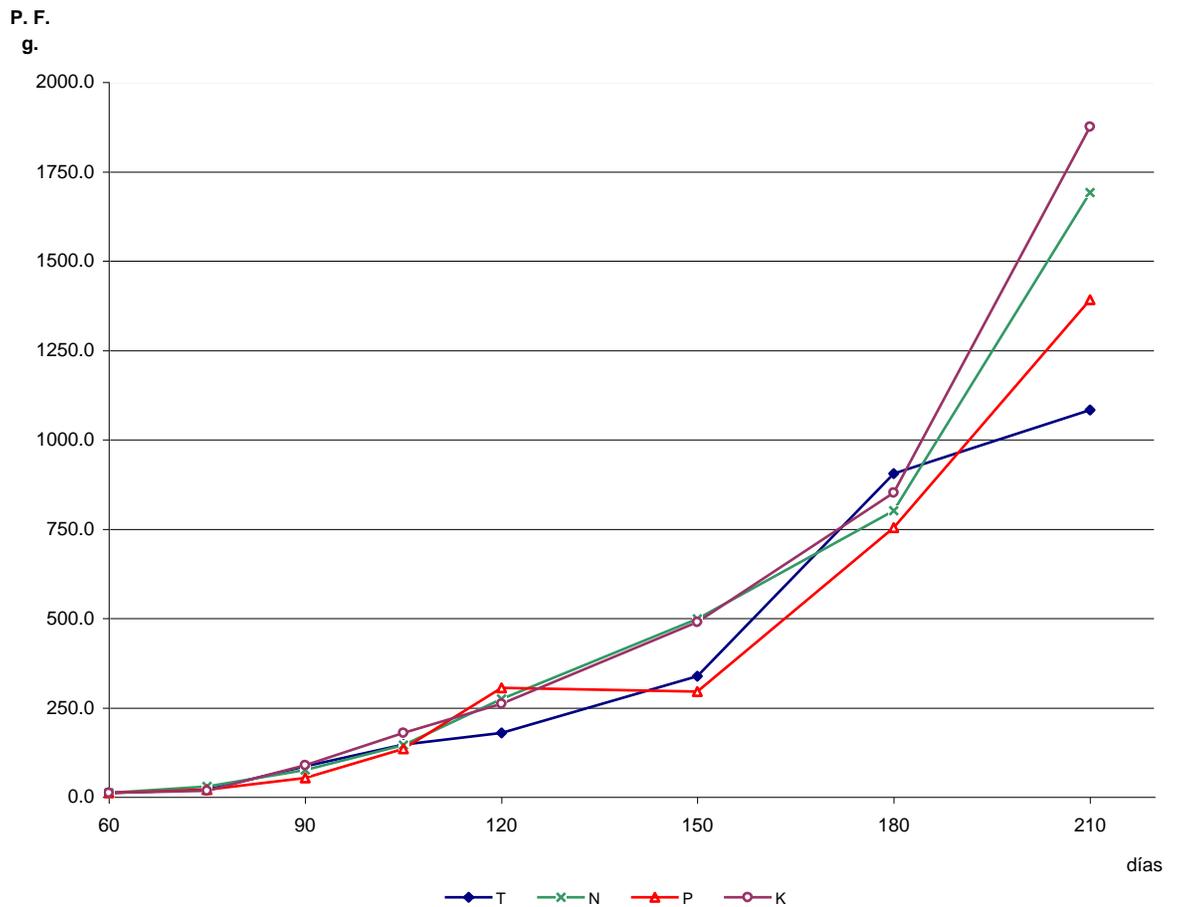
A los 180 días, los pesos frescos de raíces reservantes alcanzan valores de 905.67 g, 851.17 g, 801.33 g y 753.67 g, para los tratamientos bajo en potasio, bajo en nitrógeno y bajo en fósforo, respectivamente. Obsérvese que el tratamiento testigo alcanza un mayor peso fresco de raíz reservante en este período (Gráfico N° 1).

A los 210 días, los pesos frescos de raíces reservantes alcanzan valores de 1,875 g, 1,691.67 g, 1,391.67 g y 1,083.33 g, para los tratamientos bajo en potasio, bajo en nitrógeno, bajo en fósforo y tratamiento testigo superan a los obtenidos por Taboada (1998) al realizar la caracterización agrobotánica de 45 genotipos de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) bajo condiciones de suelo y en el Cusco, Perú. El promedio obtenido por Taboada fue de 974.0 g/ planta, variando de 510.0 a 1590 g/planta.

Los estudios realizados por Villena *et al* 2003, sobre el contenido de frúctanos en raíces reservantes de yacón en UNESP – Brasil, en evaluaciones realizadas entre los 180 y 210 días, los pesos obtenidos fueron de 1,856.00 g y 1,919.50 g respectivamente, acercándose estos valores, al tratamiento bajo en potasio con un peso de 1,875 g/ planta a los 210 días. Estos estudios demuestran que, el yacón sería un cultivo que responde aun bajo condiciones marginales.

En relación al efecto del tamaño de propágulos para la siembra, Tsukihashi, *et al* (1994), determinaron que propágulos de 10 g producían un promedio de 1545 g/planta; los de 30 g, 1,706 g/ planta y, los de 50 g, 1,712 g/ planta, sugiriendo que el peso de propágulos a sembrar deberían entre 30 a 50 g. Así mismo; Villena *et. al.* (2003), al cultivar propágulos fragmentados, con aprox. 80 g cada uno, obtuvo un rendimiento de 1,919.50 g/planta a los 7 meses. Para el presente estudio, los valores alcanzados de pesos de raíces reservantes provienen de propágulos en el rango de 10 a 50 g.

GRÁFICO N° 1 Evaluación del peso fresco (P. F.) de raíces reservantes sometidas a diferentes tratamientos nutricionales.



El análisis estadístico (Prueba de Duncan) del peso fresco y seco del yacón subterráneo a los 120 y 150 días muestra que no se encuentran diferencias significativas entre las medias de los tratamientos; sin embargo, a los 210 días se encuentra diferencias significativas entre las medias del testigo y el tratamiento bajo en potasio. (Anexos: 3 – F, 4 – F y 5 – F)

GRÁFICO N° 2 Evaluación del peso seco (P. S.) de raíces reservantes sometidas a diferentes tratamientos nutricionales marginales.

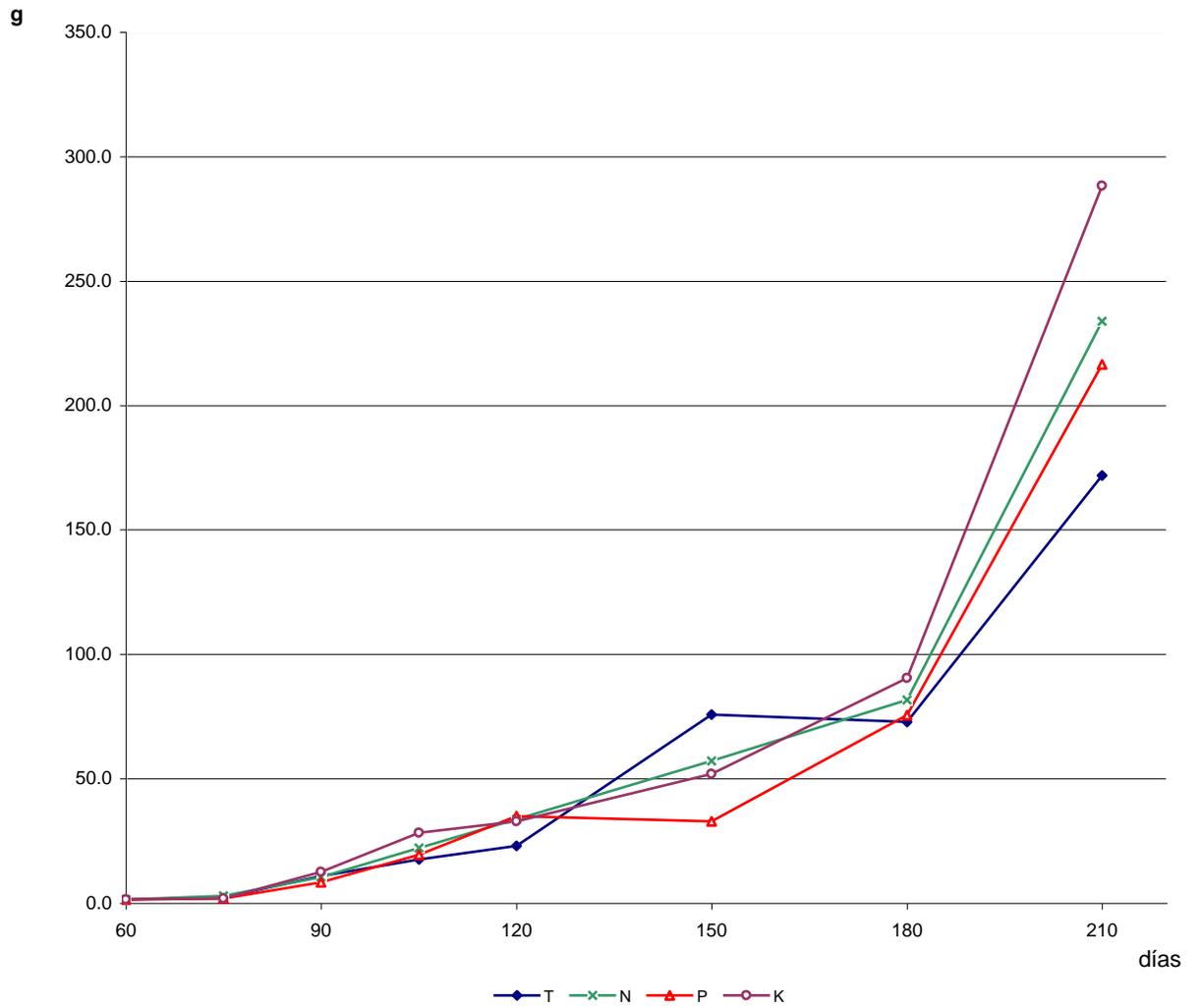
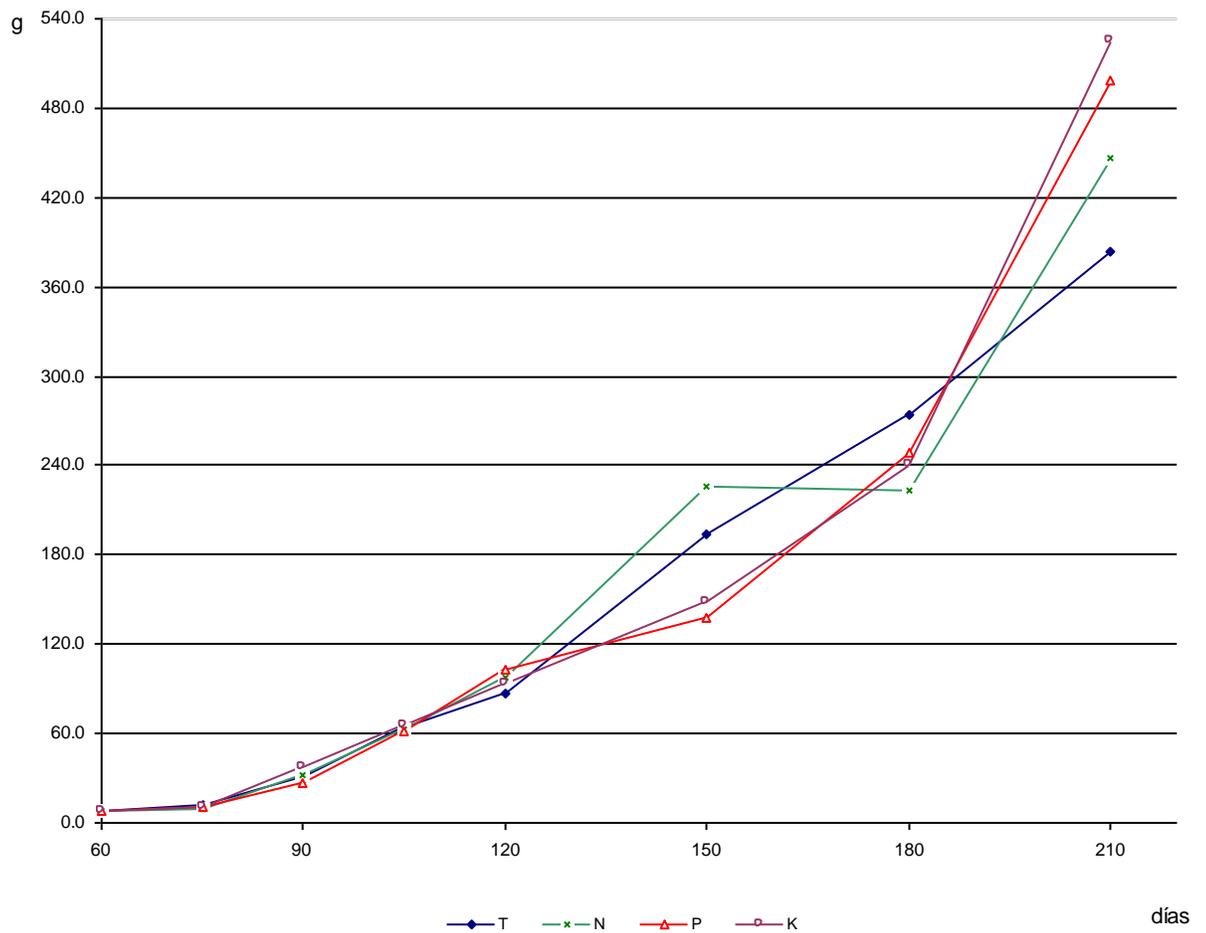


GRÁFICO N° 3 Efecto de la nutricional marginal del nitrógeno, fósforo y potasio sobre el peso seco total (P. S. T.)



En relación al peso seco total de plantas, no se encontraron diferencias significativas a los 120 días (Gráfico N° 3) y el incremento significativo de los pesos se observó hasta los 210 días, coincidiendo con la misma tendencia observada en el peso fresco de raíces reservantes (Anexos: 3 – I, 4 – I, 5 – I).

## 4.2. AREA FOLIAR

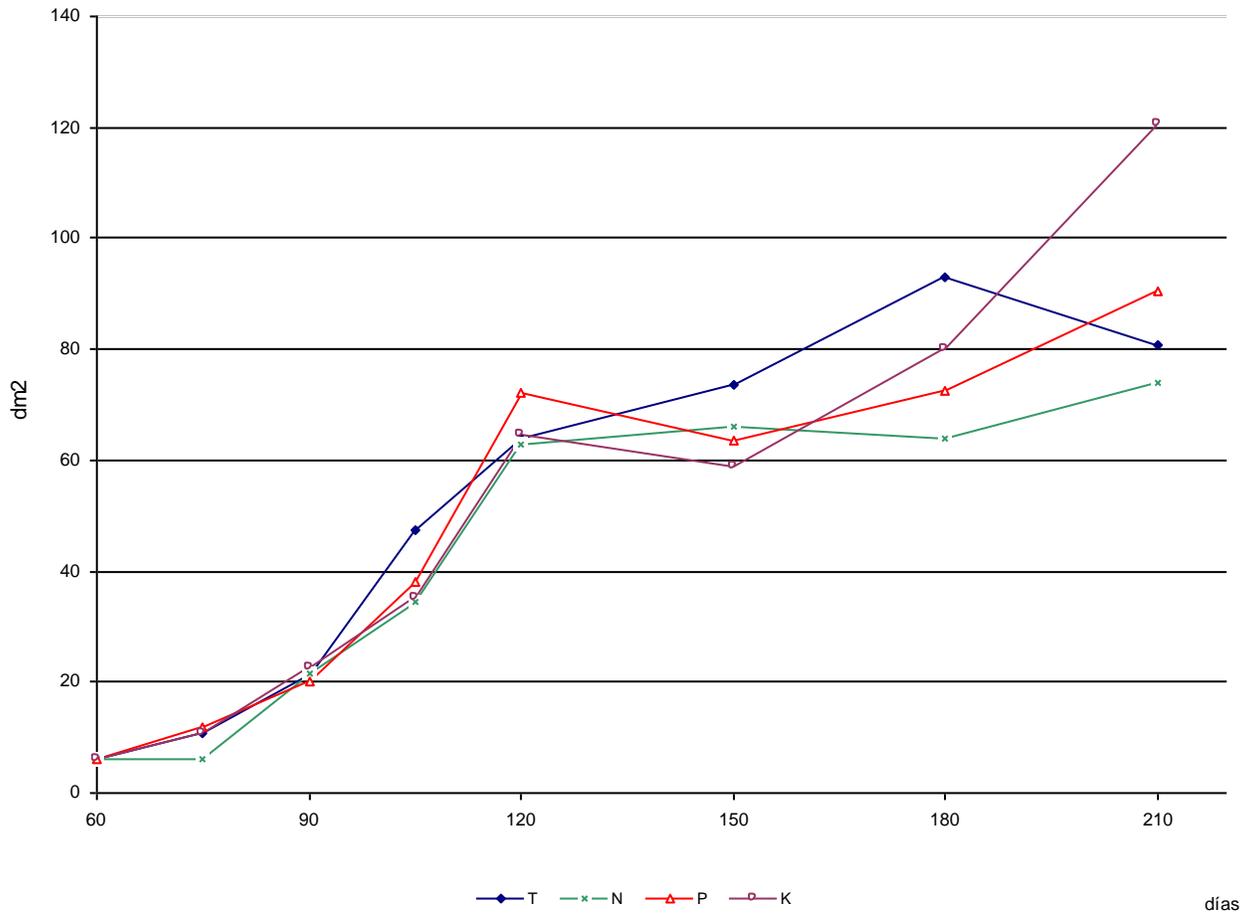
En relación al área foliar, se han encontrado diferencias significativas entre las medias de los tratamientos bajo en potasio y testigo a los 210 días (Anexo 5 – A).

Todos los tratamientos estudiados incluyendo el testigo, presentan un comportamiento similar en el incremento de área foliar.

El comportamiento que se observa durante los primeros meses es un incremento exponencial hasta los 210 días; pero, entre los 120 y 150 días disminuye la formación de hojas jóvenes y se observa una mayor abscisión de las hojas adultas. Todo ello coincidiendo con el inicio de la floración; posteriormente se observa un pequeño incremento en todos los tratamientos realizados.

El crecimiento con mayor y menor área foliar se alcanzo con los tratamientos deficientes de potasio ( $120 \text{ dm}^2$ ) y nitrógeno ( $74 \text{ dm}^2$ ) respectivamente (Gráfico N° 4).

La floración se inicio a los 150 días y se observó que en los tres tratamientos y el testigo, todas las plantas llegan a florecer, durando aproximadamente dos meses. Estudios realizados por Melgarejo (1999) bajo condiciones de Oxapampa, observó un 50% de la floración a los 163 días de la siembra, casi 30 días después, con respecto a la floración obtenida en el experimento. Probablemente esta precocidad se explica por haberse desarrollado el experimento en un cultivo sin suelo o otras condiciones ambientales (horas de luz, temperatura, viento, humedad, precipitación).

GRÁFICO N° 4 Efecto de la nutrición marginal sobre el Área Foliar ( $\text{dm}^2$ )

### **4.3. ÍNDICE DE CRECIMIENTO**

Los índices de crecimiento obtenidos a lo largo del experimento se muestran en el Cuadro N° 2, y las tendencias en los Gráficos 5, 6, 7 y 8. Con los resultados de los datos de crecimiento se calcularon los índices de crecimiento relativo (ICR) y de asimilación neta (IAN), usando las respectivas formulas; asimismo, los índices de Área foliar (IAF) y de Cosecha (IC).

Los ritmos del crecimiento de las plantas de yacón a lo largo de su ciclo de vida, expresados en el ICR, IAN, IAF e IC, en general, fueron similares en todos los tratamientos; sin embargo, los pesos totales alcanzados fueron diferentes.

CUADRO N° 2 Índices de Crecimiento Relativo (ICR), Asimilación Neta (IAN), Área Foliar (IAF) y de Cosecha (IC). (valores promedio de 3 plantas).

Tratamiento	Días después de la siembra	ICR (g/g/sem)	IAN (g/dm <sup>2</sup> /sem)	IAF (dm <sup>2</sup> /dm <sup>2</sup> )	IC (%)
T	60	-	-	0.200	20.13
	75	0.198	0.230	0.358	20.37
	90	0.454	0.582	0.704	35.19
	105	0.339	0.472	1.579	27.67
	120	0.149	0.202	2.126	26.32
	150	0.185	0.361	2.454	39.17
	180	0.081	0.227	3.096	26.57
	210	0.078	0.296	2.695	44.76
↓ N	60	-	-	0.200	20.13
	75	0.114	0.162	0.203	29.89
	90	0.565	0.870	0.718	32.30
	105	0.312	0.523	1.153	35.03
	120	0.200	0.334	2.092	34.54
	150	0.108	0.207	2.205	25.23
	180	0.086	0.247	2.131	36.55
	210	0.161	0.757	2.464	52.38
↓ P	60	-	-	0.200	20.13
	75	0.178	0.190	0.399	17.34
	90	0.411	0.467	0.669	30.93
	105	0.383	0.566	1.268	32.02
	120	0.246	0.369	2.410	33.96
	150	0.066	0.117	2.117	23.89
	180	0.138	0.382	2.415	30.41
	210	0.162	0.722	3.011	43.36
↓ K	60	-	-	0.200	20.13
	75	0.132	0.143	0.355	19.10
	90	0.616	0.815	0.751	32.98
	105	0.258	0.459	1.175	43.02
	120	0.166	0.272	2.156	35.03
	150	0.106	0.206	1.962	34.95
	180	0.112	0.311	2.664	37.68
	210	0.182	0.674	4.025	54.87

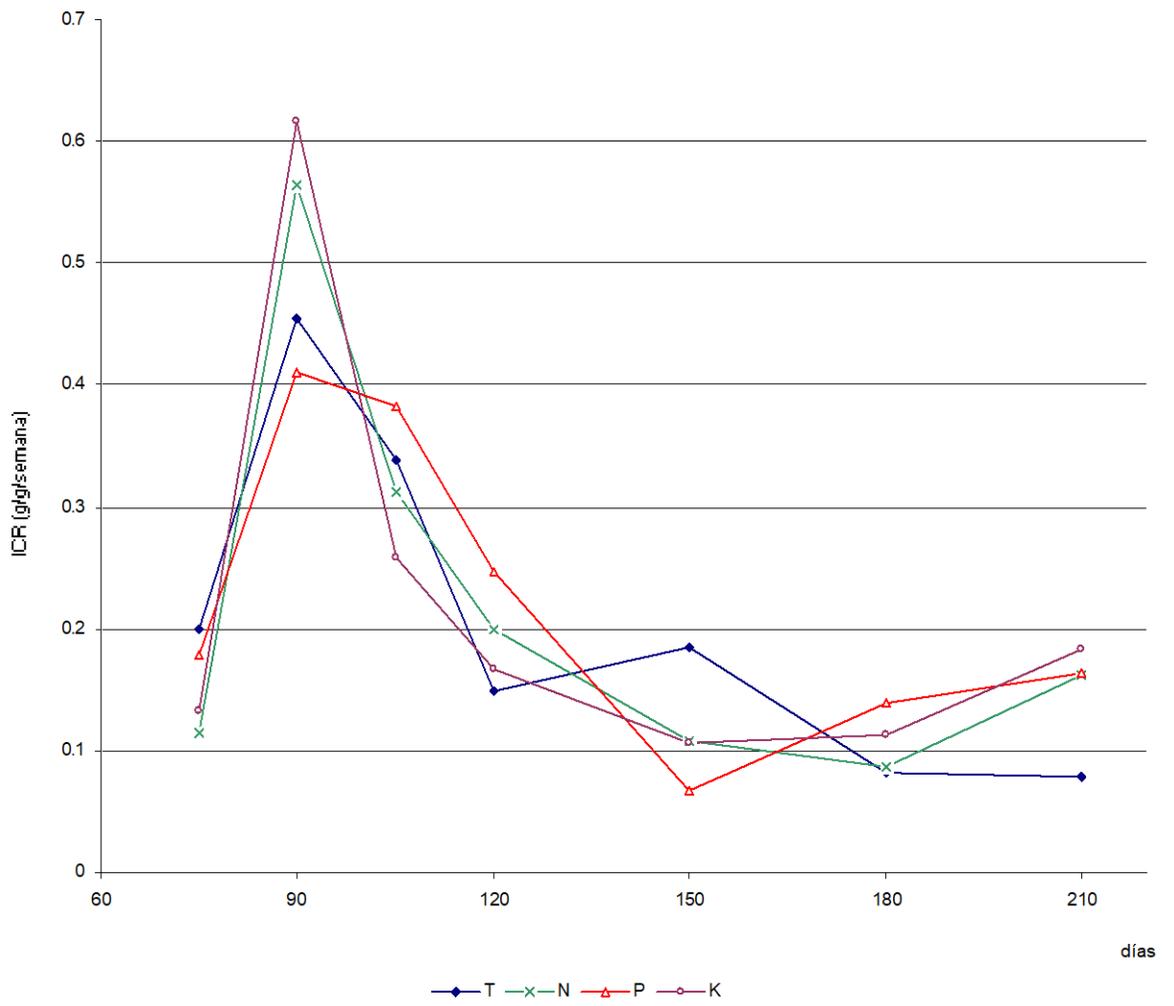
T: testigo; ↓ N: bajo en Nitrógeno; ↓ P: bajo en fósforo; ↓ K: bajo en potasio

Hasta los 90 días, los valores del ICR fueron distintos y alcanzaron sus máximos valores, siendo mayor en los tratamientos bajo en potasio, y menores en testigo, bajo en nitrógeno y fósforo (Gráfico N° 5).

A partir de los 105 días estos valores fueron cayendo, llegándose a estabilizar entre los 150 y 180 días en los 3 tratamientos y el testigo; sin embargo, esta única diferencia en los ICR en el primer intervalo de tiempo, fue suficiente como para que esta ventaja inicial en el peso seco total del tratamiento bajo en potasio se mantuviera hasta el final (Gráfico N° 2).

Todos los tratamientos a excepción del testigo aumentan ligeramente desde los 120 ( $0.149 \text{ g. g}^{-1}.\text{sem}^{-1}$ ) a 150 días ( $0.185 \text{ g. g}^{-1}.\text{sem}^{-1}$ ). La disminución de los valores del ICR indica un mayor desarrollo de las plantas. Para el tratamiento bajo en nitrógeno, disminuye ligeramente desde los 150 hasta los 180 días, para luego incrementar hacia los 210 días, al igual que el incremento significativo del peso fresco, pesos seco de raíces reservantes y área foliar (Gráfico N° 1, 2 y 4).

GRÁFICO N° 5 Efecto de la nutrición marginal sobre el ICR



La curva del IAN en los 3 tratamientos y el testigo presenta una misma tendencia. A los 90 días se alcanzo los valores más altos, luego disminuyen y se estabilizan entre los 120 y 180 días (Gráfico N° 6). Además, se encuentran diferencias significativas.

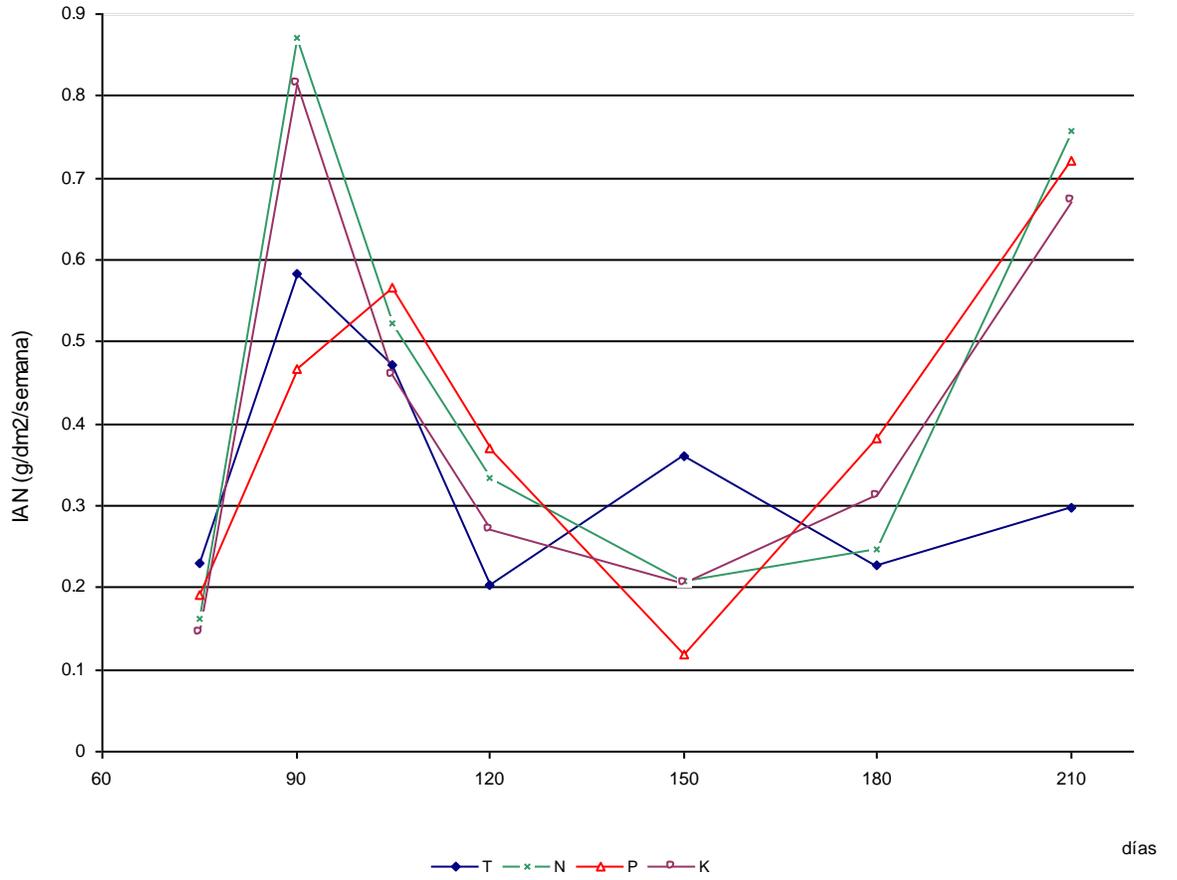
Hacia los 180 días se observa un incremento en los tratamientos bajos en fósforo, potasio y nitrógeno, respectivamente, tendencia que continua hasta los 210 días; así mismo, el testigo presenta un ligero incremento hacia el fin del experimento; por tanto, aun se mantuvieron valores razonables de los índices de crecimiento relativo (ICR) y de asimilación neta (IAN) por lo que continuo la ganancia real de peso total y de área foliar

La tendencia decreciente hasta antes del 7 mes de los tratamientos puede deberse a un aumento del tejido almacenador de fotosíntatos (raíces reservantes).

Los 3 tratamientos y el testigo alcanzaron sus máximos valores de IAN e ICR en las primeras edades, debido que al inicio del crecimiento llegan a tener un relativo mayor porcentaje de hojas (tejido fotosíntetizante productor de biomasa) en relación a raíces y tallos (tejido heterotrófico, consumidor y almacenador de biomasa). Además, las plantas jóvenes tienen sus hojas mejor expuestas a la luz, de tal manera que aprovechan de forma más eficiente por unidad de área foliar la energía radiante incidente.

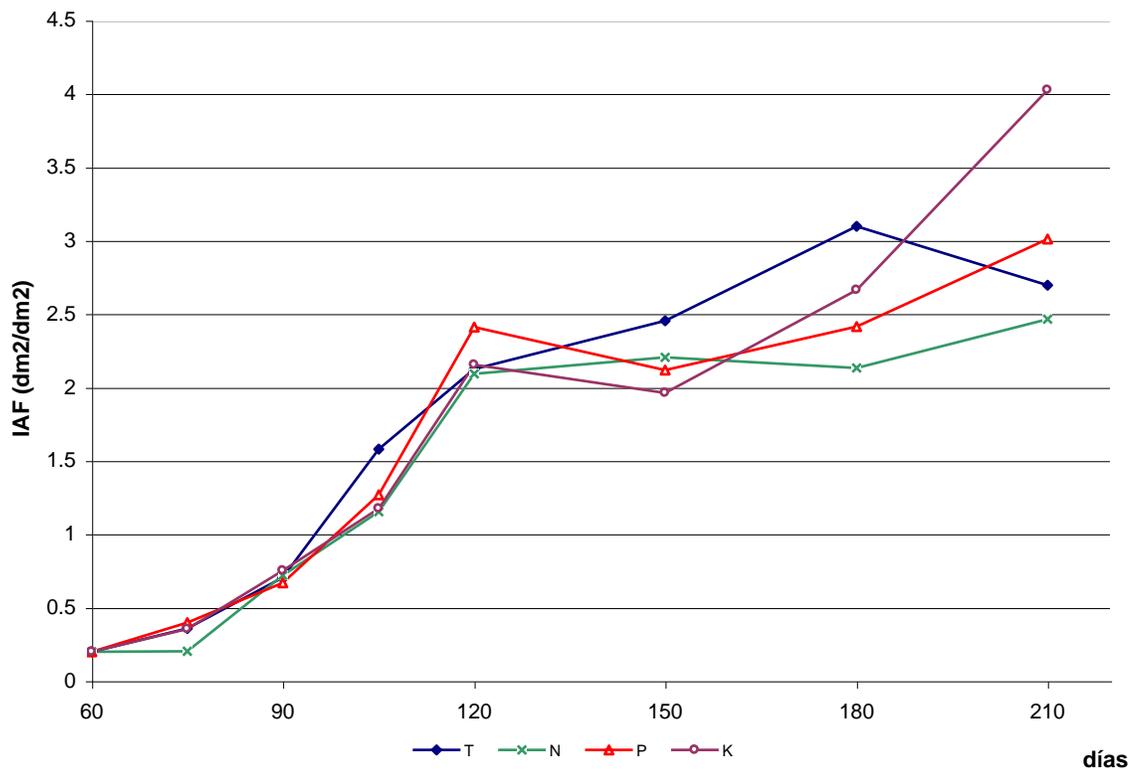
Los valores alcanzados de IAN e ICR en el testigo, nos estaría indicando la baja eficiencia del aparato asimilatorio y por consecuencia baja producción de raíces reservantes (Gráfico N° 2) y menores valores del peso seco total (Gráfico N° 3).

GRÁFICO N° 6 Efecto de la nutrición marginal sobre el IAN



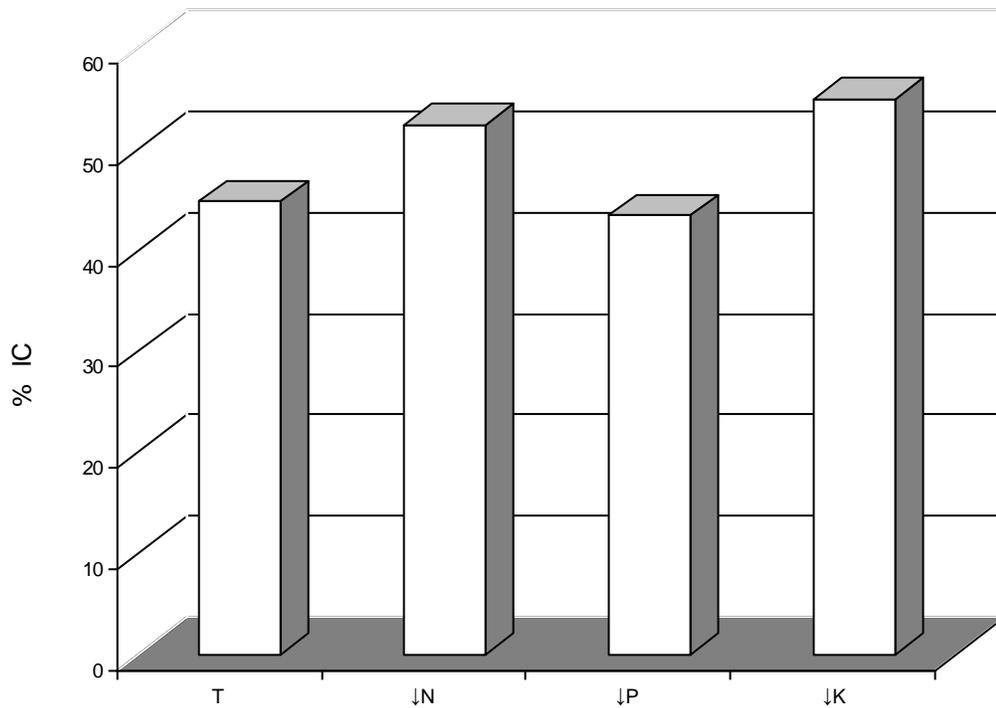
El IAF presenta una tendencia logarítmica hacia los 90 días y luego una tendencia lineal hasta los 210 días. En el testigo, el IAF sigue incrementando hasta los 180 días y luego decae. En los tratamientos bajos en nitrógeno, fósforo y potasio se observa una disminución a 150 días, por lo que se obtuvo valores cercanos al muestreo anterior (120 días) a consecuencia de la baja presencia de hojas, es decir una baja densidad del follaje. Luego aumenta hasta los 210 días (Gráfico N° 7). Estas tendencias coinciden con las curvas observadas en el Área Foliar (Gráfico N° 4) y el ICR (Gráfico N° 5), puesto que el IAF está relacionado con la intercepción de la luz y el mejor aprovechamiento de ésta en la producción de materia seca.

GRÁFICO N° 7 Efecto de la nutrición marginal sobre el IAF



El índice de cosecha (IC) a los 210 días, los tratamientos presentan su máxima eficacia de convertir la materia seca total acumulada en producto comestible (IC), siendo 54.8% el mayor valor correspondiente al tratamiento bajo en potasio, seguido muy de cerca por el tratamiento bajo en nitrógeno con 52.4% (Gráfico N° 8).

GRÁFICO N° 8 Efecto de la nutrición marginal sobre el % IC a los 210 días



#### **4.4. CONCENTRACIÓN DEL NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO EN HOJAS Y EN RAICES RESERVANTES**

##### **4.4.1. NITROGENO**

Las concentraciones más altas de nitrógeno se hallaron en hojas y las concentraciones más bajas en raíces reservantes (Gráfico N° 9). En los 3 tratamientos y el testigo, los valores tienden a disminuir hacia los 210 días.

En el testigo la concentración de nitrógeno en hojas se encontró en el rango del 2.99 % al 3.62%; mientras que el tratamiento bajo en nitrógeno se encontró entre 2.40% al 3.22%.

En raíces reservantes la concentración fue de 0.72 % al 1.14% para el testigo y en el tratamiento bajo en nitrógeno se encontró en el rango del 0.45% al 0.94%. A los 150 días el testigo alcanzó 1.22 % siendo el mayor valor obtenido en el muestreo.

La concentración del nitrógeno en hojas y raíces, en el tratamiento bajo en nitrógeno para casi todas las evaluaciones fue menor, con lo que coincide con la evaluación. Además, se demuestra en los valores de área foliar (Gráfico N° 4) que el elemento limitante nitrógeno influyó en la producción de hojas finales.

El análisis de variancia de la concentración de nitrógeno en hojas y raíces muestra diferencias significativas entre los tratamientos (Anexo N° 6).

#### 4.4.2. FOSFORO

Las concentraciones más altas de fósforos se hallan en hojas y las concentraciones mas bajas en raices reservantes (Gráfico N 10).

En los 4 tratamientos se observa la misma tendencia es decir, ascendente hacia los 150 días y después descendente al llegar a los 210 días. A los 150 días se presentó el valor mas alto en el tratamiento bajo en potasio (0.45%) y a los 210 días el tratamiento bajo en fósforo obtuvo el valor mas bajo (0.186%).

La concentración de fósforo en hojas, en el tratamiento bajo en potasio estaba del 0.24% al 0.45%, mientras que el testigo fue de 0.24% al 0.34%.

La concentración de fósforo en raices reservantes fue de 0.075% hasta 0.19% en el testigo, mientras que el tratamiento bajo en fósforo fue de 0.049% al 0.127%

El rango del tratamiento bajo en fósforo se encuentra por debajo del tratamiento bajo en potasio y ligeramente del testigo, respectivamente.

Se observa que el fósforo se concentra mas en el tratamiento bajo de potasio que presento mayor producción de raices reservantes; al igual que una floración mas temprana, con respecto al testigo y a los tratamientos deficientes en nitrógeno y potasio. Por lo que podemos comprobar que el fósforo es un elemento importante en la inducción y el aumento de la floración, como también la promoción a un rápido y abundante sistema radicular en la etapa inicial.

El análisis de variancia de la concentración de fósforo en hojas y raíces reservantes muestra diferencias significativas entre los tratamientos (Anexo N° 7).

#### **4.4.3. POTASIO**

La concentración de potasio de las hojas, tiene como máximo valor a los 120 días en el tratamiento bajo en nitrógeno con 5.34 % y, el mínimo valor a los 210 días con 2.85 % en el tratamiento bajo en potasio. Se observó una tendencia a descender a los 150 días, para luego variar. En el caso del testigo y los tratamientos deficiente de fósforo y de potasio sigue descendiendo, mientras el tratamiento bajo en nitrógeno asciende hasta 4.43 % (Gráfico N° 11).

La concentración de potasio en raíces reservantes a los 120 días, considerando al testigo y los tratamientos evaluados, se encuentran en el rango de 2.95 % – 3.81 %. Para los 210 días todos los tratamientos tienen una tendencia a disminuir. La concentración de potasio en el tratamiento bajo en nitrógeno disminuye a los 150 días y llega a un valor de 3.17 %.

El comportamiento del potasio en el testigo nos demuestra que es un elemento móvil, que puede translocarse desde las raíces reservantes hacia las hojas o viceversa, ya que la concentración en hojas desde los 120 hacia los 150 días presenta una tendencia a disminuir; ocurriendo lo contrario, para el mismo período en las raíces reservantes donde se observa que incrementan. Actuación inversa que se presentó desde los 150 hasta 210 días. Esta misma tendencia se manifiesta en el tratamiento bajo en fósforo (Gráfico N° 11).

La concentración de potasio en hojas y raíces reservantes del yacón en todos los momentos de evaluación fue menor en el tratamiento bajo en potasio lo que coincide con la solución marginal.

En el análisis de variancia se presentaron diferencias significativas a los 210 días para la concentración de potasio en hojas y raíces reservantes (Anexo N° 8).

Tanto en hojas como, en raíces reservantes, las concentraciones de potasio hallados fueron significativos con respecto a la concentración de nitrógeno y fósforo, lo que demuestra que el potasio es un elemento importante para el cultivo de yacón.

CUADRO N° 3 Concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio hallados en hojas y raíces reservantes

Tratamiento	Días después de la siembra	HOJAS			RAICES RESERVANTES		
		% N	%P	%K	%N	%P	%K
<b>T</b>	120	3.62 a	0.30 a	4.42 a	1.14 a	0.15 a	3.81 a
	150	3.27 a	0.34 a	4.02 a	1.22 a	0.19 a	4.48 a
	210	2.99 a	0.24 a	3.93 ab	0.72 a	0.07 a	2.54 a
↓ <b>N</b>	120	3.22 b	0.32 a	5.34 a	0.94 a	0.14 a	3.75 a
	150	2.91 b	0.34 a	4.21 a	0.64 b	0.11 b	3.17 a
	210	2.40 b	0.22 a	4.43 a	0.45 b	0.07 a	2.85 a
↓ <b>P</b>	120	3.14 b	0.29 a	4.94 a	0.94 a	0.09 a	3.41 ab
	150	3.05 ab	0.36 a	4.01 a	0.91 b	0.12 b	4.04 a
	210	2.38 b	0.18 a	3.37 bc	0.53 ab	0.04 b	2.4 ab
↓ <b>K</b>	120	3.21 b	0.35 a	3.71 a	1.03 a	0.13 a	2.45 b
	150	3.15 a	0.44 a	3.60 a	0.86 b	0.15 a	2.90 a
	210	2.52 b	0.23 a	2.85 c	0.56 ab	0.07 a	1.89 b

GRÁFICO N° 9 Variación de las concentraciones de nitrógeno en hojas y raíces reservantes.

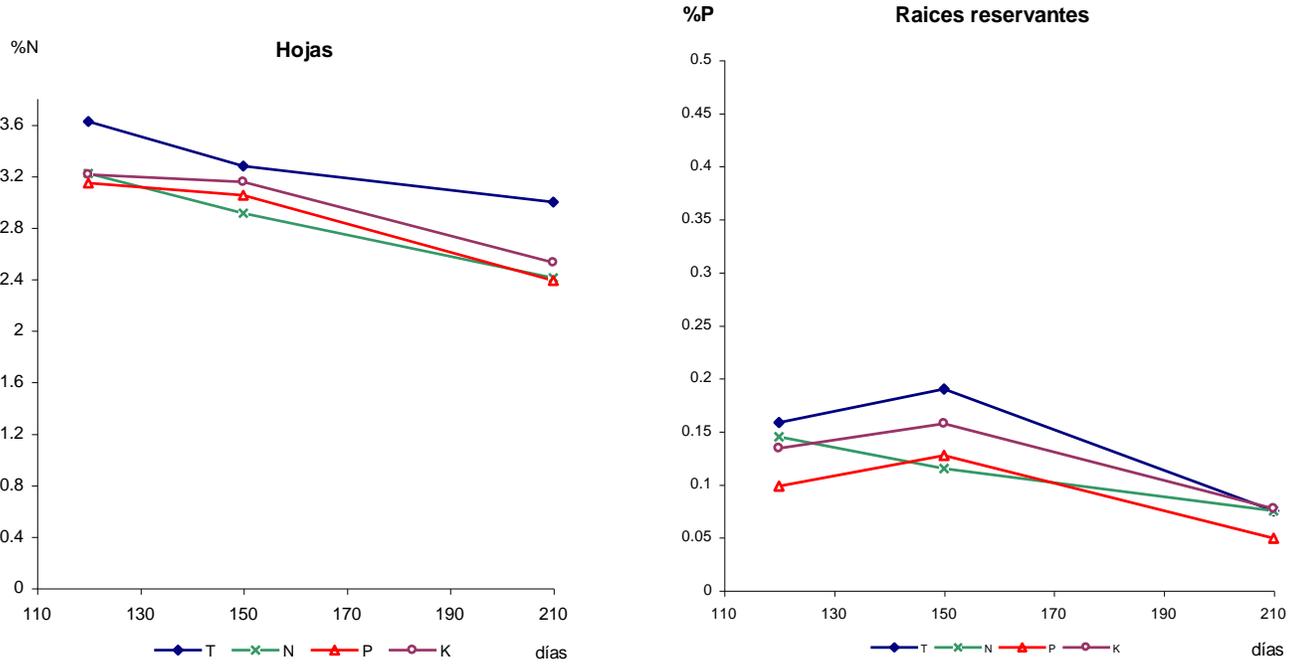


GRÁFICO N° 10 Variación de las concentraciones de fósforo en hojas y raíces Reservantes.

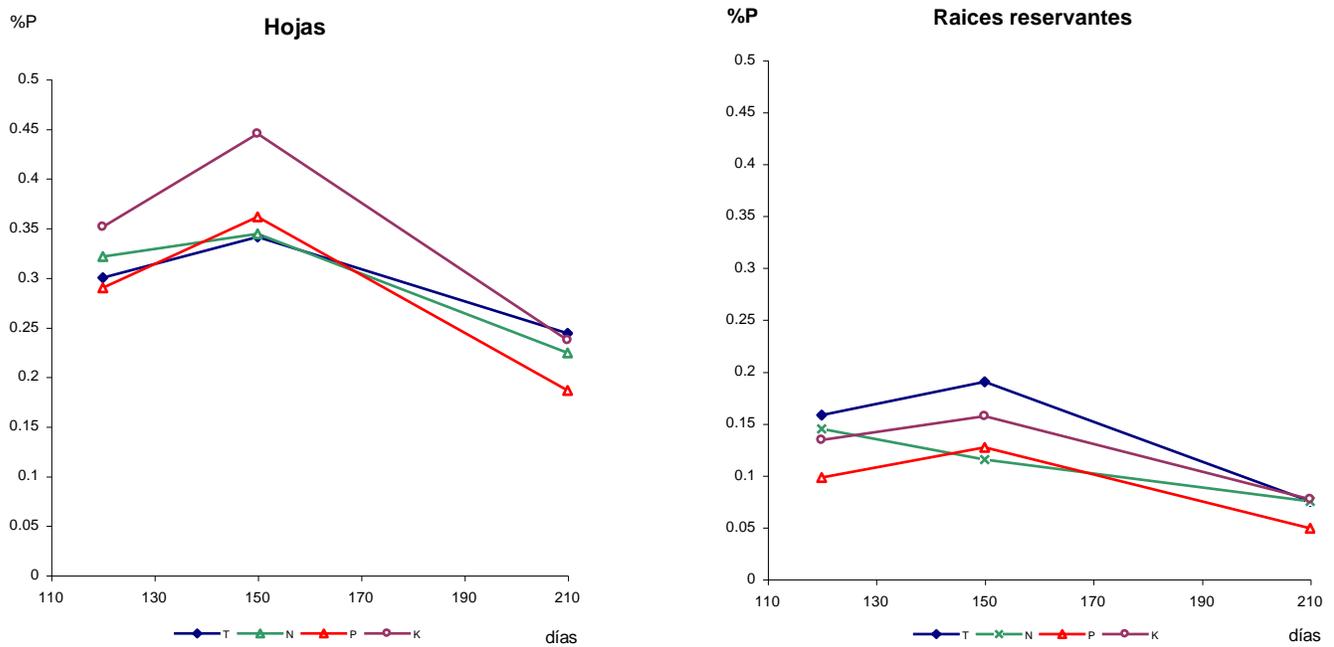
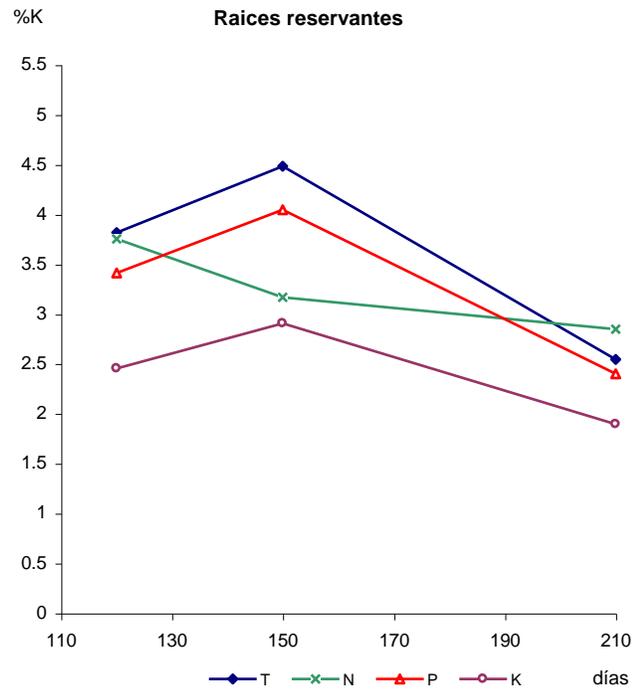
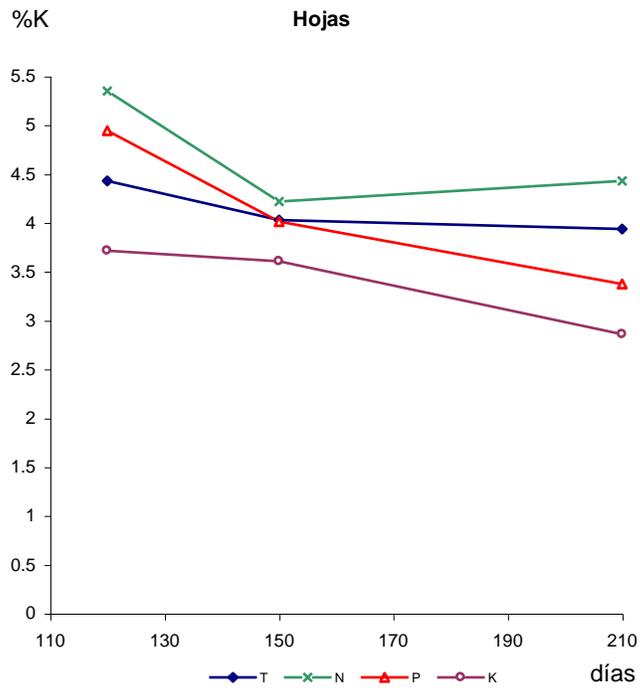


GRÁFICO N° 11 Variación de la concentración de potasio en hojas y raíces reservantes.



#### **4.5. CONCENTRACIÓN DE AZUCARES REDUCTORES EN RAICES RESERVANTES DE YACÓN**

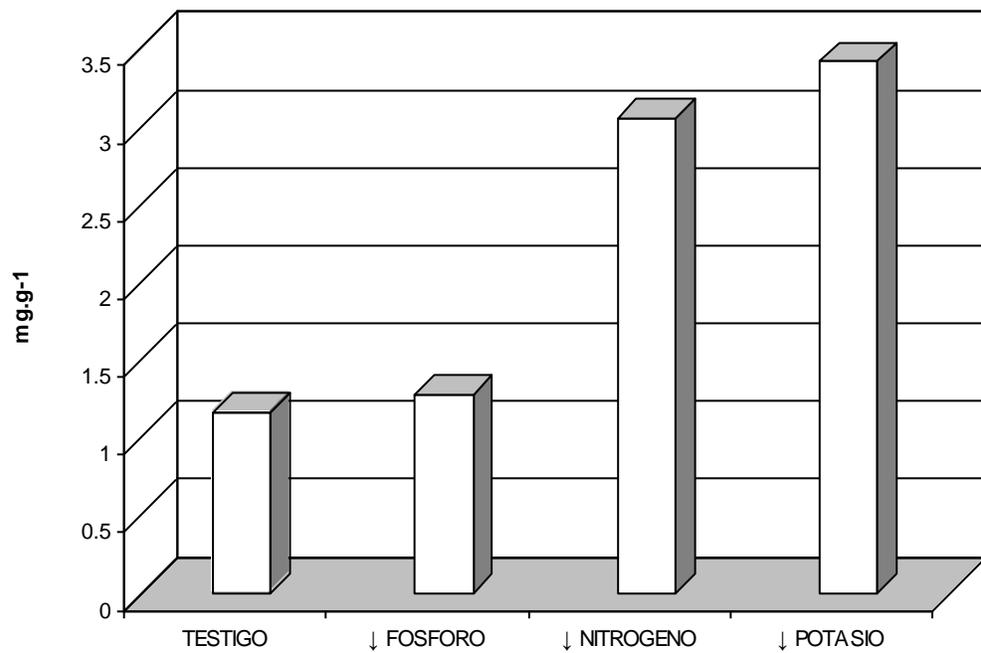
Los azúcares reductores evaluados fueron: glucosa y fructuosa. Azúcares simples, producidos en el proceso de asimilación o fotosíntesis como carbohidratos de reserva para formar después los fructoolisacáridos (FOS), que es el principal carbohidrato de reserva de las raíces reservantes de yacón.

Con las formulaciones de las soluciones marginales evaluadas, se observó que la deficiencia del potasio influyó de manera positiva en la concentración final de azúcares reductores. Esto se explicaría en razón de la inhibición de la síntesis proteica que queda afectada a diversos niveles, por las necesidades de potasio para la síntesis de nitroreductasa y para su activación... por lo que aumenta el acervo de azúcares solubles (Gil, 1995). También, debemos considerar que las evaluaciones se efectuaron después de la cosecha y según Fukai *et al.* 1997, la concentración de azúcares simples (glucosa, fructosa y sacarosa) aumenta al transcurrir; mientras que la concentración de FOS disminuye progresivamente.

Así, entonces el tratamiento bajo en potasio alcanzó mayor concentración ( $3.4 \text{ mg.g}^{-1}$  de materia fresca) seguido por el tratamiento bajo en nitrógeno ( $3.0 \text{ mg.g}^{-1}$  de materia fresca). De igual manera los menores valores se encontraron en el tratamiento bajo en fósforo ( $1.27 \text{ mg.g}^{-1}$  de materia fresca) y testigo ( $1.116 \text{ mg.g}^{-1}$  de materia fresca), respectivamente (Gráfico N° 12).

GRÁFICO N° 12

Concentración de azúcares reductores (mg de glucosa<sup>-1</sup>. de materia fresca) en raíces reservantes a los 210 días.



## 5. CONCLUSIONES

1. La aplicación de la nutrición marginal de nitrógeno, fósforo y potasio no disminuyeron el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de yacón *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl) H. Robinson. Así mismo, estas diferencias no disminuyeron severamente el peso seco total, peso seco de raíces reservantes, índice de área foliar, índice de cosecha e índice de asimilación neta.
2. Se obtuvo producción de raíces reservantes en los 4 tratamientos evaluados, lográndose mayores rendimientos a los 210 días. Con el tratamiento bajo en potasio y bajo en nitrógeno, se alcanzó los mayores valores, seguido por el tratamiento bajo en fósforo y testigo.
3. El tratamiento deficiente en potasio presentó mayor crecimiento y rendimiento en relación a los demás tratamientos e incluso al testigo, significando que la concentración de potasio (100 ppm) en la solución nutritiva marginal de potasio, no ha sido suficientemente baja, como para inducir una severa deficiencia.
4. En general las plantas de yacón alcanzan sus valores más altos, tanto de Índice de crecimiento relativo e Índice de asimilación neta entre los 90 y 150 días, decreciendo hacia el fin del cultivo.
5. En general existe una relación directa entre la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en hojas y raíces reservantes, con la concentración de estos nutrientes, en soluciones marginales evaluadas.

6. Se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en las medias de la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en hojas y raíces reservantes.
7. En general, las raíces reservantes y hojas de yacón contienen en mayor cantidad potasio seguido por nitrógeno y fósforo.
8. En cuanto a la concentración de azúcares reductores, el tratamiento bajo en potasio alcanzó el valor más alto, comprobando que la deficiencia de potasio provoca el aumento de azúcares solubles.

## 6. RECOMENDACIONES

1. Efectuar el análisis químico del sustrato, arena de cantera a fin de poder determinar, la concentración de los minerales que le estaría proporcionando a la planta.
2. Probar con otros ecotipos de yacón y evaluar la concentración de N, P y K, en raíces reservantes y hojas; antes, durante y después de la floración.
3. Utilizar los propágulos, separados de una parte específica de la corona o rizoma, para saber si existiría diferencias en la producción.
4. Considerar las dimensiones de los contenedores, ya que es un cultivo que por lo menos necesita de dos aporques.

## 7. BIBLIOGRAFIA

1. **Amaya, J y Araujo, F.** 2001. Efectos de la relación nitrógeno y potasio sobre la absorción de nutrientes en yacón (*Polymnia sonchifolia*) Poepp & Endl. In: Resúmenes X Congreso Internacional de Cultivos Andinos. San Salvador de Jujuy. Argentina. P 9.
2. **Barceló, J.** 2001. Fisiología Vegetal. Ediciones Pirámide, S.A. – Madrid.
3. **Bazan, R.** 1996. Manual para el análisis químico de suelos, plantas y agua. Fundación Perú. UNALM. Lima – Perú. 55 p.
4. **Bidwell, S.** 1983. Fisiología Vegetal. A. G. T. Editor, S.A. México, DF 784 p.
5. **Buendía, B.** 2001. Evaluación del rendimiento productivo de 25 entradas de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) Poepp & Endl, mediante propagación por estacas en Oxapampa – Pasco.
6. **Cadalia, C.** 1997. Fertirrigación. Cultivos hortícolas ornamentales. Ediciones Mondí - Prensa
7. **Cárdenas, M.** 1989. Manual de Plantas Económicas de Bolivia. “da edición. Ed. Los Amigos del libro. La Paz-Cochabamba. Bolivia.
8. **Espinoza E.** 2002. Manual del Cultivo de Yacón. Huanuco – Perú. 136 p.
9. **Fukai, K; Ohno, S; Goto, K; Nanjo, F y Hara.** 1997. Seasonal fluctuations in fructan content and related enzyme activities in yacón (*Polymnia sonchifolia*). *Soil Science and Plant Nutrition* 43 (1): 171 – 177.
10. **Gil, M.** 1995. Elementos de Fisiología Vegetal. Relaciones Hídricas. Nutrición Mineral. Transporte. Metabolismo. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid – Barcelona – México.
11. **Goto, K; Fukai, K; Hikida, J; Nanjo, F y Hara.** 1995. Isolation and structural analysis of oligosaccharides from yacón (*Polymnia sonchifolia*). *Biosci. Biotech. Biochem.* 59 (12):2346-2347.

12. **Grau, A y Rea, J.** 1997. Yacón (*Smallanthus sonchifolius*) Poepp & Endl H. Robinson. In: Hermann M & J Heller (eds.): Andean roots and tubers: Ahipa, arracacha, maca, yacon. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 21. Institute of Plant genetics and Crop Plant Research, p 199 – 242.
13. **Guardiola, J y García, A.** 1990. Fisiología Vegetal I: Nutrición y Transporte. Editorial Síntesis S. A.
14. **Jackson, KG; Taylor, GRJ; Clohessy AM y Williams, CM.** 1999. The effect of the daily intake of Inulin on fasting lipid, insulin and glucose concentrations in middle-aged men and women. *British Journal of Nutrition* 82: 23-30.
15. **León, J.** 1964. Plantas Alimenticias Andinas. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas IICA. Boletín Técnico N° 6. 112 p.
16. **Lizárraga, L; Ortega, R; Vargas, W. y Vidal, A.** 1997. Cultivo de yacón (*Polymnia sonchifolia*). Pp. 65 – 67. En: Resúmenes del curso pre congreso. IX Congreso Internacional de Cultivos Andinos. Cusco, Perú.
17. **Manrique, I.** 2002. Composición química y efectos del yacón. Pp. 63 – 76. In: El yacón: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio. Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE).
18. **Melgarejo, D.** 1999. Potencial productivo de la colección nacional de yacón (*Smallanthu sonchifolius*) Poeppig & Endlincher. H. Robinson, bajo condiciones de Oxapampa. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Alcides Carrión. Oxapampa – Perú.
19. **Mendieta, M.** 2005. El Yacón cultivo y producción. Ed. Ripalme. Lima – Perú. 135p.
20. **Nina Montiel V.** 1996. El Cultivo del bacón. INIA. Vol. N° 1, 19 p.
21. **Niness KR.** 1999. Inulin and olifruuctose: What are they? *Journal of Nutrition* 129:1402S – 1406S.

22. **Ohyama, T.; Ito, O.; Yasuyoshi, S.; Ikarashi, T.; Minamisawa, K.; Kubota, M.; Asami T.; y Tsukhashi, T.** 1990. Composition of storage carbohydrate in tuber of yacon (*Polymnia sonchifolia*). Soil Sci. Plant Nutr 36: 167-171
23. **Rodríguez Suppo F.** 1996. Nutrición Vegetal. AGT. Editor S. A. México D. F. 158 p.
24. **Seminario J, Valderrama M & Manrique I.** 2003. El yacón: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio. Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), Lima, Perú, 60 p.
25. **Seminario J, Valderrama M.** 2003. I Curso nacional Cultivo y Aprovechamiento del Yacón. 26 – 29 de Agosto 2002. Universidad Nacional de Cajamarca, CIP, Instituto Cuencas – Agroacción Alemana, COSUDE – PYMAGROS.
26. **Somogy, I.** 1945. A new reagent for the determination of sugar. Journal Biology and Chemistry 160, 61-63.
27. **Taboada, H.** 1998. Caracterización agro – botánica de cuarenta y cinco genotipos de Ilacon (*Smallanthus sonchifolius*) bajo condiciones de campo. Universidad Nacional San Antonio Abad de Cusco, Cusco – Perú. P 101.
28. **Taiz L, & Zeiger, E.** 2002. Plant Physiology. 3rd ed. Sinauer Associates Inc. Publishers. Sunderland, Massachussets. EEUU.792 p.
29. **Tsukihashi, T.; Asami, T; Minamisawa, K y Kubota M.** 1991. Effect of nitrogen and potassium fertilizers on the growth and yield of yacón (*Polymnia sonchifolia*). Res. Assoc. Vocational Agri. Japan. 38 (2): 50 – 56.
30. **Vejarano H.** 1982 Nutrición Mineral de las plantas. UNALM – Departamento de Biología. La Molina – Perú. 110 p.
31. **Vilhema, C.; Câmara, A.; Piza, T.; Lima, P.** 2003. Contenido de Frútanos en Raíces Tuberosas de Yacón (*Polimnia sonchifolia*) Cienc. Tecnol. Aliment. Vol. 4, No. 1 pp. 35-40.

## 8. RESUMEN

El siguiente trabajo de investigación se llevó a cabo en el Centro de Investigación en Hidroponía y Nutrición Mineral de la Universidad Nacional Agraria de la Molina. El objetivo principal fue evaluar el efecto de la nutrición marginal con N, P y K sobre el crecimiento y desarrollo del yacón – ecotipo amarillo. Las plantas fueron cultivadas en arena se cantera y regadas con cuatro soluciones nutritivas diferentes: 1) testigo (150 ppm, 36 ppm y 260 ppm) 2) bajo en N (100 ppm) 3) bajo en P (20 ppm) 4) bajo en K (100 ppm). El estudio se llevo a cabo entre Julio del 2002 y Marzo del 2003. El sistema de nutrición se llevo a cabo mediante un sistema de riego manual. Los primeros 60 días, se regaron con la solución nutritiva testigo (100 ml). Apartir de ese momento, fueron regadas con las soluciones marginales e incrementándose de acuerdo al crecimiento de la planta.

Entre los resultados se obtuvo que, el mayor y menor rendimiento se alcanzó con los tratamientos bajo en K y testigo, respectivamente. La nutrición marginal de N, P y K no afectó significativamente el crecimiento y rendimiento del cultivo de yacón entre los 60 y 180 días después de la siembra (dds) pero sí a los 210 dds. No se han encontrado diferencias significativas en cuanto a las concentraciones de N, P y K en hojas y raíces reservantes. Hubo una mayor extracción de K, en raíces reservantes que en hojas. Las mayores concentraciones de azúcares reductores en raíces reservantes se alcanzaron con los tratamientos bajo en K y N y las menores concentraciones, con los tratamientos bajo en P y testigo, respectivamente.

# ANEXOS

## ANEXO 1

## CRONOLOGIA DE LA CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO

<b>Fecha</b>	<b>Actividad</b>
17-07-2002	Siembra de almácigos de yacón
20-07-2002	Preparación de soluciones nutritivas marginales concentradas
19-09-2002	1° muestreo
21-09-2002	Aplicación de Confidor
28-09-2002	Aplicación de Confidor
04-10-2002	2° muestreo
24-10-2002	3° muestreo
13-11-2002	4° muestreo
14-11-2002	Primer aporque
29-11-2002	5° muestreo
23-12-2002	Aplicación de Omite
27-12-2002	Aplicación de Omite
30-12-2002	Inicio floración
30-12-2002	6° muestreo
29-01-2003	Aplicación de micronutrientes
30-01-2003	7° muestreo
31-01-2003	Aplicación de Omite
19-02-2003	Aplicación de Fetrilon
26-02-2003	Aplicación de Solución B
02-03-2003	8° muestreo
05-03-2003	Aplicación de Solución B
07-03-2003	Cosecha final
08-04-2003	Determinación de azúcares reductores
01-08-2003	Determinación de análisis foliar

## ANEXO 2

**DATOS METEREOLÓGICOS DE LA MOLINA DURANTE EL PERÍODO  
EXPERIMENTAL: JULIO 2002 – ABRIL 2003**

	<b>JUL.</b>	<b>AGO.</b>	<b>SET.</b>	<b>OCT.</b>	<b>NOV.</b>	<b>DIC.</b>	<b>ENE.</b>	<b>FEB.</b>	<b>MAR.</b>
<b>Horas de sol (h)</b>	58	22	82.2	110.5	117.7	140.3	124.3	179.4	227.2
<b>Evaporación Tipo A (mm)</b>	38.1	25.6	60.6	76	108.6	69.6	106.7	117.9	134.7
<b>T° mín. (°C)</b>	13.7	13.5	13.8	14.8	16	17.1	19.6	20.7	19.4
<b>T° máx. (°C)</b>	17.2	17.6	19.8	22	22.7	25	26.8	29.3	28.8
<b>Radiación Circum Global (Ly/mes)</b>	4299.7	3840.0	7952.8	10242.7	9527.8	7843.8	10592.8	10398.3	12837.5
<b>Humedad Relativa (%)</b>	92	93	89	85	85	83	84	80	80
<b>Precipitación (mm)</b>	2	5.6	1.9	1.5	0.4	TZ	0.3	TZ	0.1

TZ = precipitación mínima

Fuente: Observatorio Meteorológico Alexander Von Humbolt de la UNALM

## ANEXO 3

**A. Análisis de variancia del área foliar en hojas de yacón a los 120 dds**

F de V	Gl	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	170.162	56.720	0.17	0.91
Error Exp.	8	2702.553	337.819		
Total	11	2872.715			

C. V. = 27.89

**B. Análisis de variancia de peso fresco aéreo del yacón (tallo + hojas) a los 120 dds**

F de V	Gl	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	12872.416	4290.805	0.18	0.90
Error Exp.	8	186254.833	23281.85		
Total	11	199127.250			

C. V. = 35.177

**C. Análisis de variancia de peso fresco subterráneo del yacón (raíces reservantes) a los 120 dds**

F de V	Gl	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	26139.416	8713.138	0.60	0.63
Error Exp.	8	115684.00	14460.500		
Total	11	141823.41			

C. V. = 47.17

**D. Análisis de variancia de peso fresco total del yacón a los 120 dds**

F de V	Gl	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	66258.500	22086.166	0.45	0.72
Error Exp.	8	394860.66	49357.583		
Total	11	461119.16			

C. V. = 27.34

**E. Análisis de variancia de peso seco aéreo del yacón a los 120 dds**

F de V	Gl	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	56.622	18.874	0.08	0.97
Error Exp.	8	2006.706	250.838		
Total	11	2063.329			

C. V. = 34.20

**F. Análisis de variancia de peso seco subterráneo del yacón a los 120 dds**

F de V	Gl	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	270.430	90.143	0.59	0.63
Error Exp.	8	1223.860	152.982		
Total	11	1494.290			

C. V. = 39.70

**G. Análisis de variancia de peso seco total del yacón a los 120 dds**

F de V	Gl	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	382.909	127.636	0.21	0.88
Error Exp.	8	4859.333	607.416		
Total	11	5242.242			

C. V. = 25.81

**ANEXO 4****A. Análisis de variancia del área foliar en hojas de yacón a los 150 dds**

F de V	Gl	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	343.261	114.420	0.56	0.65
Error Exp.	8	1639.762	204.970		
Total	11	1983.023			

C. V. = 21.84

**B. Análisis de variancia de peso fresco aéreo del yacón (tallo + hojas) a los 150 dds**

F de V	Gl	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	24130.916	8043.638	0.76	0.54
Error Exp.	8	84363.333	10545.416		
Total	11	108494.250			

C. V. = 15.60

**C. Análisis de variancia de peso fresco subterráneo del yacón (raíces reservantes) a los 150 dds**

F de V	Gl	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	97008.395	32336.131	1.18	0.37
Error Exp.	8	218749.333	27343.667		
Total	11	315757.72			

C. V. = 40.7

**D. Análisis de variancia de peso fresco total del yacón a los 150 dds**

F de V	Gl	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	61112.729	20370.909	0.28	0.83
Error Exp.	8	585431.333	73178.916		
Total	11	646544.062			

C. V. = 22.12

**E. Análisis de variancia de peso seco aéreo del yacón a los 150 dds**

F de V	Gl	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	312.375	104.125	0.46	0.71
Error Exp.	8	1820.053	227.506		
Total	11	2132.429			

C. V. = 18.306

**F. Análisis de variancia de peso seco subterráneo del yacón a los 150 dds**

F de V	Gl	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	2793.482	931.160	0.47	0.70
Error Exp.	8	15754.986	1969.373		
Total	11	18548.469			

C. V. = 80.77

**G. Análisis de variancia de peso seco total del yacón a los 150 dds**

F de V	Gl	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	15352.329	5117.443	0.57	0.64
Error Exp.	8	71459.080	8932.385		
Total	11	86811.409			

C. V. = 53.5

**ANEXO 5****A. Análisis de variancia del área foliar en hojas de yacón a los 210 dds**

F de V	Gl	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	3835.965	1278.655	1.47	0.293
Error Exp.	8	6936.7132	867.089		
Total	11	10772.678	2145.744		

C. V. = 32.192

**B. Análisis de variancia de peso fresco aéreo del yacón (tallo + hojas) a los 210 dds**

F de V	Gl	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	313974.973	104658.324	1.47	0.2950
Error Exp.	8	570916.906	71364.613		
Total	11	884891.880	176022.937		

C. V. = 24.051

**C. Análisis de variancia de peso fresco subterráneo del yacón (raíces reservantes) a los 210 dds**

F de V	Gl	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	1086822.917	362274.306	3.48	0.0703
Error Exp.	8	832500.000	104062.500		
Total	11	1919322.917	466336.806		

C. V. = 21.357

**D. Análisis de variancia de peso fresco total del yacón a los 210 dds**

F de V	Gl	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	1446017.247	482005.749	1.53	0.2802
Error Exp.	8	2522550.180	315318.773		
Total	11	3968567.427	797324.522		

C. V. = 19.477

**E. Análisis de variancia de peso seco aéreo del yacón a los 210 dds**

F de V	Gl	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	7693.536	2564.51222	1.60	0.2637
Error Exp.	8	12804.080	1600.51000		
Total	11	20497.616	4165.02222		

C. V. = 20.871

**F. Análisis de variancia de peso seco subterráneo del yacón a los 210 dds**

F de V	Gl	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	20849.459	6949.8198	3.25	0.0813
Error Exp.	8	17130.027	2141.2534		
Total	11	37979.487	9091.0732		

C. V. = 20.327

**G. Análisis de variancia de peso seco total del yacón a los 210 dds**

F de V	Gl	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	35094.14763	11698.04921	1.55	0.2747
Error Exp.	8	60272.04747	7534.00593		
Total	11	95366.19509	19232.05514		

C. V. = 18.715

## ANEXO 6

## ANALISIS FOLIAR

## ANALISIS DE VARIANCIA DE CONCENTRACIÓN DE NITROGENO (%)

En hojas de yacón a los 120 dds

F de V	Gl	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	0.424	0.141	7.62	0.0103
Error Exp.	8	0.150	0.018		
Total	11	0.575	0.159		

C. V. = 4.157

En raíces reservantes de yacón a los 120 dds

F de V	Gl	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	0.085	0.028	1.04	0.423
Error Exp.	8	0.218	0.027		
Total	11	0.304	0.055		

C. V. = 16.263

En hojas de yacón a los 150 dds

F de V	Gl	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	0.2140	0.071	4.78	0.0342
Error Exp.	8	0.1194	0.014		
Total	11	0.3335	0.085		

C. V. = 3.943

En raíces reservantes de yacón a los 150 dds

F de V	Gl	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	0.5108	0.170	8.22	0.0079
Error Exp.	8	0.1656	0.020		
Total	11	0.6765	0.190		

C. V. = 15.774

En hojas de yacón a los 210 dds

F de V	Gl4	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	0.724	0.241	6.94	0.0129
Error Exp.	8	0.278	0.034		
Total	11	1.003	0.275		

C. V. = 7.231

En raíces reservantes de yacón a los 210 dds

F de V	Gl4	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	0.117	0.039	2.18	0.1688
Error Exp.	8	0.143	0.017		
Total	11	0.261	0.056		

C. V. = 23.447

## ANEXO 7

### ANALISIS DE VARIANCIA DE CONCENTRACIÓN DE FOSFORO (%)

En hojas de yacón a los 120 dds

F de V	Gl4	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	0.006	0.0021	1.00	0.4412
Error Exp.	8	0.017	0.0021		
Total	11	0.024	0.0042		

C. V. = 14.802

En raíces reservantes de yacón a los 120 dds

F de V	Gl4	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	0.0034	0.0011	2.01	0.1910
Error Exp.	8	0.0045	0.0005		
Total	11	0.0079	0.0016		

C. V. = 17.393

En hojas de yacón a los 150 dds

F de V	Gl4	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	0.021	0.0072	1.65	0.2542
Error Exp.	8	0.035	0.0044		
Total	11	0.056	0.0116		

C. V. = 17.792

En raíces reservantes de yacón a los 150 dds

F de V	Gl4	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	0.0106	0.0035	10.62	0.0037
Error Exp.	8	0.0026	0.0003		
Total	11	0.0133	0.0038		

C. V. = 12.286

En hojas de yacón a los 210 dds

F de V	Gl4	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	0.0061	0.0020	2.15	0.1722
Error Exp.	8	0.0076	0.0009		
Total	11	0.0138	0.0029		

C. V. = 13.893

En raíces reservantes de yacón a los 210 dds

F de V	Gl4	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	0.0016	0.0005	4.60	0.0375
Error Exp.	8	0.0009	0.0001		
Total	11	0.0026	0.0006		

C. V. = 15.955

## ANEXO 8

## ANALISIS DE VARIANCIA DE CONCENTRACIÓN DE POTASIO

En hojas de yacón a los 120 dds

F de V	Gl4	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	4.438	1.479	1.90	0.207
Error Exp.	8	6.220	0.777		
Total	11	10.659	2.256		

C. V. = 19.131

En raíces reservantes de yacón a los 120 dds

F de V	Gl4	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	1.412	0.470	4.04	0.050
Error Exp.	8	0.932	0.116		
Total	11	2.344	0.586		

C. V. = 9.794

En hojas de yacón a los 150 dds

F de V	Gl4	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	3.313	1.104	0.77	0.5439
Error Exp.	8	11.520	1.440		
Total	11	14.833	2.544		

C. V. = 32.633

En raíces reservantes de yacón a los 150 dds

F de V	Gl4	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	4.892	1.630	1.81	0.2231
Error Exp.	8	7.203	0.900		
Total	11	12.096	2.530		

C. V. = 25.986

En hojas de yacón a los 210 dds

F de V	Gl4	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	4.162	1.387	5.45	0.0246
Error Exp.	8	2.035	0.254		
Total	11	6.198	1.641		

C. V. = 13.820

En raíces reservantes de yacón a los 210 dds

F de V	Gl4	SC	CM	Fc	F $\alpha$
Tratamiento	3	1.428	0.476	4.36	0.0425
Error Exp.	8	0.873	0.109		
Total	11	2.301	0.585		

C. V. = 13.641

## ANEXO 9

### RESULTADOS DE LA DENSIDAD OPTICA (D. O.) PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CURVA ESTÁNDAR DE GLUCOSA.

Curva de estándar de glucosa

[ ] de glucosa	D. O.
0	21
0.25	212
0.5	258
1	355
2	365
4	750

$$Y = 153.43 X + 128.66$$

## Curva de estándar de glucosa corregida

[ ] de glucosa mg/ml	D. O.
0	128.657
0.25	167.013
0.5	205.370
0.75	243.727
1	282.083
1.25	320.440
1.5	358.797
1.75	397.153
2	435.510
2.25	473.867
2.5	512.223
2.75	550.580
3	588.937
3.25	627.293
3.5	665.650
3.75	704.007
4	742.364

**RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE GLUCOSA EN LAS MUESTRAS DE**

T: testigo, N: bajo en nitrógeno, P: bajo en fósforo, K: bajo en potasio.

	D. O. de muestras	mg/ml del tubo	mg/ml real (x10)	mg azúcar total (x2.5)	g azúcares totales (/1000)	g azúcar/ g yacón (/15)	g azúcar / 100g yacón
T	280	0.98641762	9.86417618	24.66044046	0.02466044	0.00164403	0.16440294
T	202	0.47803153	4.78031529	11.95078823	0.011950788	0.00079672	0.07967192
T	226	0.63445802	6.34458018	15.86145045	0.01586145	0.00105743	0.105743
N	440	2.02926088	20.2926088	50.73152196	0.050731522	0.0033821	0.33821015
N	300	1.11677303	11.1677303	27.91932565	0.027919326	0.00186129	0.18612884
N	490	2.3551494	23.551494	58.87873493	0.058878735	0.00392525	0.3925249
P	254	0.81695559	8.16955589	20.42388971	0.02042389	0.00136159	0.13615926
P	264	0.88213329	8.82133292	22.05333231	0.022053332	0.00147022	0.14702222
P	220	0.5953514	5.95351396	14.8837849	0.014883785	0.00099225	0.09922523
K	450	2.09443858	20.9443858	52.36096455	0.052360965	0.00349073	0.3490731
K	465	2.19220514	21.9220514	54.80512844	0.054805128	0.00365368	0.36536752
K	415	1.86631662	18.6631662	46.65791547	0.046657915	0.00311053	0.31105277