

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**Escuela Académico Profesional de Agronomía**



**INTERACCIÓN DE TRES SUSTRATOS Y TRES MORFOTIPOS  
EN LA PROPAGACIÓN DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*  
(*Poepp & Endl.*) *H. Rob.*) MEDIANTE NUDOS DE TALLO**

**TESIS**

**Para optar el título profesional de**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**Presentado por el Bachiller**

**ARNULFO GIORDANO ALVAREZ CABRERA**

**ASESOR**

**Dr. Juan Francisco Seminario Cunya**

**Cajamarca – Perú**

**- 2017 -**

## **DEDICATORIA**

A mis Padres Arnulfo y Rosa  
por el apoyo incondicional que me  
brindaron en todo momento, por sus  
consejos y mencionar en este texto,  
que son el ejemplo de mi vida.

A mis hermanas Paola y Fiorela,  
quienes son las personas que  
están en los momentos de  
felicidad y tristeza.

A mi hijo Adrián que es el motivo  
de seguir adelante para  
superarme como persona y  
profesionalmente.

**EL AUTOR**

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso mi agradecimiento A Dios por sobre todas las cosas, que me ha brindado la oportunidad de existir y ser útil en este paso por la vida.

A Mis padres Rosa y Arnulfo, que siempre me apoyaron ya sea económica y moralmente.

A mi abuela Consuelo Romero quien me aconsejó como una madre.

De manera especial al Dr. Juan Francisco Seminario Cunya, por su apoyo constante y ser una persona que aporta bastante a la investigación.

A todos los Docentes de la Escuela Académico Profesional de Agronomía, por las enseñanzas que compartieron durante mi formación profesional.

***EL AUTOR***

## ÍNDICE

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
Resumen	<i>i</i>
Abstrac	<i>ii</i>
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Antecedentes teóricos de la investigación	3
2.2. Generalidades sobre el yacón	5
2.2.1. Descripción de la especie	5
2.3. Tipos de propagación del yacón	6
2.3.1. Propagación por porciones de cepa	7
2.3.2. Propagación por brotes enraizados en la cepa	7
2.3.3. Propagación por esquejes de tallo	8
2.3.4 Propagación por nudos individuales	8
2.4. Función de la materia orgánica (humus) en el sustrato	9
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	12
3.1 Ubicación de la Investigación	12
3.2. Materiales	12
3.3 Metodología	15
3.3.1 Factores, niveles y tratamientos en estudio	15
3.3.2. Diseño experimental utilizado	15

3.3.3. Obtención del material vegetativo	16
3.3.4. Preparación del material vegetativo	17
3.3.5. Instalación de camas y preparación del sustrato	18
3.3.6. Sustratos utilizados en el experimento	21
3.3.7. Plantación de los nudos	23
3.3.8. Manejo agronómico	24
3.3.9. Evaluaciones realizadas	26
3.3.10 Manejo de datos y análisis de la información	29
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	30
4.1. Número de nudos enraizados	30
4.2. Número de raíces por nudos	31
4.3. Largo de raíz	32
4.4. Número de brotes por nudo	34
4.5. Largo de brotes	36
4.6. Número de hojas por brote	37
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	41
CAPÍTULO VI. LITERATURA CITADA	42
ANEXOS	45

## ÍNDICE DE TABLAS

Número	Página
1. Propiedades generales del humus y sus efectos en el suelo	10
2. Descripción de los tres morfotipos de yacón usados en el experimento	13
3. Fenología (días) de tres morfotipos de yacón de Cajamarca	13
4. Factores niveles y tratamientos en estudio	15
5. Números de nudos por hectárea.	16
6. Análisis químico de los sustratos utilizados en el experimento.	21
7. Análisis químico del Humus de lombriz y el aserrín.	22
8. Análisis químico de las mezclas de los sustratos utilizados	22
9. Análisis de variancia (ANVA) para la variable número de nudos enraizados, de tres morfotipos de yacón en 3 sustratos, a 47 días después de la plantación	30
10. Prueba de significación de Tukey al 5 % de probabilidades para números de brotes por nudo de tres morfotipos de yacón en tres sustratos, a 47 días después de la plantación	31
11. Análisis de variancia (ANVA) para la variable número de raíces por nudo de yacón, a 47 días de haber sido plantados	32
12. Prueba de significación de Tukey al 5 % de probabilidades para número de raíces por nudo en tres morfotipos de yacón en tres sustratos, a 47 días después de la plantación	32
13. Análisis de variancia (ANVA) para la variable largo de raíz de tres morfotipos de yacón en tres sustratos 47 días después de la plantación.	33
14. Prueba de significación de Tukey al 5 % de probabilidades para largo de raíz en los tres morfotipos de yacón en tres sustratos, a 47 días después de la plantación.	34
15. Análisis de variancia (ANVA) para la variable número de brotes por nudo de tres morfotipos de yacón en tres sustratos, 47 días después de la plantación	35
16. Prueba de significación de Tukey al 5% de probabilidades para número de brotes por nudo en tres morfotipos de yacón en tres sustratos a los 47 días después de la plantación	35

17. Análisis de variancia (ANVA) para la variable largo de brotes de tres morfotipos de yacón en tres sustratos, 47 días después de la plantación.	36
18. Prueba de significación de Tukey al 5 % de probabilidades para la largo de brotes de tres morfotipos de yacón en tres sustratos, 47 días después de la plantación.	37
19. Análisis de variancia (ANVA) para el variable número de hojas por brote en tres morfotipos de yacón en tres sustratos, 47 días después de la plantación.	37
20. Prueba de significación de Tukey al 5 % de probabilidades para el número de hojas por brotes en tres morfotipos de yacón en tres sustratos, 47 días después de la plantación.	38
21. Prueba de significación de Tukey al 5 % de probabilidades para el número de hojas por brote en tres morfotipos de yacón en tres sustratos, 47 días después de la plantación.	38
22. Resumen cuadrados medios y significación del ANOVA para las variables evaluadas.	39
23. Resumen de pruebas de significación de Tukey al 5 % de probabilidades para las variables evaluadas del factor sustrato.	39
24. Resumen de pruebas de significación de Tukey al 5 % de probabilidades para las variables evaluadas del factor morfotipo .	39
25. Resumen de variables y fuentes de variación para las cuales se encontró significación estadística y los mejores tratamientos, según las pruebas de Tukey	40
26. Resultados del análisis del sustrato aserrín.	46
27. Resultado del análisis del sustrato Humus de lombriz.	47
28. Resultado del análisis del sustrato tierra agrícola .	48
29. Resultados del análisis del sustrato tierra agrícola más Humus de lombriz en la proporción 1:1	49
30. Resultados del análisis del sustrato tierra agrícola más aserrín en la proporción 1:1	50
31. Resultados del análisis del sustrato arena de cerro.	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

Número	Página
1. Plantas de yacón en estado de floración	13
2. Tallos de los tres morfotipos	13
3. Izquierda: Preparación de sustratos Derecha: disposición de los sustratos en los bloques, según los tratamientos en estudio	14
4. Tallos de los tres morfotipos en estudio A) Púrpura B) Verde claro C) Verde oscuro	17
5. Tallos seleccionados de los tres morfotipos	17
6. Eliminación de hojas dejando solamente tallos	17
7. Instalación de camas o bandejas antes de colocar los sustratos	18
8. Croquis del experimento en el invernadero	20
9. Mezcla de sustratos tierra agrícola más humus 1:1)	23
10. Lavado de la arena de cerro	23
11. Disposición de los tratamientos en un bloque	23
12. Disposiciones de los tratamientos en los tres bloques	24
13. Realizando el riego para mantener la humedad en capacidad de campo	24
14. Brotes con sus primeras hojas y presencia de malezas	25
15. Control de malezas con deshierbo manual	25
16. Nudos enraizados con brotes, extraídos para la evaluación final	26
17. Plántula procedente de nudo de morfotipo verde oscuro a los 47 días después de la plantación	27
18. Medición del largo de raíz con regla milimetrada	27
19. Morfotipo verde oscuro en tierra más humus a los 21 días de La plantación	28
20. Morfotipo púrpura en tierra más humus a los 21 días de la plantación	28
21. Plántula del morfotipo verde oscuro con raíces y hojas bien formadas	29



22.	Armado de bandejas del experimento con madera y las divisiones con triplay	52
23.	Llenado de bandejas con los sustratos en estudio	52
24.	Sustratos listos para sembrar los nudos	52
25.	Tallos de los tres morfotipos extraídos y listos para obtener los brotes	52
26.	Eliminación de hojas para cortar los nudos de los tres morfotipos en estudio	53
27.	Nudos de 4 cm obtenidos de los tallos de yacón	53
28.	Realizando el riego tratando de mantener la humedad apropiada del suelo del suelo	53
29.	Monitoreo del experimento en los siete primeros días de instalados	53
30.	Crecimiento de hojas en los nudos a los siete días después de la plantación	54
31.	Observación de los tratamientos a los siete días después de la plantación	54
32.	Nudo extraído del sustrato arena de cerro a los siete días de haber sido plantados.	54
33.	Nudo sembrado en el sustrato de arena, a los siete días de haber sido plantados.	54
34.	Nudo de yacón del morfo tipo verde oscuro después de catorce días de haber sido plantados en el sustrato de tierra más aserrín	55
35.	Nudo de yacón del morfo tipo púrpura después de 14 días de haber sido plantados en el sustrato de arena de cerro	55
36.	Vista de los tres bloques después a los 14 días después de la plantación	55
37.	Inspección del experimento a los 14 días después de la plantación	55
38.	Nudo de yacón extraído del sustrato tierra más aserrín a los 21 días después de la plantación	56
39.	Tratamientos a los 21 días después de la plantación	56

40.	Nudo del morfotipo púrpura en el sustrato de tierra más humus a los 28 días después de la plantación donde se aprecia raíces primarias y secundaria	56
41.	Raíces primarias y secundarias en el morfotipo verde en el sustrato arena, a los 28 días después de la plantación	56
42.	Estado de los bloques a los 35 días después de la plantación	57
43.	Raíces del morfotipo verde oscuro en el sustrato tierra agrícola más aserrín (1:1)	57
44.	Nudo enraizado del morfotipo verde oscuro extraído del sustrato arena de cerro a los 35 días después de la plantación	57
45.	Nudo del morfotipo verde oscuro extraído del sustrato tierra agrícola más humus después de 35 después de la plantación	57
46.	Nudos del morfotipo púrpura en el sustrato tierra más humus donde se aprecia, los brotes con varios nudos y hojas bien formados a los 35 días de después de la plantación	58
47.	Nudos de morfotipo verde oscuro en el sustrato tierra más humus donde se aprecia las raíces, nudos y hojas bien formados a los 35 días de haber sido plantados.	58
48.	Nudos del morfotipo verde en el sustrato tierra más humus los que fueron extraídos para observar sus características a los 47 días después de la plantación	58
49.	Toma de datos cuantitativos (largo de raíz número de nudos, tamaño de hoja, tamaño de brote)	58
50.	Nudos de cada tratamiento, extraídos para la evaluación final	59
51.	Nudo del morfotipo verde oscuro, transformado en una nueva planta con raíces y brotes bien conformados.	59

## Resumen

El objetivo de la presente investigación fue determinar la interacción de los sustratos arena, tierra agrícola + humus (1:1) y tierra agrícola + aserrín de pino (1:1) y tres morfotipos, en la propagación de yacón mediante nudos de tallo. Los nudos se obtuvieron de plantas de 8 meses de edad, fueron tratados con hipoclorito de sodio comercial al 5 % y plantados bajo invernadero, en líneas separadas a 10 cm y 10 cm entre ellos. Se usó el Diseño Bloque Completo al Azar, con nueve tratamientos (3 sustratos x 3 morfotipos) y tres repeticiones, dispuestos en arreglo factorial. Las variables evaluadas fueron número de brotes por nudos, número de nudos enraizados, número total de raíces primarias, número de hojas con brote, largo de brotes, largo de raíz. El brotamiento de los nudos y las primeras raíces se hicieron evidentes a los 14 días después de plantación, sin diferencia estadística significativa entre los tratamientos, en ambos casos. No se encontró interacción entre sustrato y morfotipo para las variables evaluadas. Sin embargo, las plántulas que se propagaron en tierra agrícola + humus, mostraron mejores cualidades (mayor altura, mayor número de pares de hojas, mayor número de raíces) que las producidas en tierra agrícola + aserrín y en arena. El morfotipo verde oscuro presentó las mejores características de plántulas.

**Palabra clave:** *Smallanthus sonchifolius*, yacón, propagación, nudos, sustratos, interacción.

## **Abstract**

The objective of the present research was to determine the interaction of sand, agricultural soil + humus (1: 1) and agricultural soil + pine sawdust (1: 1) and three morphotypes in the propagation of yacon by means of stem knots. Knots were obtained from 8-month-old plants, treated with 5% commercial sodium hypochlorite and planted under greenhouse, in separate lines at 10 cm and 10 cm between them. The Full Batch Block Design was used, with nine treatments (3 substrates x 3 morphotypes) and three replicates, arranged in a factorial arrangement. The variables evaluated were number of shoots per node, number of rooted knots, total number of primary roots, number of leaves with outbreak, length of shoots, root length. The sprouting of the knots and the first roots became evident at 14 days after planting, with no statistically significant difference between the treatments, in both cases. No interaction between substrate and morphotype was found for the variables evaluated. However, seedlings that propagated on agricultural land + humus, showed better qualities (greater height, more pairs of leaves, more roots) than those produced in agricultural land + sawdust and in sand. The dark green morphotype presented the best characteristics of seedlings.

**Keyword:** yacón, yacon, propagation, knots, substrates, interaction

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl. H. Rob.) es una planta originaria de la zona andina que fue domesticada y cultivada por los antiguos peruanos desde la época pre Inca. Tradicionalmente se encuentra cultivado como planta de borde o dentro de los huertos familiares. Además de ser rústico y tener altos rendimientos (30 t ha<sup>-1</sup> en promedio), está ampliamente distribuido y puede adaptarse fácilmente a ecologías de costa, valles interandinos y selva alta, hasta los 3 500 m de altitud. Se consume como fruta fresca y posee importantes propiedades nutraceuticas, lo que quiere decir que además de ser alimento, también es medicina (Valderrama 2005).

El yacón es de propagación principalmente asexual. Este aspecto es importante y existe demanda de información sobre las, técnicas de propagación, debido a la escasez de propágulo y la necesidad de acortar el tiempo para obtener los mismos. En el norte peruano, la forma tradicional de propagación es mediante porciones de cepa o corona, las cuales, por lo general, se obtiene después de la cosecha. Esta práctica tiene dos inconvenientes. En primer lugar, la tasa de multiplicación es de sólo 12 propágulos en promedio por cepa o planta y en segundo lugar, para obtener estos propágulo hay que esperar 10 a 12 meses (Seminario *et al.* 2001, Seminario y Valderrama 2003).

Estudios realizados por Seminario *et al.* (2001) y Valderrama (2003), demostraron que el yacón puede propagarse con eficiencia mediante esquejes y nudos de tallo, alcanzando tasas de multiplicación de hasta 26 % y 165 % superiores, respectivamente, en relación a la tasa de multiplicación por porciones de cepa.

En estudios anteriores se encontró que el promedio de nudos enraizados en área de arena lavada, en tres morfotipos del norte peruano, fue de 61 %, alcanzando el máximo valor (81 %) en el morfotipo verde claro, cuya diferencia fue estadísticamente significativa, en relación a los morfotipos. De acuerdo a estos resultados y observaciones preliminares de los autores, se recomendó

realizar ensayos de producción de plántulas a partir de nudos en sustratos diferentes a la arena de río, debido a que se sospecha que la calidad del sustrato está influenciado en la tasa de enraizamiento y en la producción de plántulas aptas para el trasplante. Se considera que la calidad del sustrato puede influir, tanto por los nutrientes que contiene como a través de la cantidad de calor que mantiene, la cual está relacionada a su vez, con el color del mismo (más calor si es más oscuro) y con la proporción de sus componentes.

La presente investigación tuvo el propósito de evaluar la interacción de tres morfotipos de yacón con el efecto de tres sustratos, para la producción de plántulas, en condiciones de ser trasplantadas a campo definitivo.

Dos aspectos se necesitan conocer a plenitud. Por un lado, el efecto de diferentes sustratos en la propagación por nudos de los morfotipos más comerciales y por otro, la probable interacción entre los sustratos y los morfotipos. De este modo, se conocerá la forma de obtener la mejor tasa de multiplicación para los principales morfotipos y como obtener plántulas de mejor calidad para campo definitivo.

En este contexto se realizó la presente investigación con propósito de evaluar la interacción entre tres sustratos de fácil disponibilidad y los tres morfotipos de yacón más cultivados en la región, propagados por nudos de tallo. El objetivo planteado fue evaluar la interacción de tres sustratos (arena, tierra agrícola + humus y tierra agrícola + aserrín de pino) y tres morfotipos (verde claro, púrpura y verde oscuro) en la propagación del yacón mediante nudos de tallos.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. Antecedentes teóricos de la investigación

El yacón, (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl. H. Rob.) (Asteraceae), es una especie andina que en los últimos años ha concitado mucho interés debido a los azúcares que contiene en sus raíces reservantes, que son de aplicación en alimentación y medicina (Seminario *et al.* 2000). La Universidad Nacional de Cajamarca (UNC) realiza trabajos en las especies desde hace 16 años y mantiene una colección de germoplasma consistente en más de 100 entradas, procedentes básicamente del norte peruano. En este germoplasma se identificaron siete morfotipos, diferenciados por características cualitativas de alto valor discriminatorio (Seminario y Valderrama 2001).

El yacón se puede propagar por brotes, los que se obtiene de las cepas, una vez cosechas las raíces (Léon 1964). También responde bien a la propagación *in vitro* (Estrella 1994). Sin embargo una forma práctica de propagarlos es por porciones de cepa o corona, las cuales son obtenidas después de la cosecha; es decir entre los 10 a 12 meses. Esta es una importante limitante para establecer cultivos comerciales, porque además del tiempo que hay que esperar, la tasa de multiplicación es de solo 25 a 30 propágulos por planta.

Seminario *et al.* (2001) probaron la técnica de propagación por esquejes, para ello usaron tres tipos de esquejes (basales, medios y terminales) y tres morfotipos de yacón (púrpura, verde oscuro y verde claro), del norte peruano. Los resultados indicaron que no existen diferencias estadísticas significativas entre esquejes ni entre morfotipos, pero con ligera superioridad de los esquejes basales e intermedios y de los morfotipos verde oscuro y verde claro. Se obtuvo entre el 98 y 100 % de esquejes enraizados y brotados, listos para ser llevados

a campo definitivo, a los 50 días, después de la plantación, en arena. Esta técnica además de incrementar la tasa de multiplicación, acorta el tiempo de obtención de propágulos entre 40 a 50 %. El prendimiento en campo definitivo de estos esquejes enraizados fue de 98 %, lo cual representa otra ventaja importante. Sin embargo, Seminario *et al.* (2001) encontraron que, en la prueba preliminar, las plantas propagadas mediante esquejes, tuvieron menor rendimiento de raíces por planta y por hectárea, comparada con las plantas propagadas por forma tradicional (porción de cepa). De acuerdo a estos resultados, se recomienda realizar ensayos de comparación entre plantas provenientes de la semilla tradicionales y plantas procedentes de esquejes, de manera que permita confirmar o no, los resultados anteriores.

La propagación por nudos ha sido ensayada en los cultivares del norte peruano, con buenos resultados. Consiste en tomar tallos de la floración y separar los nudos, dejando 1 a 2 cm de entrenudos a cada lado. Se colocan en bolsas de malla y se sumergen en una solución de hipoclorito de sodio comercial al 10 %, por 5 a 10 minutos. Se dejan escurrir y orear por un minuto antes de la siembra (Seminario 2008).

Se evaluó la productividad de tres cultivares de yacón plantados mediante tres tipos de propágulo. El experimento se instaló en el Campo Experimental del Programa de Raíces y Tubérculos de la Universidad Nacional de Cajamarca, las cepas (propágulo convencional) se obtuvieron de plantas de 11 meses de edad y los esquejes y nudos se obtuvieron de plantas de 5.5 meses de edad. Los tratamientos fueron nueve (tres cultivares por tres tipos de propágulos). Se usó el Diseño De Bloques Completamente Rbdomizados, en arreglo factorial, con tres repeticiones por tratamiento. La plantación se realizó a 0.90 m entre surco y 0.40 m entre planta. La cosecha se realizó a los 11 meses después de la plantación y se tomaron 8 plantas por repetición para evaluar la altura de planta, número de tallos, número total de raíces y pesos de cepa. Los tratamientos con cepa fueron superiores al resto, en estas características. Los tratamientos, se comportaron de modo similar, en relación al peso total de raíces, peso de raíces comerciales, e índice de cosecha (Seminario y Valderrama 2006).



## 2.2. Generalidades sobre el yacón

### 2.2.1. Descripción de la especie

#### Nombre botánico

El nombre botánico del yacón es ***Smallanthus sonchifolius*** (Poepp. & Endl.) H. Robinson. y pertenece a la familia botánica de las Asteraceae. Es una planta herbácea, erecta, que puede llegar a medir desde 0,7 hasta 2.0 m de altura, con pocas o muchas ramas (Seminario *et al.* 2003).

EL yacón recibe varios nombres. En el norte del Perú se denomina *llacón* y *llakwash*. Con este último nombre se le conoce en Incawasi (Ferreñafe, Lambayeque), los nativos bilingües dicen que significa alimento aguanoso. En aymara se conoce como *aricona* o *aricuma* y en quechua, *llaqón*, *llacúm* y *llacuma*. Lo más probable es que estas denominaciones se transformaran en *yacón* o *llacón*, después de la llegada de los españoles. Una modificación de este nombre es *racón*, con el cual se le conoce en Ancash y otra, *yacumi*, con el cual se le conoce en algunas partes del centro del Perú (Seminario *et al.* 2003)

**Raíces.** Produce principalmente raíces reservantes o tuberosas, engrosadas, fusiformes u ovadas que almacenan azúcar en forma de fructooligosacáridos (FOS), un tipo especial de azúcares con atributos beneficiosos para la salud humana. Son los órganos de interés económico, y exteriormente son de color crema, blanquecino o púrpura. Según el cultivar tienen diferente color de pulpa, pudiendo ser blanca, anaranjada, crema o pigmentada de púrpura. El número de raíces por planta varía desde 3 hasta 35 con un promedio de 12. Produce también algunas raíces delgadas, fibrosas, no engrosadas, cuya función es de fijación y absorción (Seminario *et al.* 2003).

**Cepa.** Conforme se acerca a la cosecha, la planta forma entre los tallos y las raíces, una masa irregular de tejido de reserva (parenquimático), con muchas yemas que dan lugar a brotes y se le llama “cepa” o “corona”. De este órgano, se obtiene la “semilla” tradicional en forma de porciones de cepa que son los propágulos para la siembra; por esto se dice que la propagación del yacón es predominantemente asexual (Seminario *et al.* 2003).

**Tallos.** Son cilíndricos, algo huecos como cañas y con pilosidad. Son de color verde o pigmentado de púrpura. Su número varía de 4 a 12 según el cultivar. La planta puede presentar ramas desde la base del tallo o sólo en la parte superior (Seminario *et al.* 2003).

**Hojas.** Son enteras y con peciolo, su borde es por lo general dentado; la lámina tiene forma triangular con la base hastada (como la punta de una flecha), truncada o acorazonada. También presentan pilosidad en su superficie. Cada tallo produce de 13 a 16 pares de hojas antes de la floración y, conforme la planta se acerca a la cosecha, las hojas reducen su número y tamaño. Contienen compuestos con propiedades benéficas a la salud humana (Seminario *et al.* 2003).

**Flores.** El yacón presenta una inflorescencia que se llama capítulo, el cual está compuesto por dos tipos de flores: a) Las femeninas o liguladas que se ubican alrededor del capítulo, son de color amarillo intenso o anaranjado pálido y están en número de 12 a 16 y b) Las masculinas o tubulares que están muy juntas, en mayor número y ocupan el centro del capítulo. Cada flor masculina está formada por un manojito de estambres. Producen semillas (tipo aquenio) en poca cantidad y con bajo poder germinativo (15 – 25 %) (Seminario *et al.* 2003).

**Fruto.** Es un aquenio, que procede de un ovario ínfero con más de un carpelo. El pericarpio es delgado y seco a la madurez, externamente presenta estrías longitudinales que forman surcos paralelos. La semilla se encuentra unida al pericarpio solamente por el funículo (unión del saco embrionario con el ovario). El aquenio es piramidal con ángulos no bien definidos y redondeados, de ápice truncado y base ensanchada, en la cual lleva una pequeña cicatriz (en la unión con el receptáculo floral). En promedio, mide alrededor de 3.7 mm de largo y 2,2 mm de ancho (Seminario *et al.* 2003).

### **2.3. Tipos de propagación del yacón**

El yacón es una asterácea que puede ser multiplicada de forma asexual y sexual, Sin embargo, tanto el conocimiento tradicional como las investigaciones tecnológicas, han demostrado que la forma más fácil y eficiente de la

multiplicación es la asexual, a través de propágulo, provenientes de la corona o del tallo. La forma sexual podría ser especialmente útil para trabajos de mejoramiento genético, con el propósito de aprovechar las características productivas de ciertos cultivares (Seminario 2008).

### **2.3.1. Propagación por porciones de cepa**

La cepa es un órgano subterráneo sobre el cual se desarrollan abundantes yemas vegetativas, se forma por el engrosamiento de la parte del tallo que está dentro de la tierra y que está unida a las raíces. Este órgano vegetativo es una de las formas tradicionales de siembra del yacón, que consiste en que luego de la cosecha se corta la cepa en porciones o trozos, con un peso aproximado de 75 a 80 g, y varias yemas. Si una planta produce una corona de 2500 g, de ésta se puede obtener entre 33 propágulos o “semillas”, aproximadamente. Si sembramos a distanciamiento de 0.90 cm y 0.50 cm (entre surcos y plantas, respectivamente); es decir, 18518 semillas por ha<sup>-1</sup>, necesitamos 560 coronas para sembrar 1 ha<sup>-1</sup>, (Seminario 2008).

### **2.3.2. Propagación por brotes enraizados en la cepa**

Esta es otra forma tradicional y eficiente de propagación del yacón. Consiste en que una vez eliminados los tallos aéreos y cosechadas las raíces, las coronas son puestas en suelo húmedo. A los 45 a 60 días se habrán producido brotes con raíces, en condiciones de ser trasplantados a campo, para ello, se saca las coronas, se desgajan o se desprenden los brotes enraizados, de la corona. Estos brotes deben tener entre 12 a 18 cm de largo, para ser sembrados lo antes posible. Como precaución se puede sumergir la parte subterránea de los brotes, en la misma solución de hipoclorito de sodio, indica en el caso anterior, antes de la siembra. La corona restante se vuelve a poner en suelo húmedo de manera que los brotes restantes sigan creciendo. De este modo se pueden hacer hasta tres colectas de brotes de una misma corona. La tasa de propagación de las coronas es mucho mayor, en esta modalidad, que cuando se usa porciones de la corona (Seminario 2008).

### **2.3.3. Propagación por esquejes de tallo**

En la propagación por esquejes, se corta de la planta madre una porción de tallo, luego esta porción se coloca en ciertas condiciones ambientales favorables y se induce a que forme raíces y tallos, obteniéndose con ello una planta nueva, independiente, que en la mayoría de los casos es idéntica a la planta (Hartmann y Kester 1995).

Los esquejes suelen enraizar con gran facilidad, necesitando humedad elevada. El calor en el fondo también ayuda. En condiciones apropiadas, el enraizamiento es rápido y con altos porcentajes aunque de ordinario no se necesita sustancias estimulantes del enraizamiento, con frecuencia se les usa para obtener uniformidad en el enraíce y el desarrollo de un sistema radicular abundante. Los esquejes que exudan sustancias pegajosas como geranio, higo, enraízan mejor si antes de insértalas en el medio se deja secar una hora. Esta práctica tiende a prevenir la entrada de organismos que ocasionan pudrición (Hartmann y Kester 1995).

En yacón es una técnica fácil y eficiente, consiste en utilizar tallos de plantas que todavía no han entrado en floración (en Cajamarca de 5.5 a 6 meses de edad, según el morfotipo) A los tallos se les quita las hojas y luego se cortan en trozos o estacas. Cada estaca debe tener un mínimo de nudos. Las estacas son plantadas enterradas por lo menos un nudo en una cama de enraizamiento de 1 m de ancho y largo variable. El sustrato es arena de río lavada y desinfectada con formaldehído al 10 %. El enraizamiento en estas condiciones alcanza un 98 a 100 % de prendimiento a los 45 días, pudiendo iniciarse el trasplante en campo definitivo, donde alcanza hasta el 98 % de prendimiento (Seminario *et al.* 2001).

El rendimiento de raíces de plantas generadas mediante esta técnica, comparado con el rendimiento de plantas obtenidas de cepa es similar, con la ventaja de que las primeras producen raíces reservantes más sueltas, con menos entrecruces y deformaciones (Seminario *et al.* 2003).

### **2.3.4 Propagación por nudos individuales**

La propagación por nudos individuales requiere de mayor cuidado que la propagación por estaca. Para obtener los nudos individuales se toman los tallos antes de floración y se separan los nudos con una pequeña porción de entrenudo a cada lado. Estos nudos son colocados en sustrato de enraizamiento, limpio y desinfectado. La eficiencia depende de la limpieza al obtener los nudos y los cuidados durante el enraizamiento (Seminario & Valderrama 2003).

#### **2.4. Función de la materia orgánica (humus) en el suelo y en el sustrato**

En la tabla 1 se sintetizan las propiedades generales del humus y sus correspondientes efectos en el suelo. La materia orgánica contribuye al crecimiento de la vegetación determinando las propiedades químicas, biológicas y físicas del suelo. La MOS proporciona nitrógeno, fósforo y azufre para el crecimiento de la vegetación sirve como fuente de energía para los organismos de la microflora, y microfauna del suelo y fomentan la buena estructura de este. El humus también influye indirectamente en la absorción vegetal de micronutrientes y cationes de metales pesados y en el funcionamiento (disponibilidad) de los herbicidas y otros productos agrícolas (Bohn 1993).

La disponibilidad de muchos cationes como micronutrientes también está determinada fuertemente por la MOS. Diversos componentes de la materia orgánica, de peso molecular bajos (por ejemplo, ácidos fúlvicos), forman complejos estables (quelatos) con el  $Fe^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  y otros cationes polivalentes. Los quelatos protegen a los cationes contra las reacciones de hidrólisis y precipitación (Bohn 1993).

**Tabla 1.** Propiedades generales del humus y sus efectos en el suelo

PROPIEDADES	OBSERVACIONES	EFFECTOS EN EL SUELO
Color	El color oscuro típico de muchos suelos lo origina la materia orgánica	Puede facilitar el calentamiento
Retención de agua	La materia orgánica puede retener hasta 20 veces su peso de agua	Ayuda a evitar la desecación y la contracción; mejora la retención de la humedad en los suelos arenosos
Combinación con minerales arcillosos	Enlaza las partículas del suelo en unidades estructurales llamadas agregados.	Permite el intercambio de gas; estabiliza la estructura; incrementa la permeabilidad
Quelación	Forma complejos estables con $Fe^{3+}$ , $cu^{2+}$ , $zn^{2+}$ y otros cationes polivalentes	Amortiguador del aprovechamiento de elementos traza que son captados por las plantas
Solubilidad en agua	La insolubilidad de la materia es el resultado parcial de su asociación con la arcilla; las sales de cationes divalentes y trivalentes en combinación con la materia orgánica también son insolubles; la materia orgánica aislada es parcial soluble en agua.	La materia orgánica en pequeñas cantidades se pierde por lixiviación
Relación con el pH	La materia orgánica del suelo amortigua el pH del suelo en los límites entre ligeramente ácidos, neutralidad y alcalino	Ayuda a mantener una reacción uniforme (pH) en el suelo
Intercambio catiónico	La acides total de las fracciones aisladas de humus varía entre 3000 y 14000 moles $kg^{-1}$	Incrementa la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo; del 20 a 70 % de la CIC de muchos suelos se debe a la materia orgánica
Mineralización	La descomposición de la materia orgánica produce $CO_2$ , $NH_4^+$ , $NO_3^-$ , $PO_4^{3-}$ y $SO_4^{2-}$	Fuente de elementos nutritivos para el crecimiento de las plantas
Combinación con moléculas orgánicas	Influyen en la bioactividad, persistencia y biodegradabilidad de los plaguicidas	Modifica la reacción de aplicación de los plaguicidas para un control efectivo

Fuente: Stevenson J, Humus Chemistry, Wiley, Nueva Yourk, (1982)

El humus ejerce cierta influencia en la estructura del suelo y consecuentemente en su cultivo, aeración y retención de humedad. El deterioro de la estructura que acompaña a un cultivo intenso, comúnmente es menos severo en suelos provistos convenientemente de humus. Cuando se pierde, los suelos tienden a endurecerse, a compactarse y a formar terrones (Bohn 1993).

El humus modifica favorablemente la aireación, la capacidad de retención de agua y la permeabilidad. La adición frecuente de residuos orgánicos de fácil y rápida descomposición conduce a la síntesis de compuestos orgánicos complejos (polisacáridos) que aglutinan las partículas de suelo en grandes agregados (Bohn 1993).

La asociación íntima de partículas del tamaño de la arcilla (silicatos laminares) con el humus vía puentes de cationes (por ejemplo, calcio, aluminio, magnesio, hierro) también propician esta agregación. Las sales del ácido Húmico, insolubles en agua (con cationes polivalentes) se denominan humatos (Bohn 1993).

El humus también absorbe grandes cantidades de agua. El humus completamente sintetizado de un suelo mineral, absorbe aproximadamente de 80 a 90 % de agua en peso de una atmósfera saturada. Además, los microporos creados dentro de los enormes agregados del suelo, conservan el agua aprovechable por la vegetación es uno de los beneficios principales que producen las adiciones de materia orgánica a los suelos extremadamente arenosos (Bohn 1993).

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación de la Investigación

La investigación se realizó en un ambiente del Programa de Raíces y Tubérculos Andinos, situado en el campus universitario de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, ubicado en el distrito, provincia y departamento de Cajamarca, sus coordenadas UTM N 9206848 – E 0776689 (DATUM WGS84 - zona 17S) altitud de 2683 m, la temperatura promedio fue de 16.5 °C.

#### 3.2. Materiales

##### a. Material vegetal

Se utilizó plantas madres en estado de floración, como recomienda Seminario *et al.* (2001) de los morfotipos púrpura, verde claro o Hualqui y verde oscuro obtenidos de plantas madres del norte peruano sembrados mediante cepa a distanciamiento de 0.80 x 0.50 m, la fecha de siembra de estos morfotipos fue; púrpura 25/07/2014, verde claro 25/07/2014 y el verde oscuro 30/07/2014, cosechando la fecha 24 de marzo del 2015 a los 8 meses de edad, con cierta diferencia entre morfotipo de acuerdo a la precocidad; los morfotipos púrpura y verde claro estaban en plena floración, en cambio, el morfotipo verde oscuro estaba iniciando la floración.

Las características morfológicas de los morfotipos en estudio aparecen en la Tabla 2.



**Tabla 2.** Descripción de los tres morfotipos de yacón usados en el experimento.

Morfotipo	Color	Ramificación	Color de follaje	Hojas			Flores		Color pulpa Raíz	Color Propágulos
				Forma	Base	Borde	Forma Lígula	Diénte s Lígula		
Verde oscuro	Verde oscuro	Alta	Verde oscuro	Triangular	hastada	Doble aserrado	Elíptica	3	Amarillo blanquecino	Blanco con rojo púrpura
Verde claro	verde	apical	Verde	Triangular	truncada	Crenado	Ovada	2	Grisáceo Naranja	Blanco
Púrpura	verde	Alta	Verde oscuro	Triangular	Hastada	Aserrada	Oblonga	3	Grisáceo naranja	Rojo púrpura

Fuente: Seminario y Valderrama (2001)

**Tabla 3.** Fenología (días) de tres morfotipos de yacón de Cajamarca

Morfotipo	Días a botón floral	Días de floración	Período total de crecimiento
Púrpura	195	228	303
Verde claro	202	240	320
Verde oscuro	223	258	348

Fuente: Seminario *et al.* (2003, 36) El Yacón, fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio.



Figura 1. Plantas de yacón en estado de floración



Figura 2. Tallos de los tres de morfotipos



Figura 3. **Izquierda:** Preparación de sustratos **Derecha:** disposición de los sustratos en los bloques, según los tratamientos en estudio.

### b. Equipos

- ✓ Computadora equipada
- ✓ Cámara de fotos
- ✓ Calculadora
- ✓ Balanza

### c. Otros materiales

- ✓ Madera
- ✓ Triplay
- ✓ Clavos
- ✓ Cuchillas
- ✓ Tijera para podar
- ✓ Regadera
- ✓ Baldes
- ✓ Lejía
- ✓ Regla graduada
- ✓ Lapiceros
- ✓ Libreta

### 3.3 Metodología

#### 3.3.1 Factores, niveles y tratamientos en estudio

A continuación, se presentan los factores (sustrato, morfotipo), los niveles de cada factor y los tratamientos que se derivan de la combinación de los niveles de sustrato (arena de cerro, tierra agrícola + humus y tierra agrícola + aserrín) y morfotipo (verde claro, púrpura y verde oscuro).

**Tabla 4.** Factores niveles y tratamientos en estudio

Factores	Niveles	Tratamientos	Código	
Sustrato	Arena (A)	Arena + verde claro	AVC	
		Arena + púrpura	AP	
		Arena + verde oscuro	AV	
	Tierra agrícola -humus (TH)	Tierra agrícola - humus + verde claro	THVC	
		Tierra agrícola - humus + púrpura	THP	
		Tierra agrícola - humus + verde oscuro	THV	
Morfotipo	Tierra agrícola -aserrín (TA <sub>s</sub> )	Tierra agrícola - aserrín + verde claro	TA <sub>s</sub> VC	
	Verde claro (VC)	Tierra agrícola - aserrín + púrpura	TA <sub>s</sub> P	
	Púrpura (P)	Tierra agrícola - aserrín + verde oscuro	TA <sub>s</sub> V	
	Verde oscuro (V)			

#### 3.3.2. Diseño experimental utilizado

Se empleó del Diseño Experimental Bloque Completo Randomizado (BCR), con nueve tratamientos, resultantes de la combinación de los factores morfotipo (C) y sustrato (S), en arreglo factorial. En el primer factor se usaron los morfotipos Verde Claro (VC); púrpura (P) y verde oscuro (V); mientras que para el factor sustrato los niveles fueron Arena (A); Tierra agrícola (T) más Humus (H); Tierra agrícola (T) más Aserrín (A<sub>s</sub>). Cada Tratamiento consta de 3 líneas con 10 nudos haciendo un total de 30 nudos.

Para los datos discretos (número de nudos enraizados, número de raíces por nudo, número de brotes por nudo, número de hojas por brote) fueron transformados con fórmula  $\sqrt[2]{x+1}$ , para cumplir con los requisitos del análisis de varianza.

### 3.3.3. Obtención del material vegetativo

De acuerdo a los antecedentes señalados por Seminario y Valderrama (1999), se tomaron 10 plantas por morfotipo de aproximadamente 8 meses de edad (en floración), de acuerdo a la precocidad del morfotipo (Tabla 3) en cada planta tomada al azar se contó el número total de tallos y se procedió a evaluar el número de nudos por planta y se dedujo el número de plantas madres necesarias para la siembra de una hectárea de yacón. Los resultados aparecen en la Tabla 5.

Con los rendimientos de nudos por planta indicados en la Tabla 5, y considerando que en una plantación comercial se recomienda plantar a 0.8 m entre surco y 0.5 m entre planta y considerando 10 % más de nudos para sustituir las pérdidas en el enraizamiento y en campo definitivo, el número de nudos por hectárea (promedio) para los tres morfotipos fue de 27 500. Según el rendimiento de nudos por planta, el número de plantas madre necesario para plantar una hectárea es como aparece en el Tabla 5.

**Tabla. 5.** Números de nudos por hectárea.

Morfotipo	N° de tallos por planta	N° de nudos por tallo	N° nudos por planta	N° de plantas madres para 1 hectárea
	Promedio	Promedio		
<b>Púrpura</b>	8	9	72	382
<b>Verde oscuro</b>	5	8	40	687.5
<b>Verde claro</b>	9	8	72	382



Figura 4. Tallos de los tres morfotipos en estudio A) Púrpura, B) Verde Claro c) Verde oscuro

### 3.3.4. Preparación del material vegetativo

Lo tallos obtenidos de plantas madre en estado de floración sembrados en campo, se llevó a las instalaciones donde se realizó el experimento, luego con mucho cuidado se eliminó las hojas dejando solamente tallo. Cada nudo fue separado del tallo, dejando 2 cm a cada lado, de manera que la porción del nudo tiene 4 cm. Se colocaron en bolsas de naylor y antes de ser sembrados se sumergieron por 5 segundos en una solución de hipoclorito de calcio al 5 % con la finalidad de desinfectar el material.

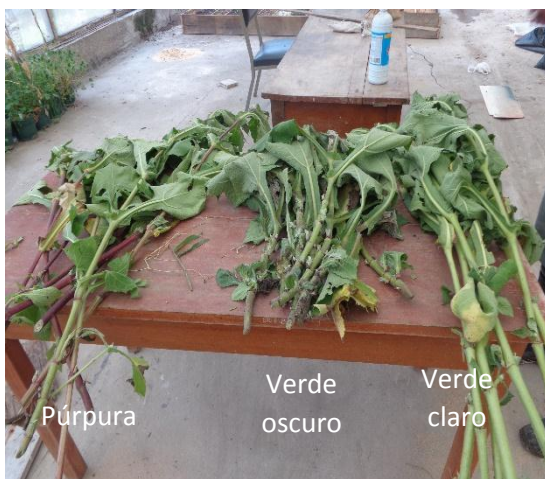


Figura 5. Tallos seleccionados de los 3 morfotipos.



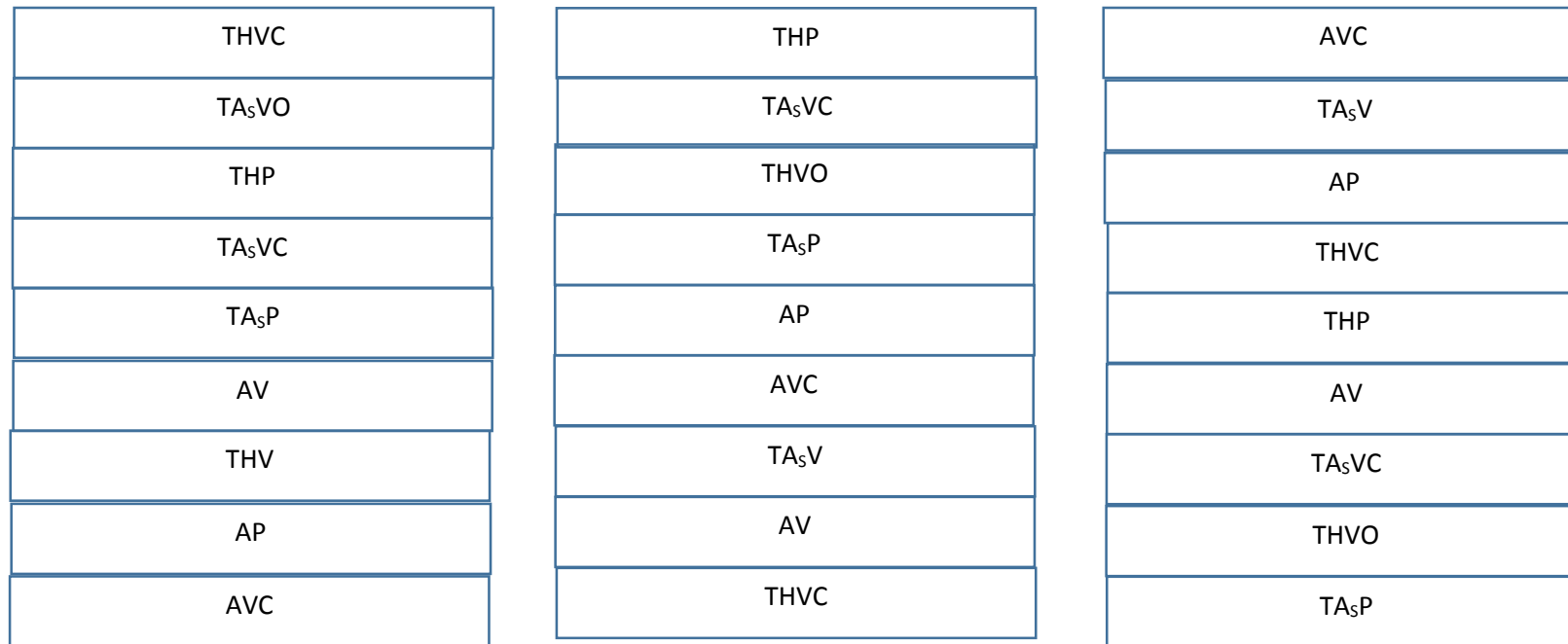
Figura 6. Eliminación de hojas dejando solamente tallo.

### 3.3.5. Instalación de camas y preparación del sustrato

Las camas bandejas para la propagación del yacón mediante nudos fueron construidas con tablas de eucalipto (*Eucalyptus sp.*) y triplay, de 2 m de largo y 1.20 m de ancho. Las subdivisiones se hicieron cada 23 cm con triplay tal como se muestra en la figura 7.



Figura 7. Instalación de camas en bandejas de madera antes de colocar los sustratos



Tratamiento	Símbolo
Arena + verde claro	AVC
Arena + púrpura	AP
Arena + verde oscuro	AV
Tierra - humus + verde claro	THVC
Tierra - humus + púrpura	THP
Tierra - humus + verde oscuro	THV
Tierra - aserrín + verde claro	TA <sub>s</sub> VC
Tierra - aserrín + púrpura	TA <sub>s</sub> P
Tierra - aserrín + verde oscuro	TA <sub>s</sub> V

Figura 8. Croquis del experimento en el invernadero

### 3.3.6. Sustratos utilizados en el experimento

#### A) Análisis de cada sustrato en forma independiente:

- a) **Arena de cerro:** se lavó con abundante agua, luego se oreó sobre una plataforma limpia y después se colocó en cada bandeja, según los tratamientos.
- b) **Tierra agrícola:** la tierra que se utilizó fue de suelos de la ciudad universitaria, la cual presenta una textura arcillosa y son de color marrón oscuro.
- c) **Humus de lombriz:** se extrajo humus de desechos de cosechas ( Maíz, malezas) y guano de cuy.
- d) **Aserrín:** se utilizó aserrín exclusivamente de pino, recolectado de talleres de carpintería.

Luego se tomó la muestra de cada uno de los sustratos mencionados anteriormente (100 g) y se realizó el análisis, mostrando los resultados a continuación:

**Tabla 6:** Análisis químico de los sustratos utilizados en el experimento.

Muestra	pH	C.E dS/M	M.O %	N %	P ppm	K ppm
Tierra agrícola	6.94		4.0	0.2	11.8	239.53
Arena	7.4		0.22	0.01	1.9	350

Fuente: Laboratorio INIA Baños del Inca y Lab. Tecnología y Desarrollo Agrícola J.D. S.R.L



**Tabla 7:** Análisis químico del Humus de lombriz y el aserrín.

	pH	C.E dS/M	M.O %	N %	P %	K %	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
<b>Humus de lombriz</b>	8.25	3.69	34.26	0.5	0.46	0.86	5.45	0.87	33.19	0.19
<b>Aserrin</b>	5.4	0.26	99.64	0.34	0.03	0.06	1.69	0.04	11.88	0.10

Fuente: Laboratorio de Suelos Universidad Nacional Agraria La Molina

## **B) Mezcla de los tres sustratos en estudio**

- a) **Arena:** se lavó con abundante agua, luego se oreó sobre una plataforma limpia y después se colocó en cada bandeja según los tratamientos.
- b) **Tierra agrícola mas humus de lombriz:** Se efectuó la mezcla en la proporción de 1:1 tratando de uniformizar la mezcla entre sustratos con la remocion y combinacion de estos en un piso limpio, para luego llenar las bandejas
- c) **Tierra agrícola más aserrín de pino:** Se realizó la mezcla en la proporción de 1:1 tratando uniformidad entre sustratos con la combinacion de éstos, en un piso limpio, para luego llenar las bandejas.

Luego se tomó la muestra de las combinaciones mencionadas anteriormente y se llevó al Laboratorio de suelos a realizar el análisis, el cual se muestra a continuación:

**Tabla 8:** Análisis químico de las mezclas de los sustratos utilizados.

Sustrato	N%	P ppm	K ppm	Materia orgánica (%)	pH %
<b>Arena de cerro</b>		1.90	350.0	0.22	7.4
<b>Tierra agrícola + Aserrín (1:1)</b>		11.45	290.0	13.91	6.2
<b>Tierra Agrícola + Humus (1:1)</b>		39.69	340.0	5.6	7.2

Fuente: Laboratorio de Suelos INIA Baños del Inca



Figura 9. Mezcla de sustratos tierra agrícola más humus (1:1):



Figura 10. Lavado de arena de cerro

### 3.3.7. Plantación de los nudos

La siembra se realizó el día 24 de marzo del 2015 aclarando que todo el proceso de obtención de tallos, corte de nudos y desinfección de material vegetal se realizó el mismo día de la siembra, el distanciamiento entre nudos fue de 10 cm x 10 cm realizando 3 surcos con 10 plantas por cada uno de éstos, obteniendo 30 nudos sembrados por tratamiento.

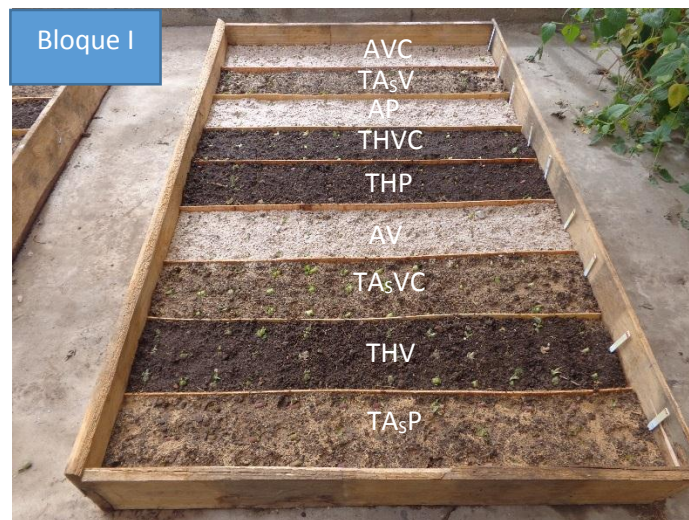


Figura 11. Disposición de los tratamientos en cada bloque

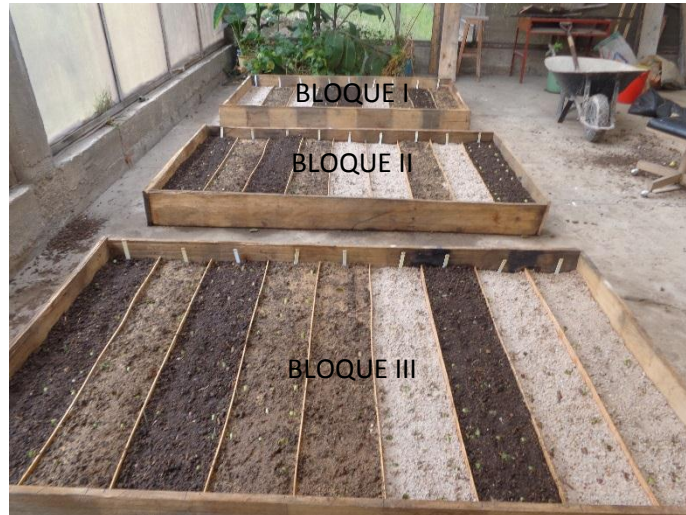


Figura 12. Disposición de los tratamientos en los tres bloques

### 3.3.8. Manejo agronómico

#### a) Riego

El riego se realizó dependiendo de la humedad del sustrato, ya que la arena perdía humedad en menor tiempo a comparación de los otros sustratos, tratando de que el suelo esté en capacidad de campo en promedio el riego se efectuó cada dos días



Figura 13. Realizando el riego para mantener la humedad en capacidad de campo

## b) Deshierbos.

Las malezas empezaron a aparecer a la semana después de la siembra con mayor cantidad en los sustratos de tierra agrícola + aserrín y tierra agrícola + humus.

La eliminación de malezas se realizó semanalmente con herramienta manual.



Figura 14. Brotes con sus primeras hojas y presencia de malezas



Figura 15. Control de malezas con deshierbos manuales

### 3.3.9. Evaluaciones realizadas

Las evaluaciones realizadas fueron las que se detallan a continuación.

- a) **Inicio de enraizamiento.** Para este propósito se sembraron seis nudos en cada tratamiento y a partir de los siete días se observó la presencia de las primeras raíces, registrando como inicio del proceso de enraizamiento
- b) **Número de nudos enraizados**

Las evaluaciones se efectuaron a los 7, 14, 21, 28, 35, 42 y 47 días, después de la instalación del experimento, para este propósito se sembraron seis nudos adicionales a los 30 nudos por tratamiento, en la misma bandeja, de acuerdo al tiempo mencionado anteriormente, y registrarlos en las fichas de observaciones. La última observación en la que obtendríamos datos que servirán para demostrar el objetivo de la investigación se realizó a los 47 días después de la siembra.



Figura 16. Nudos enraizados con brotes, extraídos para la evaluación final

- c) **Número de raíces por nudo.**

Se evaluó a los 7, 14, 21, 28, 35, 42 y 47 días, después de la instalación del experimento, para determinar la aparición de raíces por nudo, también se observó en los 6 nudos adicionales sembrados en las

bandejas, contando el número de raíces por nudo y obteniendo el promedio entre todos los nudos extraídos.



Figura 17. Plántula procedente de nudo del morfotipo verde oscuro a los 47 días después de la plantación.

#### **d) Largo de raíz**

Se evaluó a los 7, 14, 21, 28, 35, 42 y 47 días después de la instalación del experimento, para ello se utilizó una regla milimetrada, midiendo cada raíz de los 6 nudos adicionales, obteniendo el promedio del largo de raíces por nudo, Estos datos fueron registrados en las fichas de monitoreo, la evaluación final que fue a los 47 días y consistió en el mismo procedimiento pero en todos los nudos sembrados en las bandejas



Figura 18. Medición del largo de raíz con regla milimetrada

**e) Número de brotes por nudo.**

Se evaluó a los 21 y 47 días después de la instalación del experimento, se observó todos los nudos sembrados registrando en fichas de monitoreo, y en la evaluación final, se extrajo todos los nudos sembrados y registrando según correspondía en la ficha correspondiente.



Figura 19. Morfotipo verde oscuro en tierra más humus a los 21 días de la plantación.

**f) Largo de brotes**

Se evaluó a los 47 días después de la instalación del experimento. Se midió cada brote desde su inserción en el nudo hasta el ápice de la yema apical. Los datos se anotaron en las fichas para obtener el promedio.

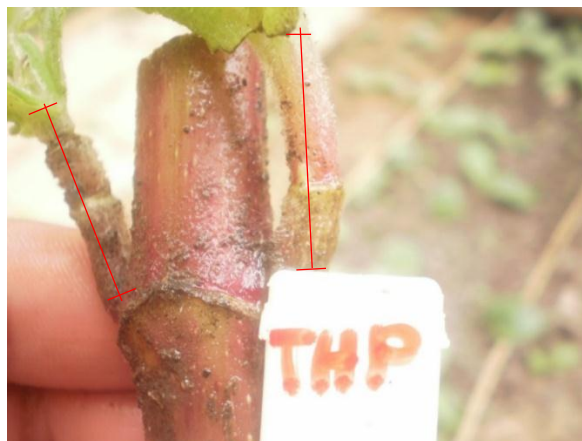


Figura 20. Morfotipo púrpura en tierra más humus a los 21 días de la plantación

**g) Número de hojas por brote.**

Se evaluó a los 14, 21, 28, 35, 42 y 47 días, después de la siembra. Se contó el número de hojas en cada brote. Los datos de la evaluación final sirvieron para obtener el promedio de hojas por brote.



Figura21. Plántula del morfotipo verde oscuro con raíces y hojas bien formadas

**3.3.10. Manejo de datos y análisis de la información**

Los datos de las evaluaciones fueron ingresados a una base de datos en el programa de Microsoft office Excel.

La información de cada variable fue procesada en el software estadístico (*infoStat*). En primer lugar, se realizó el análisis de varianza (ANVA), para determinar si había diferencia estadística entre tratamientos o sea en la interacción de los factores, y de los factores individuales. Debido a que no se encontró significación estadística para la interacción de los factores, se realizó la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad, para los niveles de cada factor significativo.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 4.1. Número de nudos enraizados

El análisis de varianza (Tabla 9) mostró significación estadística para el factor sustrato, puesto que la F calculada supera a la F tabular a la probabilidad del 5 %, lo cual indica que el sustrato causa efecto en el enraizamiento de los brotes. Para el factor morfotipo no se encontró significación estadística al igual que para interacción de los factores, esto muestra que los factores sustrato y morfotipo actúan en forma independiente, pero cabe indicar que los tres morfotipos alcanzaron el 100 % de nudos enraizados a los 47 días después de la plantación, demostrando los resultados que hasta ese tiempo se puede obtener nudos enraizados de los tres morfotipos listos para salir a campo definitivo. El coeficiente de variabilidad es de 9.94 %.

Luego, se efectuó la prueba de Tukey para determinar los mejores valores para este factor.

**Tabla 9. Análisis de variancia (ANVA) para la variable número de nudos enraizados, de tres morfotipos de yacón en tres sustratos, a 47 días después de la plantación.**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F cal	F tabular	
					0.05	0.01
Bloques	2	0.05	0.03	1.67	3.63	6.23
Sustrato (S)	2	0.2	0.1	5.56*	3.63	6.23
Morfotipo (M)	2	0.01	0.01	0.56	3.63	6.23
S X M	4	0.02	0.01	0.56	3.01	4.77
Error	16	0.29	0.018			
Total	26	0.57				

GL: Grados de libertad, SC: suma de cuadrados CM: cuadrados medios, CV= 9.94 %

La prueba de comparación múltiple de Tukey al 5 % de probabilidades (Tabla 10), Indicó que el sustrato A (arena) y TH (tierra agrícola más humus) son estadísticamente iguales y superiores al sustrato TA<sub>s</sub> (tierra agrícola más aserrín). Por lo tanto, se concluye que para obtener un buen número de brotes enraizados se debe utilizar cualquiera de estos sustratos, el promedio fue de un brote enraizado. Al término de la evaluación 47 días.

**Tabla 10. Prueba de significación de Tukey al 5 % de probabilidades para números de brotes por nudo de tres morfotipos de yacón en tres sustratos, a 47 días después de la plantación.**

Orden de mérito	Sustrato	Número de brotes/ nudo	Significación
1º	A (Arena)	1.41	A
2º	TH (Tierra agrícola más humus)	1.41	A
3º	TA <sub>s</sub> (Tierra agrícola más aserrín)	1.23	B

#### 4.2. Número de raíces por nudos

En la Tabla 11, se observa el análisis de variancia para el número de raíces por nudo, el mismo que presentó alta significación estadística para el factor morfotipo, puesto que las F calculada superan a las F tabular a la probabilidad del 5 %, lo cual indica que el morfotipo influye en el número de raíces primarias. Para el factor sustrato no se encontró significación estadística al igual que para la interacción de los factores. Esto indica que los factores en estudio actúan independientemente respecto a esta variable. El coeficiente de variabilidad fue de 13.3 %.

A continuación, se realizó la prueba de Tukey al 5 % de probabilidades para determinar cuáles son los mejores niveles de dicho factor.

**Tabla 11. Análisis de variancia (ANVA) para la variable número de raíces por nudo de yacón, a 47 días de haber sido plantados.**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F cal	F tabular	
					0.05	0.01
Bloques	2	0.2	0.1	1.11	3.63	6.23
Sustrato (S)	2	0.48	0.24	2.67	3.63	6.23
Morfotipo (M)	2	2.23	1.12	12.44**	3.63	6.23
S X M	4	0.3	0.08	0.88	3.01	4.77
Error	16	1.47	0.09			
Total	26	4.69				

GL: Grados de libertad, SC: suma de cuadrados CM: cuadrados medios, CV= 13.3 %

En la Tabla 12, la prueba de comparación múltiple de Tukey al 5 % de probabilidades, observamos que el morfotipo V (verde oscuro) es estadísticamente superior respecto a los morfotipos P (púrpura) y VC (verde claro). Por lo tanto, se concluye que para obtener un buen número de raíces primarias por nudo se debe utilizar el morfotipo V (verde oscuro) con un promedio de cinco raíces primarias.

**Tabla 12. Prueba de significación de Tukey al 5 % de probabilidades para número de raíces por nudo en tres morfotipos de yacón en tres sustratos, a 47 días después de la plantación.**

Orden de merito	Morfotipo	Número de raíces	significación
1º	V (Verde oscuro)	2.62	A
2º	P (Púrpura)	2.22	B
3º	VC (Verde claro)	1.92	B

#### 4.3. Largo de raíz

En la Tabla 13, se observa el análisis de variancia para el largo de raíces que existe significación estadística para el factor morfotipo, puesto que las F calculada supera a la F tabular a la probabilidad del 5 %, lo cual indica que el

factor morfotipo influye en el largo de raíces. Para el factor sustrato no se encontró significación estadística al igual que para la interacción de los factores, es decir factor morfotipo y el factor sustrato actuaron de forma independiente.

El coeficiente de variación de 62.39 % se atribuye a la variedad del material experimental o a condiciones climáticas, sin embargo, nuestros resultados son confiables.

**Tabla 13. Análisis de variancia (ANVA) para la variable largo de raíz de tres morfotipos de yacón en tres sustratos 47 días después de la plantación.**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F cal	F tabular	
					0.05	0.01
Bloques	2	611.7	305.85	5.08*	3.63	6.23
Sustrato (S)	2	3.75	1.87	0.03	3.63	6.23
Morfotipo (M)	2	439.01	219.51	3.64*	3.63	6.23
S X M	4	317.56	79.39	1.32	3.01	4.77
Error	16	964.06	60.25			
Total	26	2336.08				

GL: Grados de libertad, SC: suma de cuadrados CM: cuadrados medios CV: 62.39 %

En la Tabla 14, la prueba de comparación múltiple de Tukey al 5 % de probabilidades para el factor morfotipo indicó que el morfotipo, V (verde oscuro) y P (púrpura) son estadísticamente iguales y superiores al morfotipo VC (verde claro) . Por lo tanto, se concluye que para buen resultado en largo de raíces se debe utilizar los morfotipos antes indicados que tuvieron un promedio de longitud de raíces 17.6 cm (Verde oscuro) y 12.0 cm (púrpura) respectivamente. Indicando que estos valores son relativamente superiores hallados por de la Cruz, *et al.* (1994); estos autores encontraron 7.6 cm de largo máximo de raíz después de 56 días de la plantación.

**Tabla 14. Prueba de significación de Tukey al 5 % de probabilidades para largo de raíz en los tres morfotipos de yacón en tres sustratos, a 47 días después de la plantación.**

Orden de mérito	Morfotipo	Largo de raíz	significación	
1º	V (verde oscuro)	17.56	A	
2º	P (púrpura)	12.07	A	B
3º	VC (verde claro)	7.7	B	

#### **4.4. Número de brotes por nudo**

En la Tabla 15, el análisis de variancia mostró significación estadística para el factor sustrato, puesto que la F calculada supera a la F tabular a la probabilidad del 5 %, lo cual indica que el sustrato influye en el número de brotes. Observado que a los 35 días después de la plantación alcanzaron el 100 % de brotamiento, en términos generales al finalizar la investigación 47 días, fue de 100 % en todos los tratamientos. Estos resultados confirman que no hay necesidad de usar reguladores de crecimientos, tal como ensayaron De la Cruz *et al.* (1994) y lo que sugiere Grau y Rea (1997), por el contrario, los primeros autores mencionados, encontraron que el mejor tratamiento era la mezcla de auxinas y giberelinas, pero solo lograron el 37 % de brotamiento. Para el factor morfotipo no se encontró significación estadística al igual que para la interacción de los factores. Esto indica que el factor sustrato y el factor morfotipo actuaron de forma independiente.

El coeficiente de variabilidad es de 6.32 % indica que nuestros resultados son confiables.

**Tabla 15. Análisis de variancia (ANVA) para la variable número de brotes por nudo de 3 morfotipos de yacón en tres sustratos, 47 días después de la plantación.**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F cal	F tabular	
					0.05	0.01
Bloques	2	0.02	0.01	1	3.63	6.23
Sustrato (S)	2	0.09	0.045	4.09*	3.63	6.23
Morfotipo (M)	2	0.07	0.035	3.18	3.63	6.23
S X M	4	0.11	0.028	2.55	3.01	4.77
Error	16	0.18	0.011			
Total	26	0.48				

GL: Grados de libertad, SC: suma de cuadrados CM: cuadrados medios, CV = 6.3 %

En la Tabla 16, se observa la prueba de comparación múltiple de Tukey al 5 % de probabilidades, para el factor sustrato indicó que el sustrato A (arena) y TA<sub>s</sub> (tierra agrícola más aserrín) son estadísticamente iguales y superiores al sustrato TH (tierra agrícola más humus). Se concluye los sustratos TA<sub>s</sub> y TH respectivamente son estadísticamente iguales encontrándose en ellos una diferencia numérica.

**Tabla 16. Prueba de significación de Tukey al 5 % de probabilidades para número de brotes por nudo en tres morfotipos de yacón en tres sustratos a los 47 días después de la plantación.**

Orden de merito	Sustrato	Número de brotes/ nudo	Significación
1º	A (Arena)	1.73	A
2º	TA <sub>s</sub> (Tierra agrícola más aserrín)	1.66	A B
3º	TH (tierra agrícola más humus)	1.59	B

#### 4.5. Largo de brotes

El análisis de varianza mostró significación estadística para el factor sustrato (Tabla 17), puesto que la F calculada supera a la F tabular a la probabilidad del 5 %, lo cual indica que el factor sustrato influye en el tamaño de los brotes. Para el factor morfotipo no se encontró significación estadística al igual que para la interacción de los factores, esto indica que los factores sustrato y morfotipo actúan de forma independiente.

El coeficiente de variabilidad es de 26.32 %.

**Tabla 17. Análisis de variancia (ANVA) para la variable largo de brotes de tres morfotipos de yacón en tres sustratos, 47 días después de la plantación.**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F cal	F tabular	
					0.05	0.01
Bloques	2	1.41	0.72	4.5*	3.63	6.23
Sustrato (S)	2	2.01	1.01	6.31*	3.63	6.23
Morfotipo (M)	2	1.14	0.57	3.56	3.63	6.23
S X M	4	0.57	0.14	0.88	3.01	4.77
Error	16	2.58	0.16			
Total	26	7.72				

GL: Grados de libertad, SC: suma de cuadrados CM: cuadrados medios, CV = 26.32 %

La prueba de comparación Tukey al 5 % de probabilidades (Tabla 18) para el factor sustrato indicó que el sustrato TH (tierra agrícola más humus) y TA<sub>s</sub> (tierra agrícola más aserrín) son estadísticamente iguales y superiores al sustrato A (arena). Por lo tanto, se concluye que para obtener una longitud de brotes se debe utilizar los sustratos que tuvieron 1.9 y 1.43 cm de longitud, en promedio.

**Tabla 18. Prueba de significación de Tukey al 5 % de probabilidades para la Largo de brotes de tres morfotipos de yacon en tres sustratos, 47 días después de la plantación.**

orden de merito	sustrato	Largo de brote	significación	
1º	TH (tierra agrícola más humus)	1.9	A	
2º	TAs (tierra agrícola más aserrín)	1.43	A	B
3º	A (arena)	1.25	B	

#### 4.6. Número de hojas por brote

El análisis de variancia (Tabla 19) mostró una alta significación estadística para el factor sustrato, puesto que las F calculadas superan a la F tabular a la probabilidad del 5 % y 1 %, lo cual indica que el sustrato causa efecto altamente significativo en el número de hojas por brote. Para el factor morfotipo se encontró significación estadística al 5 % y para la interacción de los factores no se encontró significación estadística, esto indica que tanto el factor sustrato y el factor morfotipo actúan independientemente.

El coeficiente de variabilidad de 6.92 % nos indica que nuestros resultados son confiables, que el experimento ha sido conducido eficientemente.

**Tabla 19. Análisis de variancia (ANVA) para el variable número de hojas por brote en tres morfotipos de yacón en tres sustratos, 47 días después de la plantación.**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F cal	F tabular	
					0.05	0.01
Bloques	2	0.0024	0.0012	0.046	3.63	6.23
Sustrato (S)	2	0.617	0.309	11.88**	3.63	6.23
Morfotipo (M)	2	0.270	0.135	5.19*	3.63	6.23
S X M	4	0.249	0.062	2.38	3.01	4.77
Error	16	0.421	0.026			
Total	26	1.559				

GL: Grados de libertad, SC: suma de cuadrados CM: cuadrados medios, CV = 6.92 %



La prueba de comparación múltiple de Tukey al 5 % de probabilidades (Tabla 20), para el factor sustrato indicó que TH (tierra agrícola más humus) y A (arena) son estadísticamente iguales y superiores al sustrato TA<sub>s</sub> (tierra agrícola más aserrín). Por lo tanto, se concluye que para obtener un buen número hojas/brote se debe utilizar el o los sustratos TH y A, que tuvieron 5 hojas en promedio.

**Tabla 20. Prueba de significación de Tukey al 5 % de probabilidades para el número de hojas por brotes en tres morfotipos de yacón en tres sustratos, 47 días después de la plantación.**

Orden de merito	Sustrato	Número de hojas/brote	significación
1º	TH (tierra agrícola más humus)	2.47	A
2º	A (arena)	2.4	A
3º	TA <sub>s</sub> (tierra agrícola más aserrín)	2.12	B

La prueba de comparación múltiple de Tukey al 5 % de probabilidades para el factor morfotipo, (Tabla 21) indicó que los morfotipo V (verde oscuro) y P (púrpura) son estadísticamente iguales y superiores al morfotipo VC (verde claro). Por lo tanto, se concluye que para obtener un buen número hojas por brote se debe utilizar los morfotipos verde oscuro o púrpura que tuvieron en promedio 5 hojas y que los morfotipos Purpura y Verde Oscuro son respectivamente estadísticamente iguales encontrándose en ellos una diferencia numérica.

**Tabla 21. Prueba de significación de Tukey al 5 % de probabilidades para el número de hojas por brote en tres morfotipos de yacón en tres sustratos, 47 días después de la plantación.**

Orden de merito	morfotipo	Número de hojas/brote	significación
1º	V (verde oscuro)	2.43	A
2º	P (púrpura)	2.37	A
3º	VC (verde claro)	2.19	B

**Tabla 22. Resúmenes de cuadrados medios y significación del ANOVA para las variables evaluadas**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>NNE</b>	<b>NRN</b>	<b>LR</b>	<b>NBN</b>	<b>LB</b>	<b>NHB</b>
<b>Bloques</b>	2	0.03	0.1	305.85*	0.01	0.72*	0.0012
<b>Sustrato (S)</b>	2	0.1*	0.24	1.87	0.045*	1.01*	0.309**
<b>Morfotipo (M)</b>	2	0.01	1.12**	219.51*	0.035	0.57	0.135*
<b>S x M</b>	4	0.01	0.08	79.39	0.028	0.14	0.062
<b>Error</b>	16	0.018	0.09	60.25	0.011	0.16	0.026
<b>Total</b>	26						
<b>CV (%)</b>		9.94	13.3	62.4	6.3	26.3	6.9

**FV**= Fuente de variación, **GL**= Grado de libertad, **NNE** = Número de nudos enraizados, **NRN** = Número de raíces por nudo, **LR** = Largo raíz, **LB** = Largo de brote **NHB** = Número de hojas por brote. \* Significativo, \*\* altamente significativo, **NS**=no significativo.

**Tabla23. Resumen de pruebas de significación de Tukey al 5 % de probabilidades para las variables evaluadas del factor sustrato**

<b>Sustrato</b>	<b>NNE</b>	<b>NBN</b>	<b>LB</b>	<b>NHB</b>
Arena	1.41 a	1.73 a	1.25 b	2.4 a
Tierra agrícola + Humus	1.41 a	1.59 b	1.9 a	2.47 a
Tierra agrícola + Aserrín	1.23 b	1.66 ab	1.43 ab	2.12 b

**NNE** = número de nudos enraizados, **NBN** = número de brotes por nudo **LB** = Largo de brote **NHB** = número de hojas por brote

**Tabla24. Resumen de pruebas de significación de Tukey al 5 % de probabilidades para las variables evaluadas del factor morfotipo.**

<b>Sustrato</b>	<b>NRN</b>	<b>LR</b>	<b>NHB</b>
Verde oscuro	2.62 a	17.57a	2.43 a
Púrpura	2.22 b	12.07ab	2.37 ab
Verde Claro	1.92 b	7.7b	2.19 b

**NRN** = número de raíces por nudo, **LR** = Largo raíz, **NHB** = número de hojas por brote

**Tabla 25. Resumen de variables y fuentes de variación para las cuales se encontró significación estadística y los mejores tratamientos, según las pruebas de Tukey.**

<b>Variable</b>	<b>Fuente de Variación</b>	<b>Los mejores</b>
Nudos enraizados	Sustrato	Arena y tierra agrícola + humus
Número de raíces	Morfotipo	Verde oscuro
Largo de raíz	Morfotipo	Verde oscuro y Purpura
Numero de brotes	Sustrato	Arena y tierra + aserrín
Largo de brotes	Sustrato	Tierra + humus y tierra + aserrín
Numero de hojas / brote	Sustrato	Tierra agrícola + humus
	Morfotipo	Verde oscuro y purpura

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 Conclusiones**

- No se encontró significación estadística para la interacción entre el sustrato y el morfotipo en las variables en estudio. Es decir, los dos factores (sustrato y morfotipo) actuaron de forma independiente.
- Los sustratos de arena y tierra agrícola más humus fueron estadísticamente los mejores en cuanto a número de nudos enraizados.
- El morfotipo verde oscuro presentó mayor número de nudos enraizados y mayor largo de raíces, respecto a los otros dos morfotipos.
- El sustrato de tierra agrícola más humus, fue estadísticamente superior a los otros dos tratamientos, en cuanto a largo de brotes
- El mejor sistema radicular, el mayor largo de brotes y las mejores plántulas se obtuvieron en el sustrato de tierra agrícola más humus de lombriz (1:1). Este fue superior estadísticamente al resto de tratamientos.
- El morfotipo verde oscuro respondió mejor a este tipo de propagación, por la mayor cantidad de raíces, mayor largo de raíz y mayor número de hojas por brote.
- La técnica de propagación de yacón por nudos de tallos resulta fácil y eficiente porque permite una mayor tasa de multiplicación que por porciones de cepa.

#### **5.2 Recomendaciones**

- Realizar ensayos comparativos de productividad con propágulos procedentes de cepa, esquejes, brotes enraizados y nudos.

## CAPÍTULO VI

### LITERATURA CITADA

Araujo H. 1998. Determinación del método para el contaje del número cromosómico en nueve cultivares de tres especies tuberosas andinas. Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú, 45 p.

Aybar J, Sanchez Riera AN, Grau A & SS Sanchez. 2001 Hypoglycemic Effect of the water extract of *Smallanthus sonchifolius* (yacón) leaves in normal and diabetic rats Journal of Ethnopharmacology

Barrantes F. 1998. Fascículo 17 : Patología de las raíces y cormos andinos. En Seminario, J. (comp.). Producción CIP. Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima, Peru, p.1-10.

Bohn H. 1993. Química Del Suelo. Trad M Sánchez. 1 ed. Mexico. Limusa. 370p.

Cárdenas M. 1969. Manual de plantas económicas de Bolivia. Imprenta ictus, Cochabamba, Bolivia, 333p.

Collazos C, White P, White H, Viñas E, Alvistur E, Urquieta R, Vásquez J, Días C, Quiroz A, Roca A, Hegsted M, Bradfield R, Herrera N, Faching A, Robles N, Hernandez E & M Arias. 1993. La composición de alimentos de mayor consumo en el Perú. Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Nutrición, Lima, Perú, 63 p.

Cuculiza, P. 1956. Propagación de plantas. Talleres gráficos F. L. Villanueva. Lima, Perú. 169p.

Esau K. 1959. Anatomía vegetal. Editorial Omega, Barcelona, España, 729p.

Hartmann, H; kester, D.1995\_Propagación de plantas, principios y práctica. Trad. M, Ambrosio. 2 ed. México, MX. Prentice.760p.

Hernández, R; Fernández C; Baptista, M. 2010. Metodología de la investigación científica. 5 ed. México, MX. McGraw-Hill. 50-90-104.

Huamán W.1991. Caracterización y evaluación de 45 entradas de germoplasma de Ilacón (*Smallanthus sonchifolius*, H. Robinson) en Cajamarca. Tesis Grado, Universidad Nacional de Cajamarca, peru, 70 p.

Infante, G; Zárate, G. 1984. Métodos estadísticos. Edit. Trillas S.A. México. 463-467, 513-515

León H. 1983. Caracteres agronómicos de cinco cultivares de Ilacón (*polymnia sonchifolia*) bajo las condiciones de campiña de Cajamarca. Tesis de Grado, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú, 82 p.

Medina V. (2001) Abono Natural para las plantas. Popyecto RAAA- APGEP-Semren/usaid- coman. Peru. 7 p.

Steel, R ; Torrie, J.1985. Bioestadística, Principios y procedimientos. Trad. R, Martínez. 2 ed. Colombia, CO. McGraw-Hill.328-334-340-346-352.

Palacios, C; Rodríguez, A; Chang, M. 2007. Efecto de la nutrición mineral en el crecimiento y rendimiento de yacón cultivado hidropónicamente. Universidad Nacional Agraria La Molina. Red Hidroponía, Boletín N° 37.

Seminario; 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.

\_\_\_\_\_; Valderrama, M; Romero, J. 2004. Variabilidad morfológica y distribución geográfica del yacón, *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H.Robinson, en el norte peruano. *Arnaldoa* 11(1): 139-160.

\_\_\_\_\_. 2008a. Manejo técnico productivo del cultivo de yacón. Módulo I: El yacón en el contexto de la biodiversidad Andina. Perúbiodiverso.

\_\_\_\_\_. 2008b. Manejo técnico productivo del cultivo de yacón. Módulo II: la propagación del yacón. Perúbiodiverso

\_\_\_\_\_. 2008c. Manejo técnico productivo del cultivo de yacón. Módulo III: siembra y labores culturales del yacón. Perúbiodiverso

Vásquez AV. 1990. Experimentación agrícola, Diseño estadístico para la investigación científica y tecnológica. 1 ed. Perú, PE. AMARU. 278p.

# **ANEXOS**



Tabla 26. Resultados del análisis del sustrato aserrín



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



**INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA**

SOLICITANTE : RAFAEL BALTA CRISOLOGO  
 PROCEDENCIA : CAJAMARCA  
 MUESTRA DE : ASERRIN  
 REFERENCIA : H.R. 5/537  
 BOLETA : 073  
 FECHA : 20/02/17

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %
065		5.40	0.26	99.84	0.34	0.03	0.06

Nº LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
065		1.89	0.04	11.88	0.10

La Molina, 20 de Enero del 2017

*[Firma manuscrita]*  
 Dr. Saul García Bendejú  
 Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
 Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
 e-mail: labauito@lamolina.edu.pe

Tabla 27. Resultados del análisis del sustrato Humus de Lombriz



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



**INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA**

SOLICITANTE : RAFAEL BALTA CRISOLOGO  
 PROCEDENCIA : CAJAMARCA  
 MUESTRA DE : HUMUS DE LOMBRIZ  
 REFERENCIA : H.R. 57538  
 BOLETA : 073  
 FECHA : 20/02/17

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %
066		8.25	3.69	34.26	0.50	0.46	0.86

Nº LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
066		5.45	0.87	33.19	0.19

La Molina, 20 de Enero del 2017

*Dr. S. A. García Bendezu*  
 Jefe de Laboratorio



Av. La Molina s/n Campus UNALM  
 Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Tabla 28. Resultados del análisis del sustrato tierra agrícola



**Tecnología y Desarrollo Agrícola J.D. S.R.L.**

Urb. J. Hurtado Miller J - 8 (Baños del Inca)

RUC 20529318511

EVALUACION DE SUELOS			
Fecha	25/01/2017	N° Registro	JD17-0014
Usuario	GIOVANA ALVAREZ CABRERA		
Procedencia de la muestra	Provincia	CAJAMARCA	
	Distrito	CAJAMARCA	
	Comunidad	CAJAMARCA	
	Predio	UNC	
	Parcela	0	
Nombre del cultivo	0		

Resultados de la Evaluación		
Determinaciones	Resultados	Clasificación
Reacción actual (pH)	6.94	Neutro
Reacción potencial (pH)	5.67	-
Al cambiante (me/100g)	0.00	Bajo
Calcáreo total (%)	0.00	Bajo
C. E. ( $\mu\text{mohs/cm}$ )	417.00	Libre de sales
C. E. actual ( $\mu\text{mohs/cm}$ )	357.00	-
M.O. (%)	4.00	Medio
N total (%)	0.20	Medio
P disponible (ppm)	11.80	Medio
K disponible (ppm)	239.53	Alto
Saturación de bases (%)	78.01	Alto
Acidez de cambio (me/100g)	5.72	Bajo

NOTA: El presente análisis ha sido realizado con fines de abonamiento  
La utilización para otros fines es responsabilidad del usuario.



Ing. Oscar Narvaez Tejada  
Jefe de Laboratorio

Tabla 29. Resultados del análisis del sustrato tierra agrícola más humus de lombriz en la proporción 1:1

"Año de la Diversificación Productiva y Fortalecimiento de la Educación"

**LABORATORIO DE SERVICIO DE SUELOS**

NOMBRE : **GIORDANO ALVAREZ CABRERA**

PROCEDENCIA : Cajamarca - UNC Fecha: **03/06/2015**

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

Nombre Parcela	Código Laboratorio	P Ppm	K Ppm	pH	M.O %	Al meq/100g	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase Textural
Investigación Oscuro	SU0368-EEBI-15	39.69	340.0	7.2	5.60	--				


**INTERPRETACIÓN**

Fósforo (P) : MUY ALTO  
 Potasio (K) : MEDIO  
 pH (reacción) : **NEUTRO**  
 Materia orgánica (M.O) : ALTO  
 Clase textural : --

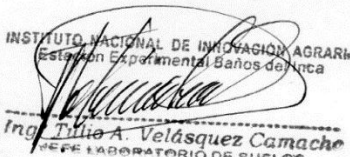
**RECOMENDACIONES DE NUTRIENTES**  
**Cultivo a Sembrar: YACON**

NUTRIENTES	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CAL	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CAL	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CAL
	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton /ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton /ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton /t
Cantidad	70	65	60	--								

Recomendaciones y Observaciones Especiales:



ESTACION EXPERIMENTAL  
BAÑOS DEL INCA  
LABORATORIO DE SUELOS



ING. JULIO A. VELÁSQUEZ CAMACHO  
LABORATORIO DE SUELOS

Jr. Wiracocha s/n, Baños del Inca  
Cajamarca. Cajamarca. Perú  
F: (076) 348-386  
E: binca@inia.gob.pe

[www.inia.gob.pe](http://www.inia.gob.pe)

Tabla 30. Resultados del análisis del sustrato tierra agrícola más Aserrín en la proporción 1:1

"Año de la Diversificación Productiva y Fortalecimiento de la Educación"

**LABORATORIO DE SERVICIO DE SUELOS**

NOMBRE : **GIORDANO ALVAREZ CABRERA**

PROCEDENCIA : Cajamarca - UNC

Fecha: **03/06/2015**

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

Nombre Parcela	Código Laboratorio	P Ppm	K Ppm	pH	M.O %	Al meq/100g	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase Textural
Investigación Marrón	SU0367-EEBI-15	11.45	290.0	6.2	13.91	--				

**INTERPRETACIÓN**

Fósforo (P) : MEDIO  
 Potasio (K) : MEDIO  
 pH (reacción) : **MODERADAMENTE ACIDO**  
 Materia orgánica (M.O) : MUY ALTO  
 Clase textural : --

**RECOMENDACIONES DE NUTRIENTES**

**Cultivo a Sembrar: YACON**

NUTRIENTES	N Kg/ha	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Kg/ha	K <sub>2</sub> O Kg/ha	CAL Ton /ha	N Kg/ha	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Kg/ha	K <sub>2</sub> O Kg/ha	CAL Ton /ha	N Kg/ha	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Kg/ha	K <sub>2</sub> O Kg/ha	CA Ton
Cantidad	60	80	65	--								

Recomendaciones y Observaciones Especiales:



INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA  
 Estación Experimental Baños del Inca  
 Ing. **Rafael A. Velásquez Camacho**  
 JEFE LABORATORIO DE SUELOS

www.inia.gob.pe

Jr. Wiracocha s/n, Baños del Inca  
 Cajamarca, Cajamarca, Perú  
 T: (076) 348-386  
 E: binca@inia.gob.pe

Tabla 31. Resultados del análisis del sustrato arena de cerro.

"Año de la Diversificación Productiva y Fortalecimiento de la Educación"

**LABORATORIO DE SERVICIO DE SUELOS**

NOMBRE : **GIORDANO ALVAREZ CABRERA**

PROCEDENCIA : Cajamarca - UNC

Fecha: **03/06/2015**

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

Nombre Parcela	Código Laboratorio	P Ppm	K Ppm	pH	M.O %	Al meq/100g	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase Textural
Investigación Blanco	SU0369-EEBI-15	1.90	350.0	7.4	0.22					

**INTERPRETACIÓN**

Fósforo (P) : MUY ABJO  
 Potasio (K) : MEDIO  
 pH (reacción) : **LIGERAMENTE ALCALINO**  
 Materia orgánica (M.O) : MUY BAJO  
 Clase textural :

**RECOMENDACIONES DE NUTRIENTES**

**Cultivo a Sembrar: YACON**

NUTRIENTES	N Kg/ha	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Kg/ha	K <sub>2</sub> O Kg/ha	CAL Ton /ha	N Kg/ha	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Kg/ha	K <sub>2</sub> O Kg/ha	CAL Ton /ha	N Kg/ha	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Kg/ha	K <sub>2</sub> O Kg/ha	CAL Ton /ha
Cantidad	100	100	65	--								

Recomendaciones y Observaciones Especiales:



INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA  
 Estación Experimental Baños del Inca  
  
**Inga Tullio A. Velásquez Camacho**  
 JEFE LABORATORIO DE SUELOS

[www.inia.gob.pe](http://www.inia.gob.pe)

Jr. Wiracocha s/n, Baños del Inca  
 Cajamarca. Cajamarca. Perú  
 T: (076) 348-386  
 E: [binca@inia.gob.pe](mailto:binca@inia.gob.pe)



Figura 22: Armado de bandejas del experimento con madera y las divisiones con triplay



Figura 23: Llenado de bandejas con los 3 sustratos en estudio.



Figura 24: Sustratos listos para sembrar los nudos.



Figura 25: Tallos de los 3 morfotipos extraídos y listos para obtener los brotes,



Figura 26: Eliminación de hojas para cortar los nudos de los tres morfotipos en estudio



Figura 27: Nudos de 4 cm obtenidos de los tallos de yacón



Figura 28: Realizando el riego tratando de mantener la humedad apropiada del suelo



Figura 29: Monitoreo del experimento a los siete días de instalados.





Figura 30: Crecimiento de hojas en los nudos a los siete días después de la plantación.



Figura 31: Observación de los tratamientos a los siete días después de la plantación.



Figura 32: Nudo extraído del sustrato arena de cerro a los siete días de haber sido plantados.



Figura 33: Nudo con hojas en arena, a los siete días después de la plantación.



Figura 34: Nudos de yacón del morfo tipo verde oscuro después de 14 días después de la plantación.



Figura 35: Nudos de yacón del morfo tipo púrpura después de 14 días de la plantación

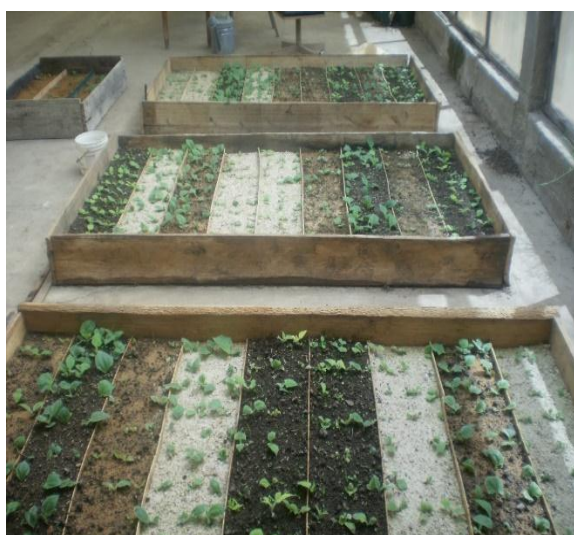


Figura 36: Vista de los tres bloques a los 14 días después de la plantación.



Figura 37: Inspección del experimento a los 14 días después de la plantación



Figura 38: Nudo de yacón extraído del sustrato tierra más aserrín a los 21 días después de la plantación.



Figura 39: Tratamientos a los 21 días después de la plantación.



Figura 40: Nudo del morfotipo púrpura en sustrato de tierra más humus a los 28 días después de la plantación donde se aprecia raíces primarias y secundarias



Figura 41: Raíces primarias y secundarias en el morfotipo verde claro en sustrato arena, a los 28 días después de la plantación



Figura 42: Estado de los bloques a los 35 días después de la plantación.



Figura 43: Raíces del morfotipo verde oscuro en el sustrato tierra agrícola más aserrín (1:1)



Figura 44: Nudo enraizado del morfotipo verde oscuro extraído del sustrato arena de cerro, a los 35 días después de la plantación.



Figura 45: Nudo del morfotipo verde oscuro extraído del sustrato tierra agrícola más humus después de 35 días la plantación.



Figura 46: Nudos del morfotipo púrpura en el sustrato tierra más humus donde se aprecia, los brotes con varios nudos y hojas bien formados a los 35 días después de la plantación.



Figura 47: Nudos del morfotipo verde oscuro en el sustrato tierra más humus, donde se aprecia las raíces, nudos y hojas bien formados a los 35 días después de la plantación.



Figura 48: Nudo del morfotipo verde oscuro en el sustrato tierra más humus, extraídos para observar sus características, a los 47 días después de la plantación.



Figura 49: Toma de datos cuantitativos (largo de raíz número de nudos, tamaño de hoja, tamaño de brote).



Figura 50: Nudos de cada tratamiento, extraídos para la evaluación final.



Figura 51: Nudo del morfotipo verde oscuro, transformado en una nueva planta con raíces y brotes bien conformados.

Tabla 32. Número de brotes por nudo

SUSTRATO	ARENA				TIERRA + HUMUS			TIERRA + ASERRIN		
	MORFOTIPO	VERDE CLARO	PURPURA	VERDE OSCURO	VERDE CLARO	PURPURA	VERDE OSCURO	VERDE CLARO	PURPURA	VERDE OSCURO
I	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2
II	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2
III	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1

Tabla 33. Datos transformados número de brotes por nudo.

SUSTRATO	ARENA				TIERRA + HUMUS			TIERRA + ASERRIN			TOTAL
	MORFOTIPO	VERDE CLARO	PURPURA	VERDE OSCURO	VERDE CLARO	PURPURA	VERDE OSCURO	VERDE CLARO	PURPURA	VERDE OSCURO	
I	1.73	1.73	1.73	1.41	1.41	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	14.93
II	1.73	1.73	1.73	1.41	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	15.25
III	1.73	1.73	1.73	1.41	1.73	1.73	1.41	1.73	1.73	1.41	14.61
TOTAL	5.19	5.19	5.19	4.23	4.87	5.19	4.87	5.19	4.87	4.87	44.79
PROMEDIO	1.73	1.73	1.73	1.41	1.62	1.73	1.62	1.73	1.62	1.62	1.66

Tabla 34. Número de nudos enraizados

SUSTRATO	ARENA			TIERRA + HUMUS			TIERRA + ASERRIN			TOTAL	
	MORFOTIPO	VERDE CLARO	PURPURA	VERDE OSCURO	VERDE CLARO	PURPURA	VERDE OSCURO	VERDE CLARO	PURPURA		VERDE OSCURO
I	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
II	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	7
III	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	7
TOTAL	3	3	3	3	3	3	1	2	2	2	23
PROMEDIO	1	1	1	1	1	1	0.33	0.67	0.67	0.67	0.85

Tabla 35. Datos transformados Número de nudos enraizados

SUSTRATO	ARENA			TIERRA + HUMUS			TIERRA + ASERRIN			TOTAL	
	MORFOTIPO	VERDE CLARO	PURPURA	VERDE OSCURO	VERDE CLARO	PURPURA	VERDE OSCURO	VERDE CLARO	PURPURA		VERDE OSCURO
I	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	12.69
II	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1	1	1.41	1.41	11.87
III	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1	1.41	1	1.41	11.87
TOTAL	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	36
PROMEDIO	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.14	1.27	1.27	1.27	1.35

Tabla 36. Número total de raíces primarias.

SUSTRATO MORFOTIPO	ARENA		TIERRA + HUMUS			TIERRA + ASERRIN			TOTAL	
	VERDE CLARO	PURPURA	VERDE OSCURO	VERDE CLARO	VERDE PURPURA	VERDE OSCURO	VERDE CLARO	VERDE PURPURA		VERDE OSCURO
I	3	3	7	4	6	8	1	4	8	44
II	3	5	4	4	4	6	1	2	8	37
III	3	3	5	3	5	5	3	4	3	34
TOTAL	9	11	16	11	15	19	5	10	19	115
PROMEDIO	3	3.67	5.33	3.67	5	6.33	1.67	3.33	6.33	4.26

Tabla 37. Datos transformados número total e raíces primarias

SUSTRATO MORFOTIPO	ARENA		TIERRA + HUMUS			TIERRA + ASERRIN			TOTAL	
	VERDE CLARO	PURPURA	VERDE OSCURO	VERDE CLARO	VERDE PURPURA	VERDE OSCURO	VERDE CLARO	VERDE PURPURA		VERDE OSCURO
I	2	2	2.83	2.24	2.65	3	1.41	2.24	3	21.36
II	2	2.45	2.24	2.24	2.24	2.65	1.41	1.73	3	19.95
III	2	2	2.45	2	2.45	2.45	2	2.24	2	19.58
TOTAL	6	6	8	6	7	8	5	6	8	60.89
PROMEDIO	2	2.15	2.50	2.16	2.44	2.70	1.61	2.07	2.67	2.26

Tabla 38. Número de hojas con brotes

SUSTRATO MORFOTIPO	ARENA		TIERRA + HUMUS			TIERRA + ASERRIN			TOTAL	
	VERDE CLARO	PURPURA	VERDE OSCURO	VERDE CLARO	VERDE PURPURA	VERDE OSCURO	VERDE CLARO	VERDE PURPURA		VERDE OSCURO
I	6	4	5	4	5	6	3	3	4	40
II	4	5	5	5	5	5	2	4	5	40
III	4	6	4	5	6	5	2	4	5	41
TOTAL	14	15	14	14	16	16	7	11	14	121
PROMEDIO	4.67	5.00	4.67	4.67	5.33	5.33	2.33	3.67	4.67	4.48

Tabla 39. Número de hojas con brotes datos transformados

SUSTRATO MORFOTIPO	ARENA		TIERRA + HUMUS			TIERRA + ASERRIN			TOTAL	
	VERDE CLARO	PURPURA	VERDE OSCURO	VERDE CLARO	VERDE PURPURA	VERDE OSCURO	VERDE CLARO	VERDE PURPURA		VERDE OSCURO
I	2.65	2.24	2.45	2.24	2.45	2.65	2.00	2.00	2.24	20.90
II	2.24	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	1.73	2.24	2.45	20.90
III	2.24	2.65	2.24	2.45	2.65	2.45	1.73	2.24	2.45	21.08
TOTAL	7	7	7	7	8	8	5	6	7	62.88
PROMEDIO	2.37	2.44	2.38	2.38	2.51	2.51	1.82	2.16	2.38	2.33

Tabla 40. Largo de raíz

SUSTRATO MORFOTIPO	ARENA		TIERRA + HUMUS			TIERRA + ASERRIN			TOTAL	
	VERDE CLARO	PURPURA	VERDE OSCURO	VERDE CLARO	VERDE PURPURA	VERDE OSCURO	VERDE CLARO	VERDE PURPURA		VERDE OSCURO
I	8.09	11.3	34	11.05	17.91	17.91	6.55	10.68	37.95	155
II	7	3.9	13.2	4.3	2.3	3.7	9.6	5.9	3.8	54
III	7.3	6.7	18.32	10.95	33.45	15.15	4.49	16.45	14	127
TOTAL	22	22	66	26	54	37	21	33	56	335.95
PROMEDIO	7.46	7.30	21.84	8.77	17.89	12.25	6.88	11.01	18.58	12.44



Tabla 41. Largo de Brotes

SUSTRA TO	ARENA		TIERRA + HUMUS			TIERRA + ASERRIN			TOTAL	
	VERDE		VERDE	VERDE	VERDE	VERDE	VERDE			
	CLARO	PURPURA	OSCURO	CLARO	PURPURA	OSCURO	CLARO	PURPURA		OSCURO
I	1.75	1.52	1.081	1.7	2.3	1.08	1.43	1.63	1.53	14
II	1.14	1.64	0.84	1.44	1.82	0.92	0.9	1.41	0.96	11
III	0.85	1	1.4	2.85	2.75	2.2	1.33	2.07	1.63	16
TOTAL	4	4	3	6	7	4	4	5	4	41.17
PROMEDIO	1.25	1.39	1.11	2.00	2.29	1.40	1.22	1.70	1.37	1.52